

スポーツクライミング未経験者の上達過程における認知能力, 動作技術, 手指筋力, および運動後における血中乳酸濃度の変化

前大純朗¹⁾, 西谷善子¹⁾, 山本正嘉²⁾

¹⁾ 鹿屋体育大学大学院

²⁾ 鹿屋体育大学スポーツトレーニング教育研究センター

キーワード: スポーツクライミング, 認知能力, 筋持久力, 血中乳酸濃度

論文概要

クライミングの未経験者に3週間で6回のクライミングトレーニングを行わせ、パフォーマンス, 認知能力, 動作技術, 手指筋力, およびクライミング後の血中乳酸濃度の変化を測定した。その結果, パフォーマンスの指標である到達手数は, 1回目に比べて6回目で約4倍にまで増加した。これに伴い, トレーニング初期では, ホールド位置を認知する能力の急速な改善, および1手に要する時間の短縮が見られた。またトレーニング期間を通して, 下肢を巧みに使い, クライミング能力の制限要因となる手指筋群の負担を軽減させるような動作が習得されていった。クライミング後の血中乳酸濃度は, オールアウトまで運動を行った場合にはトレーニング後に有意に高値を示し, 同じ手数までの運動を行った場合には有意に低値を示した。手指の屈筋群の最大筋力には有意な変化は見られなかったが, 筋持久力はトレーニング後に有意に増加した。以上のことから, クライミングの未経験者が上達していく初期の段階においては, ホールドに対する認知能力, 動作技術, および手指の筋持久力の改善などが複合して, パフォーマンスの大きな向上をもたらしていると考えられた。

スポーツパフォーマンス研究, 4, 1-15, 2012年, 受付日:2011年7月4日, 受理日:2012年1月27日

責任著者:山本正嘉 〒891-2393鹿児島県鹿屋市白水町1鹿屋体育大学 yamamoto@nifs-k.ac.jp

Changes in cognitive ability, technical skills, finger strength, and post-exercise blood lactate concentration of inexperienced climbers

Sumiaki Maeo¹⁾, Yoshiko Nishitani¹⁾, Masayoshi Yamamoto²⁾

¹⁾ Graduate School, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

²⁾ Center for Sports Training Research and Education, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key Words: sport climbing, cognitive ability, muscle endurance,
blood lactate concentration

[Abstract]

In the present project, inexperienced climbers participated in climbing training 6 times in a 3-week period. Changes in cognitive ability, technical skills, finger strength, and post-climbing blood lactate concentration were measured. The results indicated that the number of grips the subjects achieved, which is an index of climbing performance, increased by about 4 times from the first training session to the sixth. In connection with this, in the very early stages of training, a rapid improvement of the cognitive ability to memorize a position, as well as a shortening of the time required for one grip, were observed. Furthermore, throughout the training period, the subjects learned to use their legs skillfully, reducing the fatigue on their hand muscles, which could otherwise limit climbing ability. The post-climbing blood lactate concentration was significantly high after training with all-out exercises, but significantly low in exercises using only the same number of grips. No significant change was observed in the maximum finger strength, but muscle endurance increased significantly after training. These results suggest that in the early stages of progress of inexperienced climbers, improvements in the cognitive ability, technical skills, and finger muscle endurance collaboratively improve performance.

I. 緒言

スポーツクライミングは、ホールドと呼ばれる突起物を利用し、自分の手足を使って自然や人工の壁を登るスポーツである。かつては自然の岩壁を登るものであったが、近年では人工のクライミング壁が広く普及し、より手軽にクライミングを楽しむことができるようになった。現在の日本では、年齢や性別を問わず多くの愛好者がおり(推計 5 万人)、そのレベルもレクリエーションとして楽しむ者から、競技会を目指してハードなトレーニングを行う者まで幅広い。

