

原著論文

スポーツクライマーの手指筋群における筋力および筋持久力特性の評価法 ー リードクライミングを対象として ー

西谷善子¹⁾ 川原 貴²⁾ 山本正嘉³⁾

Assessment of muscle strength and endurance in Sport-climbing

Yoshiko Nishitani¹⁾, Takashi Kawahara²⁾ and Masayoshi Yamamoto³⁾

Abstract

This study aimed to develop the assessment of muscle strength and endurance in climbers, and clarify the profiles of muscle strength and endurance in Lead climbers, in relation to performance levels. Muscular strength and endurance, using a traditional hand grip strength dynamometer and an original new climbing-specific grip strength and endurance test, were determined in 12 male non-climbers and 40 male Lead climbers who were categorized into four groups (control, beginner, intermediate and expert). All muscular strength and endurance test were significantly associated with climbing performances ($\rho=0.674-0.747$, $p<0.05$). Differences among the four groups were more marked in climbing-specific strength and endurance than in traditional hand grip strength. Traditional hand grip strength was significantly higher for control group than for beginner and intermediate group. Therefore it is insufficient to evaluate muscle strength of Lead climbers only by traditional hand grip strength, whereas the climbing-specific strength tests used here can be used to evaluate the muscle strength and endurance profiles of Lead climbers in relation to climbing performance.

Key words: sport-climbing, strength, endurance, climbing performance, test

スポーツクライミング, 筋力, 筋持久力, パフォーマンス, 評価

1. 研究目的

クライミングは、かつては登山の一環として、自然の岩をよじ登る行為であった。しかし、1960年頃から人工のクライミング壁が屋内施設などに作られるようになると、登山から独立した競技スポーツ（スポーツクライミング）としても発展するようになった。

現在、日本や欧米で盛んに行われているのは「リード」種目と「ボルダリング」種目である。前者は6-8分の制限時間内に、約15mの人工壁に設定された難易度の高いルートを、確保支点到ロープをかけながら登るもので（図1-a.）、より持続的な要素が強い種目である。後者は5m程度の短い壁に設定された4-5つの課題を、4-5分の制限時間内に、ロープを使わず着地マットで安全を確保しながら登るもので、より瞬

発的な要素が強い種目である。どちらも世界選手権やワールドカップが開催され、近年ではオリンピック種目の候補ともなっている。

日本では、1997年から国民体育大会の山岳競技の種目の1つにリード種目が採用された。そして2008年からは、これまで行われてきた縦走種目が廃止となり、ボルダリング種目が導入された。現在ではリードとボルダリングの2種目のみが採用されている。競技が盛んになるにつれて、強豪国の多い欧州で行われているトレーニング法が日本でも取り入れられるようになり（西谷・山本, 2011）、国際的に見た日本の競技力は、現在、トップレベルに位置している。また、日本では老若男女を問わず、レクリエーションの一環としてのクライミングの人気も高く、クライミング施設も全国的に普及するようになってきた。日本国内のクラ

1) 鹿屋体育大学大学院体育学研究科

Graduate School of Education National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

2) 国立スポーツ科学センター

Japan Institute of Sports Sciences

3) 鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

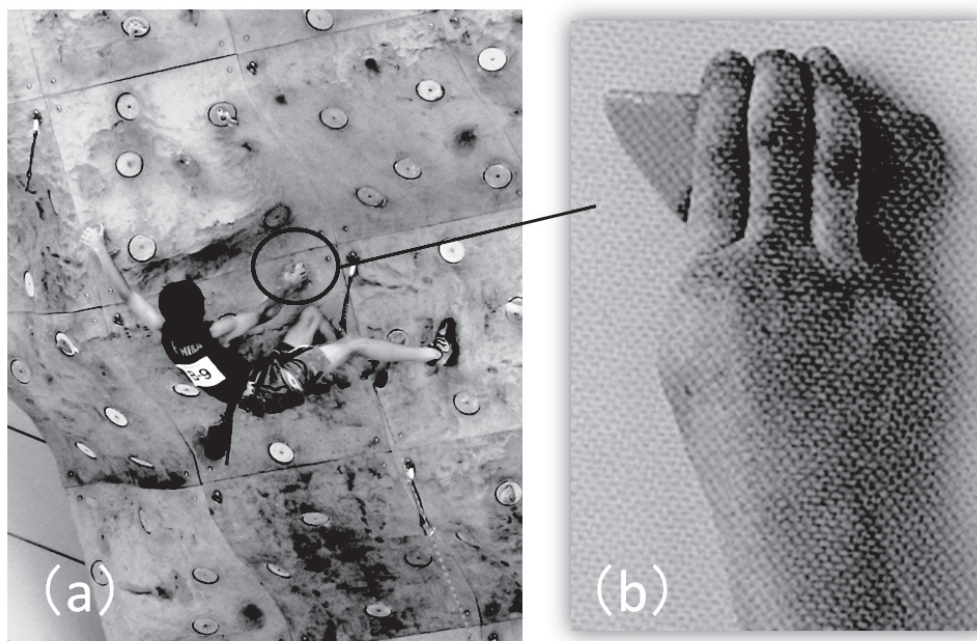


図1 スポーツクライミング

- (a) リード種目は、ロープを確保支点にかけながら約15mの壁に設定されたルートに登る。難易度が上がるにつれて、かかりの悪いホールドを持つ機会が多くなる。
- (b) 保持方法の1つで、「オープンハンド」と呼ばれる持ち方を示す。

イミング人口は約20万人と推定されている（朝日新聞, 2012）。

このように、スポーツクライミングは国内外を問わず盛んであるが、クライミングのパフォーマンスに影響する手指筋群の筋力に着目した研究は多くない（山本・島岡, 1983, 1984; Cutts and Bollen, 1993; Watts et al., 1993, 1996, 2003; Grant et al., 1996, 2001; Schweizer, 2001; Wall et al., 2004; Watts, 2004; Giles et al., 2006; MacLeod et al., 2007）。

これらの研究のうち、手指筋群の筋力測定は、握力テストを用いたものが多く（Cutts and Bollen, 1993; Watts et al., 1993, 1996, 2003; Watts, 2004）、クライマーの握力が特別に優れたものではないことも報告されている（Watts et al, 1993; 山本, 2000）。しかし、クライミングは図1-b.のようにホールド（手がかり）を手指で保持して体重を支えることから、保持した際の手指の関節角度や筋力の発揮様式が握力テストとは異なるものと考えられる。山本・島岡（1983, 1984）やWall et al. (2004) は、このようなクライミングの特性を考慮し、等尺性収縮様相と伸張性収縮様相間のブレイクポイントにおける最大筋力を「指関節屈曲保持の筋力（climbing specific hand strength）」とし、クライミング能力との関係を調べているが、座位や膝立ちの状態

で、保持させたホールドに受動的な負荷をかける測定方法を用いているため、実際のクライミングの運動様相とは異なるものである。

そこで本研究では、実際のクライミングと類似した条件下において、クライマーの手指筋群の筋力と筋持久力を測定できる簡便な方法を開発し、リードクライマーの手指筋群の筋力および筋持久力特性を明らかにすることを目的とした。さらに、その結果を参考に、クライマー自身がクライミング能力を自己評価したり、指導者がトレーニングやコーチングの指針を構築するための方法についても検討したいと考えた。

Ⅱ. 方 法

1. 被験者

クライミングの経験者として、リードクライミングを主に行っている男性40名（年齢 40.3 ± 11.2 yr, 身長 168.8 ± 6.3 cmおよび体重 60.4 ± 7.1 kg）を対象とした。彼らのクライミング経験年数は 9.8 ± 7.7 年であった（以下、クライマー群）。本研究では、後述するクライミング能力の評価指標に基づいて、被験者を初級群、中級群および上級群に群分けした。

対照群は、運動習慣はあるが、クライミング経験を

持たない男性12名とし、主な運動歴は、野球、テニス、サッカー、水泳などであった。表1には、被験者の身体特性を示すとともに、クライマー群についてはクライミングの経験年数およびクライミング能力を判断した評価指数も示した。

本研究は、所属機関の倫理審査委員会の承認を得て行った。また、各被験者には、実験の趣旨、内容および危険性について十分に説明し、同意を得たうえで測定を行った。

2. 測定項目

1) クライミング能力の評価

クライミング能力を表す代表的な指標として、オンサイトとレッドポイントの2種類がある。初見、初登するルートを一度も落ちずに登り切ること（完登）をオンサイトと呼び、二回目以上のトライで完登できたものをレッドポイント（RP）と呼ぶ。また日本では、トライするルートは、デシマルグレード^{註1)}と呼ばれる難易度評価指数表により分類されている（北山ら、2005）（表2）。本研究では、クライマー群が測定日から1年以内にRPできた最も難易度の高いルートの指数（以下、RPグレード）が、被験者のクライミング能力を反映しているものと定義した。

被験者のRPグレードは5.8-5.15aの範囲であった。彼らをWright et al. (2001) の基準を参考にレベル分けした。なお、Wright et al. (2001) の研究では、「up to F5+（デシマルグレードに変換すると5.9まで）」、

「F6a-6c (5.10a-5.11a)」, 「F6c+-7b (5.11b- 5.12b)」および「7b+ above (5.12c以上)」の4群にレベル分けしているが、国内における全国大会のカテゴリー区分をみると、5.11aまでがビギナー、5.11b- 5.12aまでがミドル、5.12b以上がエキスパートクラスと区別されていることが多いことから、本研究では、先行研究の「F6a-6c」, 「F6c+-F7b」を合わせて初級群（5.8-5.11a）とし、中級群（5.11b-5.12a）および上級群（5.12b-5.15a）の3群にレベル分けを行った。

2) 握力テスト

被験者には、握力計（竹井機器工業社製、T.K.K.5401 GRIP-D）を用いて、従来から行われてきた握力テストを実施した。握力計の握り幅は、中指の近位指節間関節（PIP: proximal interphalangeal joint）が90°屈曲位となるように調節した。測定は、腕を自然に下げた立位状態で、手が身体に触れないよう、左右交互に全力で2回ずつ実施した。本研究では、クライマーの手指の筋力は絶対値ではなく体重あたりの筋力に優れていることが必要とする先行研究（Grant et al., 2001; Wall et al., 2004; Watts, 2004）に従い、体重当たりの最大筋力について左右の平均値を算出した。

3) 保持力テスト

本研究では、クライミングに特化した手指筋群の最大筋力を評価するため、新たに図2のような保持力テストを開発した。これは、手指の等尺性収縮の中でも

表1 被験者の身体特性

	対照群 (n=12)	クライマー群 (n=40)		
		初級群 (n=13)	中級群 (n=12)	上級群 (n=15)
年齢 (yr)	21.7±1.2 ^{*†§}	40.2±10.3 [*]	45.9±12.7 ^{*†§}	36.0±9.2 [§]
身長 (cm)	169.5±5.4	170.3±6.7	166.4±7.2	169.4±4.8
体重 (kg)	63.5±7.1 [§]	64.7±9.4 ^{†‡}	58.5±4.7 [†]	58.2±4.8 ^{§‡}
BMI	22.1±2.1 [§]	22.2±2.4 [‡]	21.1±1.8	20.3±1.2 ^{§‡}
クライミング 経験年数 (年)	—	6.3±8.5	9.6±5.9	13±7.3
クライミング 能力	—	5.8-5.11a	5.11b-5.12b	5.12b-5.15a

* 対照群と初級群間, † 対照群と中級群間, § 対照群と上級群間, ‡ 初級群と中級群間, ‡ 初級群と上級群間, § 中級群と上級群間に有意な差が認められたことを示す ($p<0.05$).

表2 デシマルグレードシステムおよび他のグレード体系との関係 (北山ら, 2005^[註1])

リードグレード比較表			
Japan (USA)	French	UIAA	Australia
5.2	1	I	6
5.3	2	II	7
5.4	3	III	8
5.5	4	IV	10
5.6	5a	V-	12
5.7	5b	V	14
5.8	5c	V+	16
5.9	6a	VI	17
5.10a	6a+	VI+	18
5.10b	6b	VII-	19
5.10c	6b+	VII	20
5.10d	6b+	VII+	21
5.11a	6c	VIII-	22
5.11b	6c+	VIII	23
5.11c	7a	VIII+	24
5.11d	7a+	IX-	25
5.12a	7b	IX	26
5.12b	7b+	IX+	27
5.12c	7c	X-	28
5.12d	7c+	X	29
5.13a	8a	X+	30
5.13b	8a+	XI-	31
5.13c	8b	XI	32
5.13d	8b+	XI+	33
5.14a	8c	XII-	34
5.14b	8c+	XII	35
5.14c	9a	XII+	36
5.14d	9a+		37
5.15a	9b		
5.15b			

「耐筋力」や「Breaking Strength」(Philip and William, 1960; 吉福, 1990)といわれる伸張性収縮に近い形で能動的に筋力を発揮させ、その際の最大値を測定するものである。

被験者には、高さ190mm、幅165mmおよび厚さ63mmの吊り下げ型トレーニング用疑似ホールド(Metolius社製, ME14007ロックリングスCNC)(以下、単にホールドとする)の下に立たせ、肩関節180度、肘関節0度の肢位にてホールドの下段を手掌と並行になるように保持させた。保持方法については、図3のように拇指をホールドの側面に付けさせるか、離して持つように指示し、被験者が最も筋力発揮しやすい方法を選択させた。ホールドに手指をかけさせたら、徐々に脚を屈曲させて手指に力を発揮させた。保持した際の手指関節の角度は、遠位指節間関節(DIP: distal

interphalangeal joint)が50-70度屈曲位、PIPが10-20度屈曲位となり、オープンハンド(図1-b.)に類似した持ち方であった。

本研究では、ホールドにステンレス製のワイヤーを通し、ロードセル(竹井機器工業社製, T.K.K.1269f)を接続した。被験者がホールドに加えた力は、ロードセルから調整器(竹井機器工業社製, T.K.K.5710a)を経て、A/D変換機(ADInstruments社製, power-Lab 16/35)を介し、サンプリング周波数1kHzにてパーソナルコンピュータに取り込んだ。