スポーツクライミングを行う場合、体力面では特に手指の最大筋力や筋持久力が重要である(Giles et al., 2006; Grant et al., 2001; Grant et al., 1996; Macdonald and Callender, 2011; MacLeod et al., 2007; 西谷, 2010; Quaine and Vigouroux, 2004; Wall et al., 2004; Watts, 2004; 山本・島岡, 1983, 1984, 山本, 2000)。ただし、自分の体重を支えるという性質上、絶対値の大きさではなく、体重あたりの相対値の大きさがパフォーマンスを左右する(Giles et al., 2006; Grant et al., 2001; Rodio et al., 2008; Wall et al., 2004; Watts, 2004)。また、身のこなし(動作技術)の優劣や、ホールドやスタンスの配置や形状を把握し、合理的な登り方を素早く予測する能力も重要となる(Morrison and Schoffl, 2007)。このため、巧みな動作技術を習得したり、様々なルートを登る経験を積んだりすることによって、子供、女性、そして中高年者でも、高いパフォーマンスを発揮できるという特徴がある(Grant et al., 2001)。最近では、上記のような特性を生かして、i) 子供が遊びながら身のこなしを高められるように幼稚園や学校にスポーツクライミングの施設を設置する例や、ii) 高齢者の認知症を予防・改善する目的で高齢者施設や病院に設置される例、また、iii) 筋力や筋持久力、バランス能力、および空間把握能力の改善を目的として他のスポーツ(レスリング、柔道、モトクロスなど)の選手がクロストレーニングとして取り組む場合もある(Lirgg et al., 2011; 水野ら, 1997; Watts, 2004)。

このように、スポーツクライミングには幅広い活用の可能性がある。そして、それらは上記の i), ii), および iii) に見られるように、また多くのレクリエーションレベルのクライマーがそうであるように、初心者レベルで行われる場合も多い。しかし、スポーツクライミングに関する先行研究を見ると、そのほとんどが一定レベル以上のクライマーを対象として、体力や技術の特性を明らかにしたものや(Giles et al., 2006; Grant et al., 2001; Grant et al., 1996; Grant et al., 2003; Macdonald and Callender, 2011; MacLeod et al., 2007; Rodio et al., 2008; Wall et al., 2004; Watts, 2004)、傷害の状況を調査したもの(Holtzhausen and Noakes, 1996; Jones et al., 2008; Logan et al., 2004; van Middelkoop et al., 2011)で占められており、初心者の上達過程に着目した研究は見られない。スポーツクライミングは安全性の高いスポーツではあるが、誤ったやり方をすれば手指の傷害などが発生する可能性も高い(Holtzhausen and Noakes, 1996; Jones et al., 2008; Logan et al., 2004; van Middelkoop et al., 2011)。したがって、安全で効果的な指導を行うためにも、また上記のような多様な目的に合った効果を得るためにも、初心者を対象とした研究は重要と考えられる。

そこで本研究では、クライミングの未経験者を対象にクライミングのトレーニングを 3 週間行わせ、その上達の過程で、パフォーマンスの改善を始めとして、その改善に関わると考えられる様々な要因(ホールドに対する認知能力、筋力特性、動作技術、クライミング後の血中乳酸濃度)がどのように変化していくのかを明らかにすることを目的とした。

II. 方法

A. 被検者

被検者は体育学を専攻する男子大学生 7 名で, 全員がクライミングの未経験者であった. 被検者の身体特性は, 年齢: 22 ± 2 歳, 身長: 171.3 ± 6.9 cm, 体重: 66.8 ± 8.4 kg(平均値 \pm 標準偏差)であった. すべての被検者には, 本研究の目的, 方法, およびそれに伴う危険性を説明し, 本研究に参加する同意を得た.