測定の際には、被験者自身の発揮した力波形が見えるように、ホールドから約1m離れたところにモニターを設置し、力が最大になったところから3秒間維持するように指示をした。3秒間維持できなかった試技は無効とし(図4-a.)、有効試技(図4-b.)における3秒間の力波形のうち、ほぼ定常状態となっている区間(1秒間)を保持力の最大値と定義した。

ホールドに自己の全体重をかけて、ぶら下がることのできたクライマー(40名中9名)に対しては、図2-b.のようにザックを背負わせ、その中に重りを入れて体重以上の負荷をかけられるようにした。追加する重りは0.5kg単位とし、被験者には自己申告させた。各試技の間には3-5分の休息を入れながら、3秒間力を維持できなくなるまで測定を繰り返した。被験者から再測定の要望があった場合には応じ、保持力の最大値を更新したときは、その値を採用した。測定は、握力と同様に左右別々に行い、体重当たりの最大値をもとに平均値を算出した。

なお、本研究で実施した保持力テストは、6名の被験者に対して一週間の間隔を空けて2回の測定を行った結果、級内相関係数(ICC)が0.95、変動係数(CV)が7%であり、信頼性および再現性が高いことを確認している。

4) 保持耐久時間テスト

クライミングに特化した手指筋群の筋持久力を評価するために、図5のような保持耐久時間テストを開発した。被験者には、保持力テストで使用したものと同一タイプのホールドを、肩幅程度の間隔で左右同時に保持させ、両足が地面から離れた瞬間から両手がホールドから離れるまでの時間をストップウォッチにより計測した。

なお、本研究で実施した保持耐久時間テストは、7名の被験者に対して一週間の間隔を空けて2回の測定を行った結果、ICCが0.93、CVが8%であり、信頼性

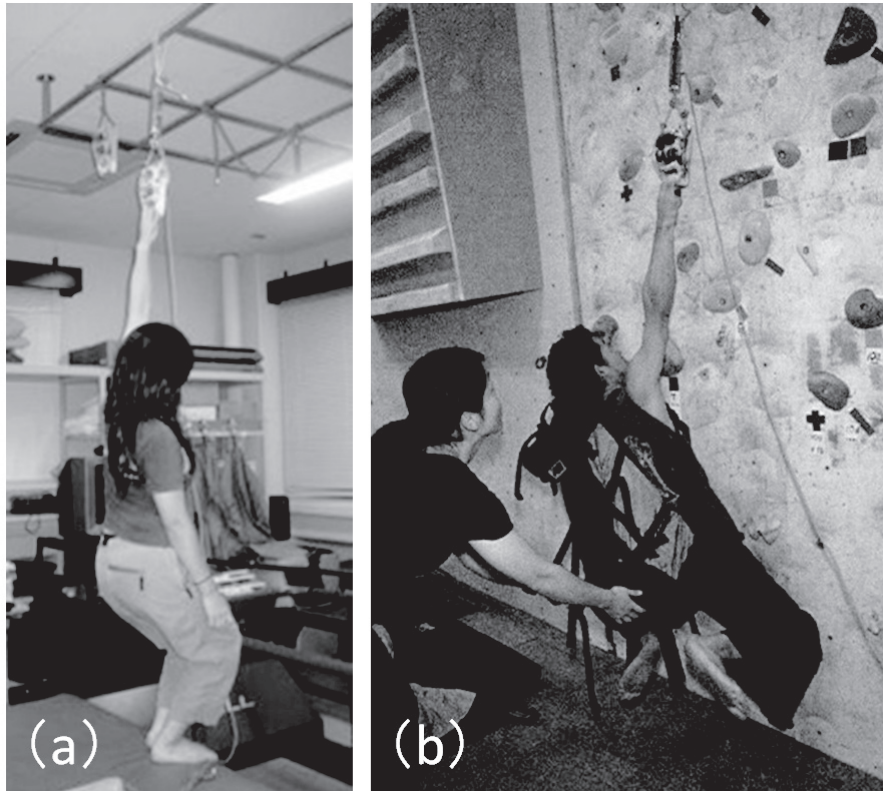


図2 保持力テストの方法

(a) 膝を屈曲させ、鉛直方向に体重をかける。

(b) aにおいて、自己の全体重をホールドにかけて、ぶら下がることのできたクライマーに対しては、体重以上の負荷をかけるために、ザックに重りを入れて加重した。



図3 ホールドの保持方法

拇指をホールドの側面に付けて持つ(左)、もしくは離して持つ(右)。2つの方法のうちで、最も筋力発揮しやすい方法を選択させた。

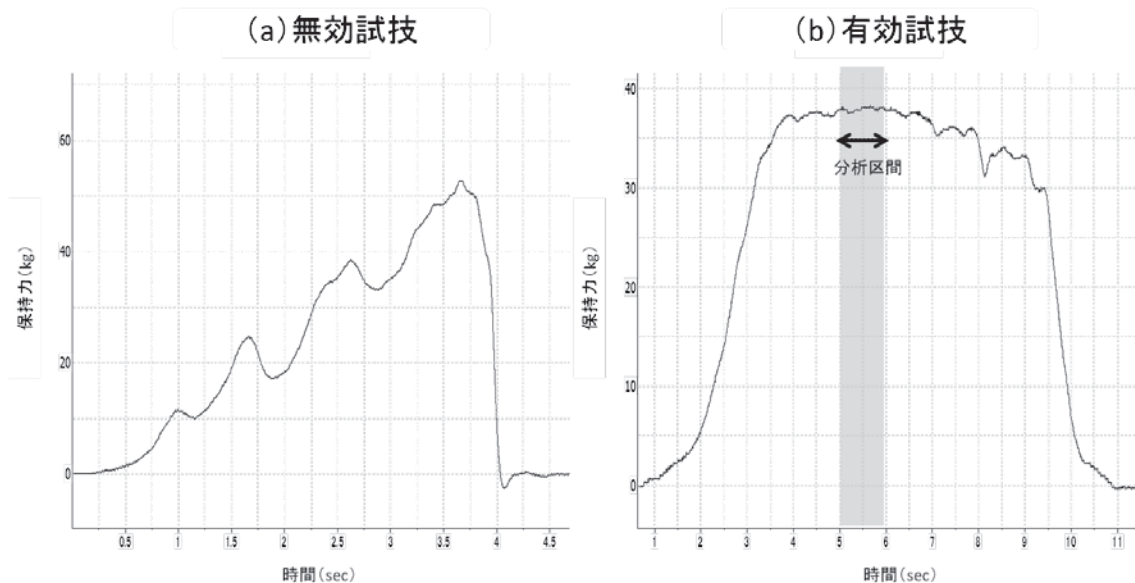


図4 保持力の測定時における力発揮曲線の例

- (a) 力曲線がほぼ最大となったところから3秒間力を維持できなかった場合は無効試技とした。
 (b) 3秒間力を維持できた波形のうち、ほぼ定常状態となっている区間(1秒間)を最大値とみなした。