B. 実験の概要

図 1 は, 実験の概要を示したものである. トレーニング前の測定 (Pre 測定) を行った後, 週 2 回の頻度で 3 週間, 計 6 回のクライミングトレーニングを行った (以下, Tr1, Tr2, \dots , Tr6 とする). なお, 週 2 回というトレーニング頻度は, 本トレーニング後には手指筋群に強いパンプアップが起こり, 人によっては 2~3 日後まで強い筋肉痛が生じるという予備実験の結果から, 筋肉痛がトレーニングの妨げにならないようにすることを考慮して決めた. また 3 週間というトレーニング期間は, 予備実験の結果から, 本トレーニングを 3 週間程度行うことで, ほとんどの被検者に明らかなパフォーマンスの改善が生じると予想されたために決定した.

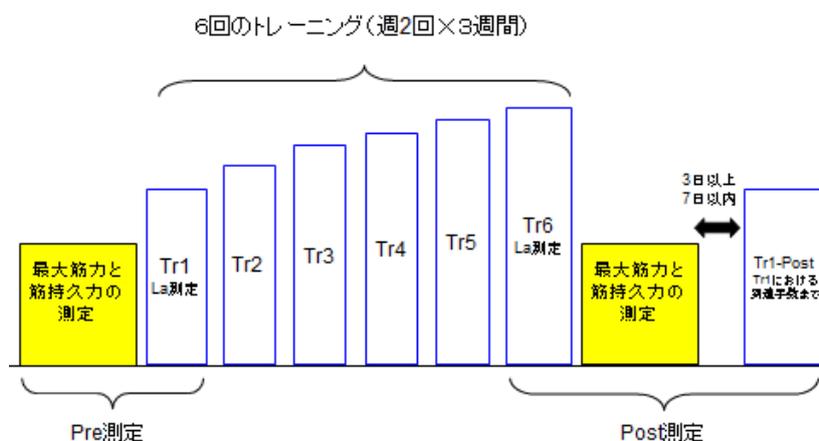


図 1. トレーニング実験の概要

Tr6 の終了後に, トレーニング後の測定 (Post 測定) を行った. なお Tr1 のデータは Pre 測定の一環として考え, 同様に, Tr6 のデータは Post 測定の一環として考えることとした. さらに, Tr6 の終了後, 別の日に改めて Tr1 で到達した回数と同じ回数までのクライミングを行わせ (以下, Tr1-Post とする), これも Post 測定の一環として取り扱った. したがって, Post 測定においては, 手指筋群の疲労により運動の継続ができなくなる (オールアウト) まで行った Tr6 と, オールアウトには至っていない Tr1-Post の 2 種類のデータを分析に用いた.

C. トレーニング方法

クライミングのトレーニングは、人工のクライミング壁(ロックステーション 2, 東商アソシエート社製, Japan)を用いて, 1 周が 30 手となるような周回ルートを設定して行った. [動画 1](#) は, 設定した周回ルートを熟練者が移動している様子を示したものである. なお, このクライミング壁の傾斜は通常 110 度に設定されるが, 本研究では未経験者(初心者)を対象としたため, 手指筋群への負担度を軽減するために 90 度に設定して行うこととした.

なお「手」とは, クライミングで用いられる用語で, 一方の手でホールドを掴んだ場合に 1 手と呼ぶ. また, 定められたルートを周回する際には, どのホールドを何回(手)目に使用しなければならないかが決められている. 本研究では, 1 手目を右手, 2 手目を左手, 3 手目を右手・・・というように, 右手, 左手を交互に使って移動するものとした. 一方, 足についてはどのホールドを使用してもよいものとした.

本トレーニングは, 指定された周回ルートをオールアウトに至るまで行うものとし, Tr1~Tr6 のトレーニングではそれぞれ 1 試行のみ行った. なおオールアウトの定義は, 手指筋群の疲労によってホールドを掴むことができなくなり, 壁から落下した時とした. 一方, 誤って足を滑らせて落下したと判断した場合はオールアウトによる落下と見なさず, 直ちに落下時の位置に戻らせ, 周回を継続させた. またホールドを見失った場合には, 約 5 秒後に正しい位置を検者が指示することとした.