図5 保持耐久時間テスト

および再現性が高いことを確認している。

テストは、1), 2), 3) および4) の順番で行った。測定前に、アンケート用紙を用いて1) を評価した後、各自5-10分程度のウォーミングアップを実施した。疲労の影響を避けるために、2) と3) との間には3-5分程度の休息をはさんだ。また、3) の測定の後、5-10分の休息をはさんだ後に4) のテストを実施した。

3. 統計処理

各測定値は平均値と標準偏差で示した。各測定項目における群間の比較には、一元配置分散分析法を用いた。各項目間に有意差が認められた場合、その後の検定に Tukey HSD法を用いた。クライミング能力と手指筋群の握力、保持力および保持耐久時間との相関は、Spearmanの順位相関係数を用いた。その他の相関については、Pearsonの相関係数を用いた。なお、有意水準はいずれの検定においても5%未満とした。

Ⅲ. 結 果

1. クライミング能力と筋力および筋持久力との関係

図6は、クライマー群の中で、クライミング能力(RPグレード)と握力の関係を見たものである。両者の間には $\rho = 0.674$ ($p < 0.001$) と有意な正の相関が認

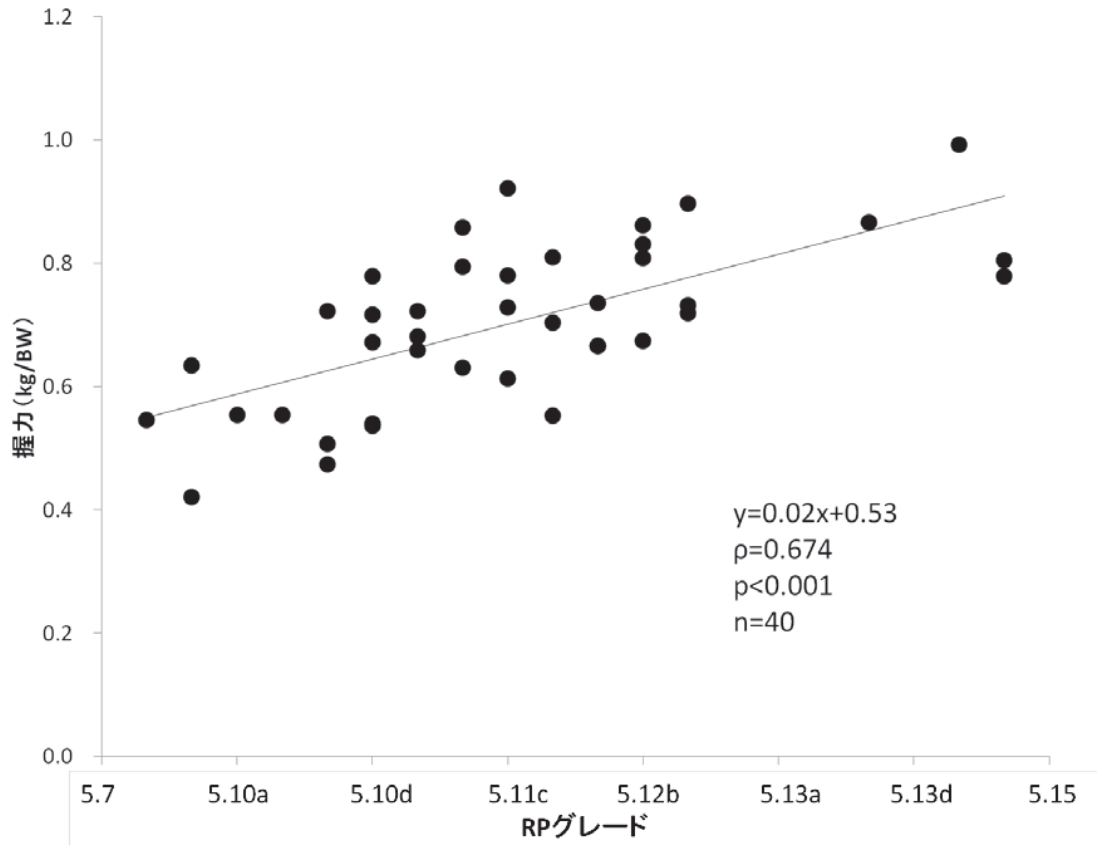


図6 クライミング能力と握力の関係

められた。図7は、クライミング能力と保持力の関係を見たものである。両者の間には $\rho = 0.747$ ($p < 0.001$) と有意な正の相関が認められた。図8は、クライミング能力と保持耐久時間の関係を見たものである。両者の間には $\rho = 0.745$ ($p < 0.001$) と有意な正の相関が認められた。以上のように、全ての測定値と有意な正の相関が認められたが、握力との相関係数は他の2つに比べ、やや低かった。

2. クライミング能力別に見た筋力・筋持久力の特性

図9は、体重当たりの握力を群間で比較したものである。クライマー群の間で見ると、上級群 ($0.79 \pm 0.10 \text{ kg/BW}$)、中級群 ($0.72 \pm 0.10 \text{ kg/BW}$) および初級群 ($0.58 \pm 0.11 \text{ kg/BW}$) の順に高い値を示し、初級群と中級群および上級群との間に有意差が見られた。また、初級群および中級群は対照群 ($0.81 \pm 0.12 \text{ kg/BW}$) と比較して有意に低い値を示した。

図10は、体重当たりの保持力を群間で比較したものである。クライマー群の間で見ると、初級群 ($0.62 \pm 0.17 \text{ kg/BW}$)、中級群 ($0.78 \pm 0.14 \text{ kg/BW}$) および上級群 ($0.94 \pm 0.20 \text{ kg/BW}$) の順に高い値を示し、全群

間に有意差も見られた。また、クライマー群は対照群 ($0.43 \pm 0.12 \text{ kg/BW}$) と比較して有意に高い値を示した。

図11は、保持耐久時間を群間で比較したものである。クライマー群の間で見ると、初級群 ($41.9 \pm 26.4 \text{ sec}$)、中級群 ($69.6 \pm 14.6 \text{ sec}$) および上級群 ($84.3 \pm 19.1 \text{ sec}$) の順に保持耐久時間が延長し、全群間に有意差も見られた。また、クライマー群は対照群 ($13.5 \pm 11.9 \text{ sec}$) と比較して有意に保持耐久時間が長かった。

IV. 考 察

1. クライマーの手指筋群の筋力・筋持久力特性

本研究では、現代のリードクライマーの手指筋群の筋力および筋持久力特性を明らかにするため、先行研究で用いられてきた握力に加え、新たに2種類のテストを開発し、測定を行った。その結果、クライミング能力 (RPグレード) と握力、保持力および保持耐久時間との間には、いずれも有意な相関関係が認められ、クライミング能力が優れているほど測定項目の値も高