毎回のトレーニング実施前に, ホールドの位置と順番を被検者が十分に覚えるための観察時間(オブザーベーションタイム)を設けた. さらに, クライミングの経験者が模範となる動作を実際に示すとともに, 口頭でも「手よりも足を先に動かす」「腕を伸ばす」といった動作のポイントを簡単に指示し, 被検者がより良い動作でクライミングができるような指導を行った.

D. 測定項目と方法

1. トレーニング過程でのクライミングパフォーマンスの変化

Tr1 から Tr6 までの 6 回のトレーニングにおけるクライミングパフォーマンスの変化を検討するため, 以下の指標を測定した.

オールアウトによる落下までの手数を数えて到達手数とし, これを総合的なパフォーマンスの指標とした. また, 運動開始からオールアウトによる落下までの運動継続時間を測定した. さらに, この時間を到達手数で割り, 1 手に要する時間を算出した.

被検者が次に掴むべきホールドを見失い, 測定者側からの指示が必要となった場合はその回数を記録した. そして, 次式により「ホールド位置把握度(%)」を求め, ホールド位置を認知する能力とみなした.

$$\text{ホールド位置把握度(％)} = (1 - \text{ホールドを見失った回数} / \text{到達手数}) \times 100$$

2. トレーニング前後での測定

クライミングのパフォーマンスに関係すると考えられる各種要因の変化を見るため, トレーニング前後(Pre 測定, Post 測定)で以下の項目を測定した.

1) 最大筋力および筋持久力

a: 握力(図 2-a)

握力計 (Grip-D, 竹井機器工業社製, Japan)を用いて両腕の握力を測定した. 測定は5分以上の間隔をあけて左右とも 2 回ずつ行い, 左右の最高値を平均した値を代表値とした. また, その値を各被検者の体重で除することにより, 体重当たりの握力 (kg/kg)を算出した.

b:保持力(図 2-b)

西谷 (2010)の方法に基づき, ロードセル(竹井機器工業社製, Japan)およびホールド(ロックリングス, メトリウス社製, USA)を用いて筋力測定装置を製作し, それを保持する際の最大筋力を保持力とした. 握力と同様に, 測定は 5 分以上の間隔をあけて左右 2 回ずつ行い, 左右の最高値を平均した値を代表値とした. また, その値を各被検者の体重で除することにより, 体重当たりの保持力 (kg/kg)を算出した.

c:保持時間(図 2-c)

西谷 (2010)の方法に基づき, 手指の筋持久力を測定した. b と同じホールドを使用し, 両手をかけてぶら下がり, 手指筋群の疲労により保持しきれなくなるまでの時間を記録した. なおこの能力については, 自体重を支える能力であることから, 保持時間そのものが体重あたりの能力を表しているものと見なした.

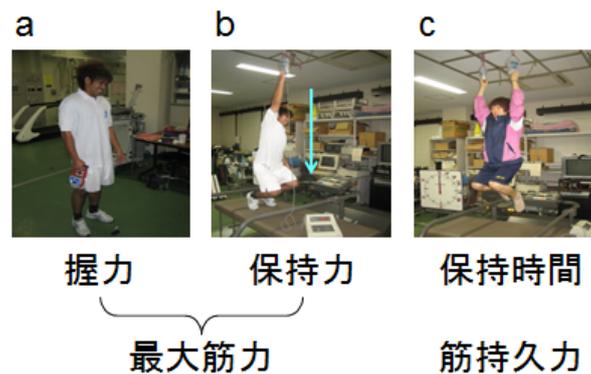


図 2. 2種類の最大筋力(a:握力, b:保持力)および筋持久力(c:保持時間)の測定方法

2) 血中乳酸濃度

Tr1とTr6において, 運動前(安静時)および運動後(オールアウト直後)に指尖より採血し, 簡易血中乳酸測定器(Lactate Pro, Arkray 社製, Japan)を用いて血中乳酸濃度(La)を測定した. また, トレーニング前後において同一手数まで運動を行った際のLaを比較するために, Tr1-Postにおいても運動前および運動後(オールアウトには至っていない状態)におけるLaの測定を行った.