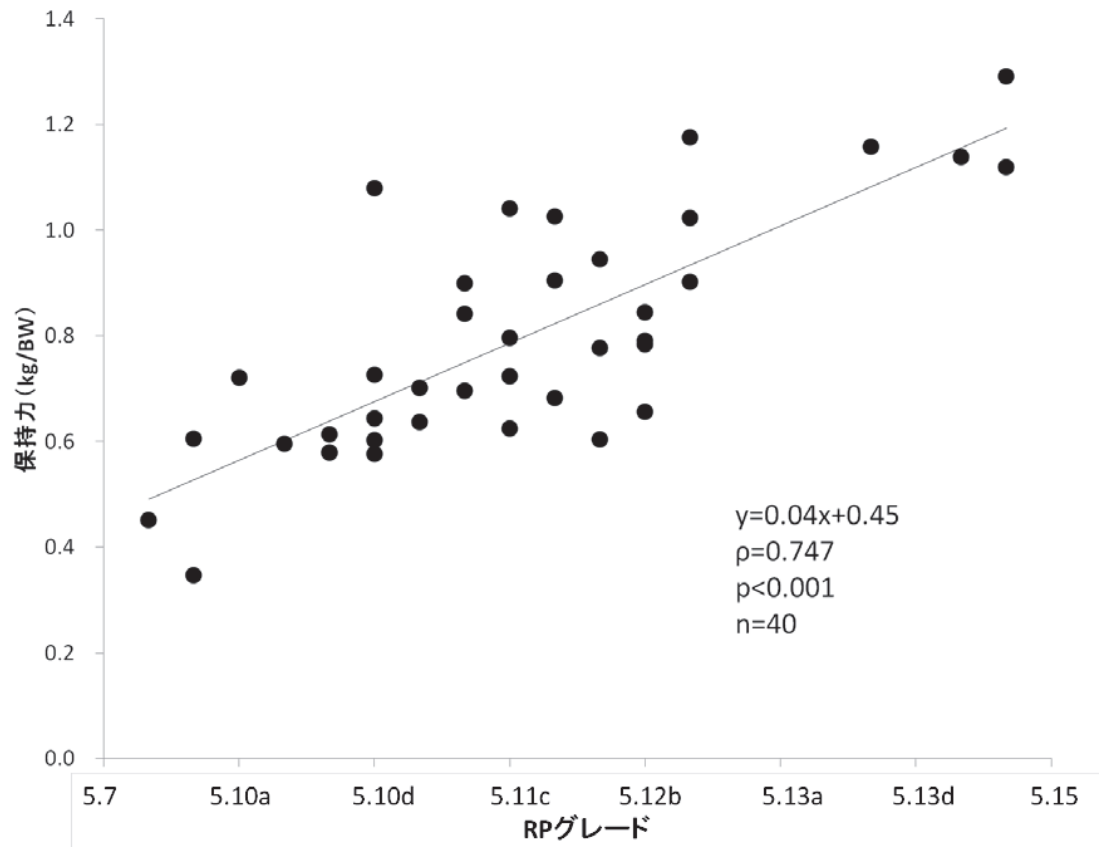


図7 クライミング能力と保持力の関係

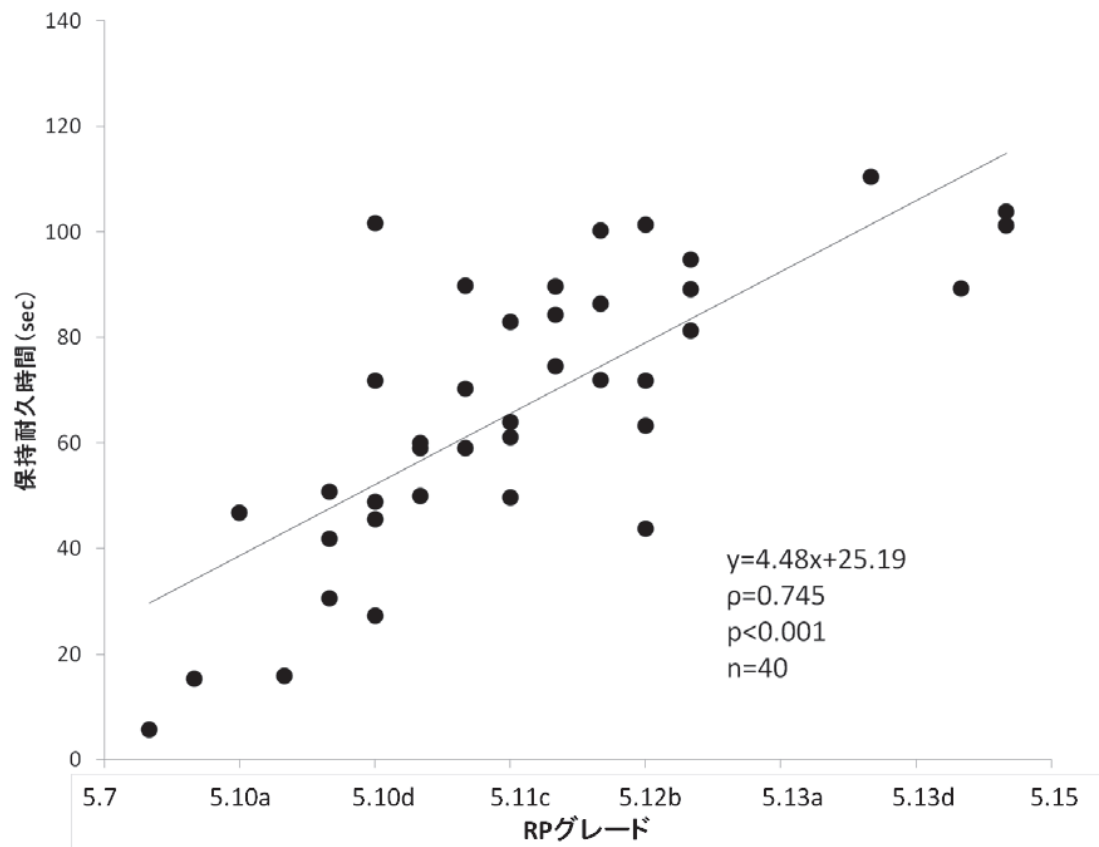
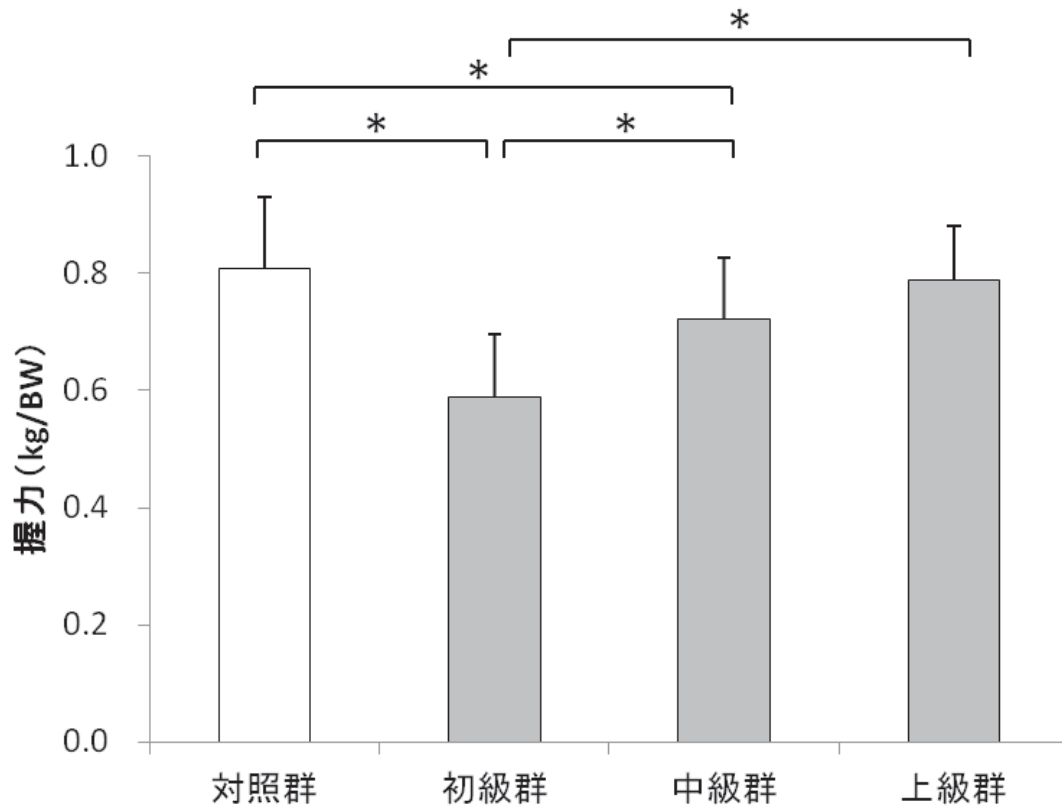
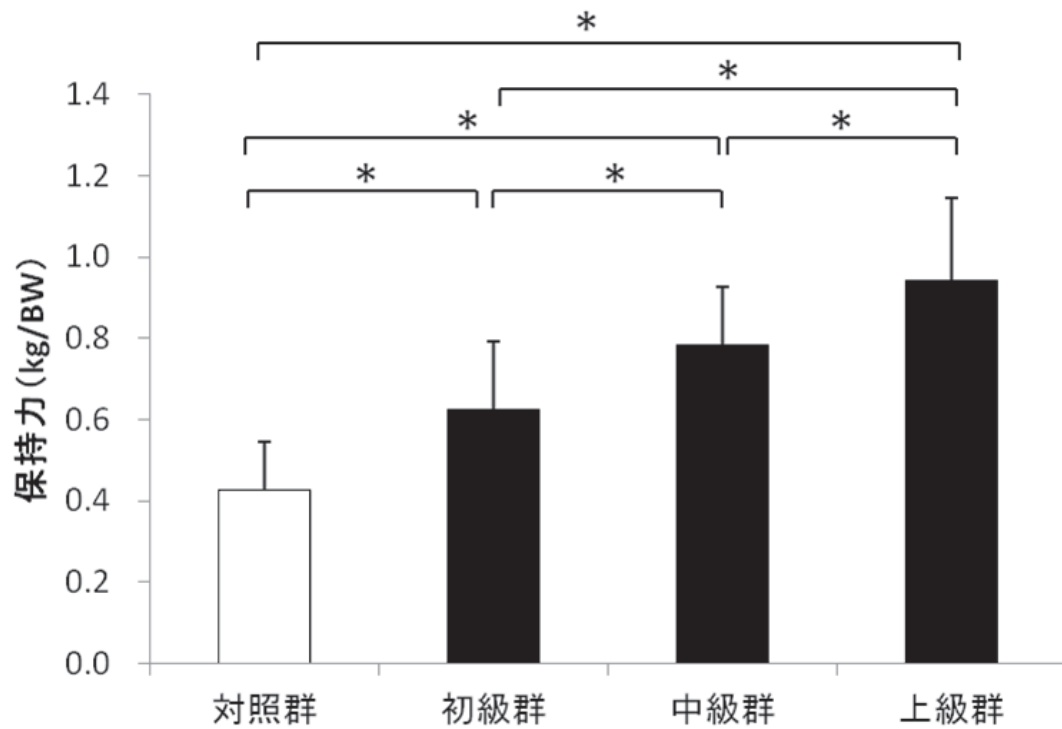