3) クライミング動作の動画撮影

トレーニング前後での技術面での上達を評価するため, Tr1 と Tr6 で正面および側面よりビデオ撮影を行った.

E. 統計処理

基本統計量は平均値±標準偏差で表記した。到達手数、運動継続時間、ホールド位置把握度、および1手に要する時間の検定には、一元配置分散分析を用い、有意差が認められた場合、Bonferroniの多重比較を行った。握力、保持力および保持時間の検定には対応のあるt-testを用いた。Laの検定には二元配置分散分析(安静時 vs. 運動直後 × Tr1 vs. Tr6)を用い、交互作用または主効果が認められた場合、対応のあるt-testを行った。なお、全ての検定において、有意水準は5%とした。

III. 結果

A. トレーニング中のクライミングパフォーマンスの変化

図3-aは、総合的なパフォーマンスの指標とした到達手数の推移を示したものである。Tr1では平均で50手程度であったが、その後直線的に増加していき、Tr6では平均で200手を超え、到達手数は4倍以上という大きな改善が認められた。またその値を比較すると、Tr1に対してはTr3以降において、Tr2に対してはTr4以降において、さらにTr3およびTr4に対してはTr6において有意差が認められた($P < 0.05$)。

図3-bは、運動継続時間の推移を示したものである。トレーニングの進行に伴い運動継続時間は増加し、Tr3以降ではTr1に比べ有意に高い値を示した($P < 0.05$)。また、Tr2に対しTr5とTr6において、さらにTr3に対しTr6において有意に高い値を示した($P < 0.05$)。

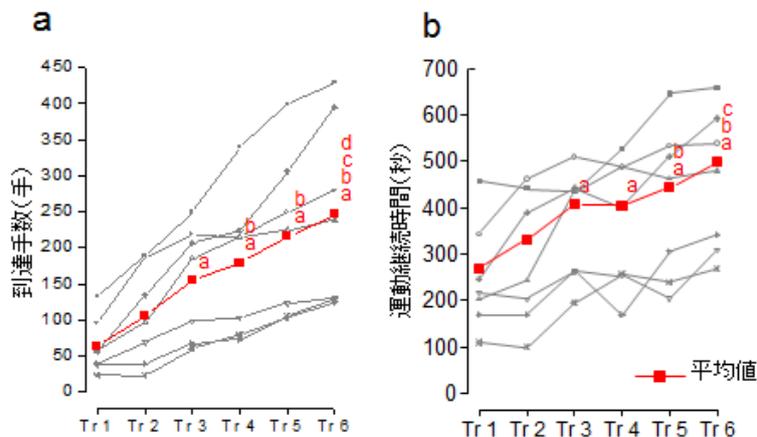


図3. トレーニングの経過に伴う到達手数(a)と運動継続時間(b)の変化
 $P < 0.05$ (a: vs. Tr 1, b: vs. Tr 2, c: vs. Tr 3, d: vs. Tr 4)

図4-aは、ホールド位置把握度の推移を示したものである。Tr1では平均80%程度であったが、トレーニング開始後急激に増加し、Tr3以降では平均95%を越え、ほぼ100%に近い値を示した。また、その変化は、Tr1と比較してTr2以降では有意差が認められた($P < 0.05$)。

図4-bは、1手に要する時間のトレーニングの推移による変化を示したものである。トレーニングの進行に伴い次第に低下し、Tr1と比較しTr2以降では有意に低い値を示した($P < 0.05$)。また、Tr4

以降では Tr2 よりも有意に低い値を示した ($P < 0.05$).