図8 クライミング能力と保持耐久時間との関係



* : $p < 0.05$

図9 握力の群間比較



* : $p < 0.05$

図10 保持力の群間比較

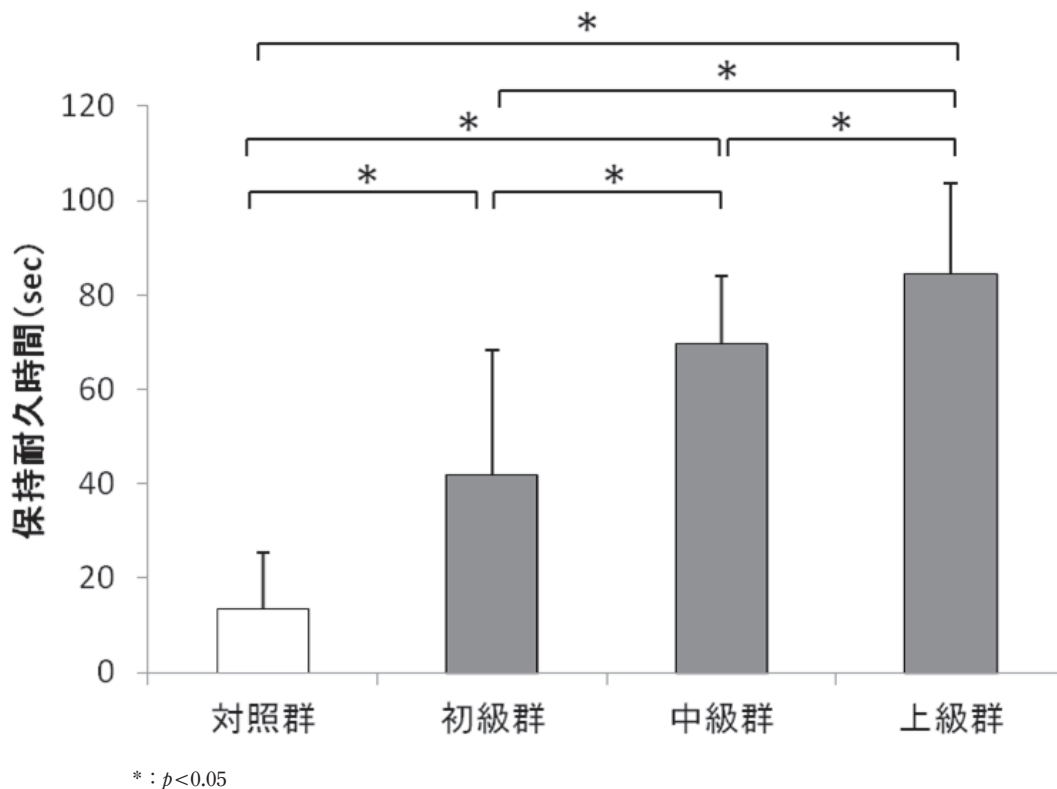


図11 保持耐久時間の群間比較

いことが示された (図6, 図7, 図8)。

本研究において握力は、初級群 ($0.58 \pm 0.11\text{kg/BW}$) および中級群 ($0.72 \pm 0.10\text{kg/BW}$) が対照群 ($0.81 \pm 0.12\text{kg/BW}$) よりも有意に低いという結果であった (図9)。Watts et al. (1993) は、体重当たりの握力は、未経験者よりもクライマーの方が有意に高い値を示すことを報告しており、本研究とは異なる結果であった。この理由として、各被験者の運動経験が関係していることが考えられる。

本研究における対照群は、Watts et al. (1993) と同様、運動習慣のある一般男性であったが、その中には、野球やテニスなど、握力が大きく発達するような種目が含まれていたため、標準値よりも高い値を示したことが考えられる。このように、握力テストでは、個人の運動経験が筋力に影響を及ぼす可能性が大きいことから、他のスポーツ選手と比較する場合、クライミングに特化した筋力を十分に評価できないと考えられる。

一方、本研究で新たに開発した2つのテストについては、クライミングにおける筋収縮様式に類似した伸張性の筋力を測っていることや、保持した際の手指関節角度が図1-b.に示したようなクライミング中のホールドを保持する角度と類似していることもあり、対照

群よりもクライマー群において高い値を示した。また、テストの値はクライミング能力に優れているほど高くなることから、クライマーにおける筋力および筋持久力の有効な評価法になり得ると考えられた。

2. 現場への示唆

本研究で開発した2つのテストを、クライミングの現場で有効活用することを考えた場合、保持力テストは特殊な筋力測定器を要することや、体重以上の負荷に耐えられる人は、重りを背負って何度もテストを行う必要があるため、測定回数も多くなり、誰でも簡易に行うことは難しいという問題がある。これに対して、保持耐久時間テストの方は、保持力強化のために市販されている吊り下げ型トレーニング用疑似ホールドがあれば、クライマーが自ら実施できるというメリットがある。

後者のテストの活用法として、例えば、保持耐久時間と保持力との関係を示した相関図では、両者の間に $r = 0.815$ ($p < 0.001$) とかなり高い相関が見られる (図12)。したがって、保持耐久時間テストを行うことで、クライミングに特化した手指筋群の筋持久力に加え、最大筋力も評価できると考えられる。また、クライミング能力と保持耐久時間の相関図では、両者の間

に $\rho = 0.745$ ($p < 0.001$) と高い相関が見られる (図 8)。この結果から、保持耐久時間が 1 分であった場合、手指筋群の筋力・筋持久力的には 5.11d 相当のグレードのルートを登れることが推定できる。

また、次のような活用法も考えられる。図 7 および図 8 を見ると、相関は高いものの、同じグレードでも、筋力や筋持久力にばらつきもあることがわかる。そこで、たとえば回帰直線の下側に位置するクライマーは、手指筋群の筋力・筋持久力に対してクライミング能力が高いと解釈できることから、体力よりも技術や戦略に優れている、という評価が可能になる。クライミングのパフォーマンスに関係する技術・戦略とは、前腕へのより少ない疲労で移動するための体位や重心移動といった動作技術 (Quaine et al., 1997; Giles et al., 2006; Noé, 2006; Sibella et al., 2007, 西谷・山本, 2008) やホールドの位置を把握し、合理的な登り方を素早く予測する能力 (Morrison and Schoffl, 2007) を指す。このようなクライマーには、クライミング能力向上を目指すトレーニング課題として手指筋群の筋力・筋持久力強化を提案することができよう。一方、回帰直線の上側に位置する者については、その反対のケースとなり、手指筋群の筋力・筋持久力に対

してクライミング能力が低いことになる。このようなクライマーには、クライミング能力の向上を目指すトレーニング課題として、技術や戦略といった能力の改善を提案することができよう。

このように、回帰直線との位置関係をみることで、「筋力・筋持久力依存型」や「技術・戦略依存型」といったクライマーのタイプ分けを行うことが可能になり、個人ごとのトレーニングの処方を考える上で有益な情報を提示できることが考えられた。

V. まとめ

本研究では、リードクライマーの手指筋群の筋力および筋持久力特性を明らかにするため、従来から行われている握力の測定に加え、トレーニング現場で用いられている吊り下げ型疑似ホールドを用いて、①片腕ごとに耐えられた体重当たりの最大筋力の平均値 (保持力) および ②両腕で自己の体重を保持し続けられた時間 (保持耐久時間) を評価するテストを開発し、非クライマー (対照群) との比較を行った。また、クライマーについては、一般的に普及しているクライミング能力を判別するテスト結果と本研究における各種