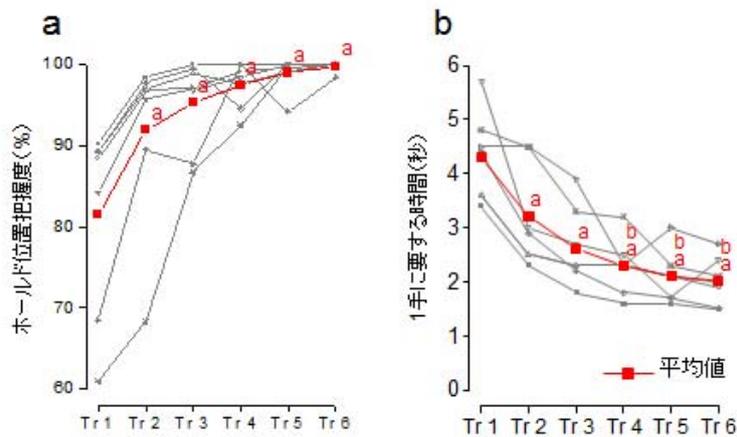


図 4. トレーニングの経過に伴うホールド位置把握度 (a) と 1 手に要する時間 (b) の変化
 $P < 0.05$ (a: vs. Tr 1, b: vs. Tr 2)

B. トレーニング前後での各指標の変化

図 5-a, 5-b は, Pre および Post 測定における体重当たりの握力, および保持力を示したものである. 握力および保持力ともに, 体重当たりの最大筋力に有意な変化は認められなかった.

図 5-c は, Pre および Post 測定における保持時間を示したものである. Pre 測定では平均 22 秒であったものが, Post 測定では平均 34 秒となり, およそ 1.5 倍の改善が認められ, その変化は有意なものであった ($P < 0.05$).

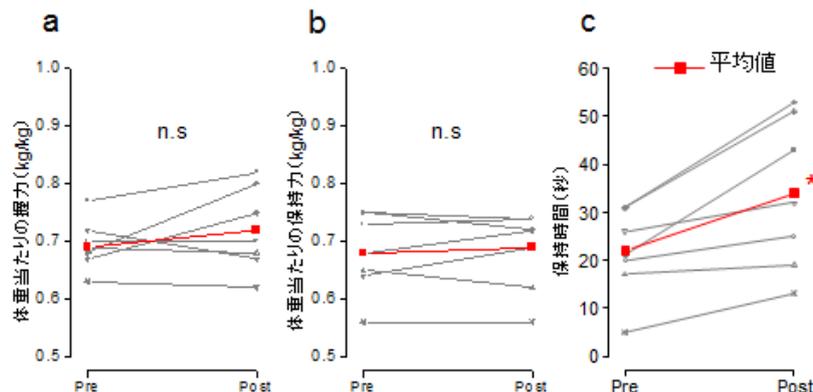


図 5. トレーニング前後での握力 (a), 保持力 (b), 保持時間 (c) の変化
 $*P < 0.05$

図 6-a は, Tr1 と Tr6 における運動直後の La の比較を示したものである. 運動直後の La は, Tr1 では平均 3.3mmol/l 程度であったが, Tr6 では平均 6.3mmol/l と有意に高い値を示した ($P <$

0.001).

また、**図 6-b** は、Tr1 における運動直後の La と、トレーニング期間の終了後に Tr1 の到達手数と同じ手数までのクライミングを行った際 (Tr1-Post) の運動直後の La の比較を示したものである。Tr1 の La は平均 3.3mmol/l であったが、Tr1-Post の La は平均 1.9mmol/l であり、Tr1 よりも有意に低い値を示した ($P < 0.01$)。