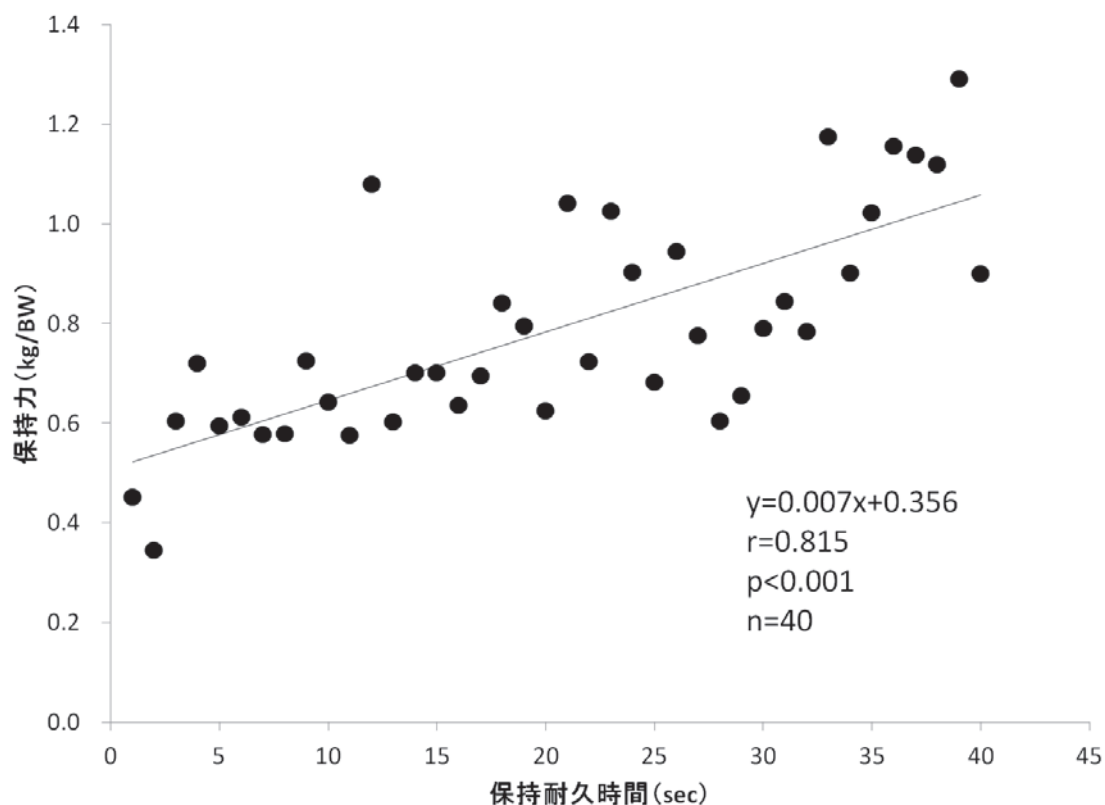


図12 保持耐久時間と保持力との関係

測定項目との関係性について検討した。

その結果、クライミング能力と握力、保持力および保持耐久時間との間には、全てに有意な相関関係が認められた。このうち、保持力および保持耐久時間については、対照群に比較してクライマー群において高い値を示し、さらにはクライミング能力が高いほど測定した値も高いことが認められた。一方、握力については対照群に比較してクライマー群が低い値を示したことから、クライマーの筋力評価法としての妥当性に疑問が残った。

以上のことから、本研究において開発した保持力および保持耐久時間テストは、クライマーの手指筋群の筋力および筋持久力の評価法として有効であり、測定データが体力レベルの把握やトレーニング方針を検討する上で、有益な情報になり得ると考えられた。

注 記

- 1) デシマルグレードシステム：アメリカで発祥したルートの難易度を表す指標で、現代の日本でもこの体系が用いられている。小数点より前の5は「プロテクションが必要なクライミング」を、小数点以下がルートの難しさを示している。5.8<5.9<5.10a<5.10b<…<5.11a<5.11b<…と、小数点以下の数字が大きくなるほど難易度が上がる。この表では、他の国で用いられているグレードとの対応付けも示されている。

参考文献

朝日新聞2012年6月21日朝刊。

- Cutts, A. and Bollen, S.R. (1993) Grip strength and endurance in rock climbers. *Proc. Inst. Mech. Eng. (Lond)*, 207(2): 87-92.
- 第二次RCCグレード改訂委員会 (1981) 三ツ峠：新しいフリークライミングとグレード。岩と雪, 85: 70-77.
- Giles, L.V., Rhodes, E.C. and Taunton, J.E. (2006) The physiology of rock climbing. *Sport. Med.*, 36: 529-545.
- Grant, S., Hynes, V., Whittaker, A. and Aitchison, T.C. (1996) Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *J. Sports Sci.*, 14: 301-309.
- Grant, S., Hasler, T., Davies, C., Aitchison T.C., Wilson, J. and Whittaker, A. (2001) A comparison of the anthropometric, strength, endurance, and flexibility characteristics of female elite and recreational climbers and non-climbers. *J. Sports Sci.*, 19: 499-505.
- 北山 真・杉野 保・新井裕己 (2005) 登山技術全書7：フリークライミング。山と溪谷社。東京。pp.14-15, 18, 165.
- MacLeod, D., Sutherland, D.L., Buntin, L., Whitaker, A., Aitchison, T., Watt, I., Bradley, J. and Grant, S. (2007) Physiological de-

- terminants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance. *J. Sports Sci.*, 25: 1433-1443.
- Morrison, A.B. and Schoffl, V.R. (2007) Physiological responses to rock climbing in young climbers. *Br. J. Sports Med.*, 41: 852-861; discussion 861.
- 西谷善子・山本正嘉 (2008) 3次元動作分析システムを用いたスポーツクライミングにおける動作解析の試み；ハイステップムーブを対象として。登山医学, 28: 122-129.
- 西谷善子・山本正嘉 (2011) オーストリアにおけるスポーツクライミングのトレーニングシステム。登山研修, 26: 5-10.
- Noé, F. (2006) Modification of anticipatory postural adjustments in a rock climbing task; the effect of supporting wall inclination. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 16(4): 336-341.
- Philip, J.R. and William, R.P. (1960) Relationship between maximum isometric tension and breaking strength of forearm flexors. *Res. Quart.*, 31(3): 534-535.
- Quaine, F., Martin, L. and Blanchi, J.P. (1997) The effect of body position and number of supports on wall reaction forces in rock climbing. *J. Appl. Biomech.*, 13: 14-23.
- Schweizer, A. (2001) Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. *J. Biomech.*, 34(2): 217-223.
- Sibella, F., Frosio, I., Schena, F. and Borghese, N.A. (2007) 3D analysis of the body center of mass in rock climbing. *Hum. Mov. Sci.*, 26(6): 841-852.
- Wall, C.B., Starek, J.E., Fleck, S.J. and Byrnes, W.C. (2004) Prediction of indoor climbing performance in women rock climbers. *J. Strength Cond. Res.*, 18: 77-83.
- Watts, P.B. (2004) Physiology of difficult rock climbing. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 90(4): 361-372.
- Watts, P.B., Martin, D.T. and Durtschi, S. (1993) Anthropometric profiles of elite male and female competitive sport rock climbers. *J. Sports Sci.*, 11: 113-117.
- Watts, P.B., Newbury, V. and Sulentic, J. (1996) Acute changes in handgrip strength, endurance, and blood lactate with sustained sport rock climbing. *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 36: 255-260.
- Watts, P.B., Joubert, L.M., Lish, A.K., Mash, J.D. and Wilkins, B. (2003) Anthropometry of young competitive sport rock climbers. *Br. J. Sports Med.*, 37: 420-424.
- Wright, D.M., Royle, T.J. and Marshall, T. (2001) Indoor rock climbing; who gets injured? *Br. J. Sports Med.*, 35: 181-185.
- 山本正嘉・島岡 清 (1983) ロッククライマーの筋力特性；身体各部位の最大筋力。登山医学, 3: 36-49.
- 山本正嘉・島岡 清 (1984) ロッククライマーにおける上肢指関節屈筋の筋力特性；最大筋力，持久能力，および回復能力。登山医学, 4: 131-136.
- 山本正嘉 (2000) 登山の運動生理学百科。東京新聞出版局。東京。pp.147-167.
- 吉福康郎 (1990) スポーツ上達の科学；強くなる・うまくなる・バイオメカニクス。講談社。東京。p.42.

平成26年4月6日受付

平成26年9月26日受理