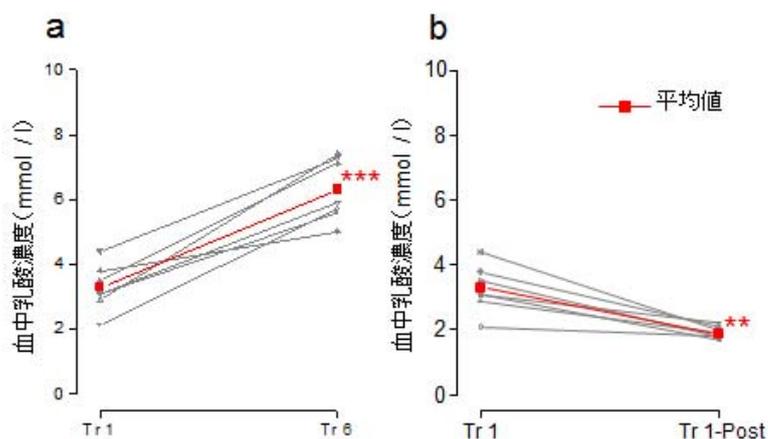


図 6. Tr 1 および Tr 6 における運動後の血中乳酸濃度 (a) と、Tr 1 および Tr 1-Post における運動後の血中乳酸濃度 (b) *** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$

C. トレーニング前後での動作の変化

[動画 2-a](#)、[動画 2-b](#) は、Tr1 と Tr6 のクライミング動作の比較を示したものである。全ての被検者で同様な傾向が認められたことから、1 名の典型例について示した。これを見ると、Tr1 では先に手でホールドを掴んでから身体の安定する場所に足を移動させていたのに対し、Tr6 では足を先に移動させてから次のホールドを掴む動作に移行する様相が多くなっていた。

IV. 考察

A. クライミングパフォーマンスの改善とそれに関連する要因

クライミングパフォーマンスの指標とした Tr1~Tr6 における到達手数は、トレーニングの進行に伴いほぼ直線的に増加し、Tr6 では Tr1 の 4 倍以上に達した (図 3-a)。また、運動継続時間についてもこれと同様の変化を示した (図 3-b)。このようなパフォーマンスの大きな改善について、測定した各指標との関連から見ると、ホールド位置把握度および 1 手に要する時間が、特にトレーニングの初期の段階 (~Tr3) で大きな改善を示していた (図 4)。したがってクライミングパフォーマンスの初期段階での向上には、これらの要因が強く関わっていると考えられる。

中~上級者におけるクライミングパフォーマンスの決定要因として、運動開始前のオブザベーションタイムにホールドの位置を可能な限り把握し、どのような動作で移動していくのかを、前もって判断することが重要であるとされている (Morrison and Schoffl, 2007; Sheel, 2004)。本被検者の内省報告としても、「次のホールドがどこにあるか覚えていることで、無駄のない動きで進むことができた」

や、「次の動きを考え、脚をどこに置くか決めておくことにより、腕に負担のかからない動きができるようになった」など、ホールドの位置を把握し先の動きを読むことの重要性を述べていた。したがって、ホールド位置把握度（認知能力）は、初心者においてもパフォーマンスを決定する重要な要素であり、その変化はトレーニングの特に初期の段階で生じるものと推察される。

その一方で、ホールド位置把握度および1手に要する時間は、いずれも Tr4 以降では頭打ちになっているにもかかわらず（図 4）、到達手数や運動継続時間は Tr4 以降もさらに増加していることがわかる（図 3）。このことは、未経験のルートや熟知していないルートを周回する際には、ホールド位置把握度（認知能力）がパフォーマンスを決める上で重要になるが、ホールド位置をある程度把握し（本研究ではほぼ 100%に近い値となっていた）、また動作速度も、疲労を抑えつつ、素早くかつ正確に動ける限界の速度に達した段階になると、別の要因が影響することを意味している。

このような段階でパフォーマンスを決定する要因としては、状況に応じた適切なホールドの選択や保持方法の決定、およびより少ない疲労で移動するための体位や体重移動といった動作技術が挙げられる（Giles et al., 2006; 水野ら, 1997; Sheel, 2004）。クライミング能力を最も強く制限する要因は手指筋群の疲労であり（Gajewski et al., 2009; España-Romero et al., 2009）、この筋群にできるだけ負担をかけずに登ることがパフォーマンスにとって重要である。クライミングの技術書（東, 1997; 大岩・大岩, 1989; 小山田, 2006）では、その方法として「下肢を巧みに使う」ことをあげている。また水野ら（1997）は、クライミングの未経験者と熟練者を比較した結果、未経験者では動作時間が長いことや、クライミング後に著しく握力が低下することなどを報告しており、下肢を巧みに使って上肢の負担を軽減する動作の重要性を述べている。

通常、初心者がクライミングの練習を行う際には、指導者が模範となる動作を示すことや、口頭で指示を行うことが重要である。このため、本トレーニングにおいても同様の指導を行った。しかし、Tr1（トレーニング初期）においては動画 2-a に示されるように、下肢よりも先に上肢が動くケースが多く見受けられた。これは、トレーニングの初期段階では、指導者から上記のような指示を受けたとしても、ホールド認知能力が低いために、次のホールドを探すことに注意が奪われ、足を置くホールドに対する意識が疎かになるためと考えられる。

しかし、トレーニングの進行によってホールド認知能力が改善されるに従い、動画 2-b にみられるように、最適な足場の選択にも十分な注意を向けることができるようになり、その結果、下腿三頭筋や大腿四頭筋といった下肢筋をより有効に利用するような動作が習得できたことが窺える。本研究では、トレーニングによりクライミング中の上肢の筋活動がどの程度軽減され、逆に下肢筋群の活動がどの程度増加したのかについては測定していない。しかし、6 回のトレーニングによって、下肢を巧みに使い、上肢の負担を減らすような動作の学習が行われ、それが手指筋のポンプアップを遅らせ、パフォーマンスの向上に貢献する要因の 1 つとなったと考えられる。

最大筋力は、体重当たりの握力および保持力ともに、本トレーニングの前後で有意な変化は認められなかった（図 5-a,b）。一方、筋持久力の指標とした保持時間は、トレーニング後に有意に増加（約 1.5 倍）した（図 5-c）。このような変化をもたらした要因として、まずクライミングの運動特性が考えられる。クライミングは、手指筋群における最大下力発揮の等尺性収縮を繰り返す運動である（Usaj, 2001; Usaj et al., 2007）。また、本研究ではホールドを掌握している時間を計測していない

が, Billat et al. (1995) は, クライミング周回中において手筋群が等尺性収縮を行う時間は周回時間の 3 分の 1 以上となると報告している. 本研究では, 毎回のトレーニングにおいて手指筋群が疲労し運動の継続が不可能になるまで周回を行ったが, その運動時間はトレーニングの進行に伴い次第に増加していった(図 3-b). したがって本トレーニングは, 手指筋群における最大下力発揮でのトレーニングを毎回限界まで行うような筋持久力トレーニングであったと考えられ, それに対する適応として前腕手指筋群への血流量の増加による酸素供給能力の改善が起こり(Hicks et al., 1999), 筋持久力が向上し, クライミングパフォーマンスの改善にもつながったと考えられる.

冒頭で述べたように, 経験を積んだクライマーを対象とした研究では, 手指筋群の筋持久力のみならず, 握力や保持力などの最大筋力, および前腕筋断面積においても, クライマーは未経験者と比較して高い値を示すことが多く報告されている(Giles et al., 2006; Grant et al., 2001; Grant et al., 1996; Macdonald and Callender, 2011; MacLeod et al., 2007; 西谷, 2010; Rodio et al., 2008; Vigouroux and Quaine, 2006; Wall et al., 2004; Watts et al., 1996; Watts, 2004; 山本・島岡, 1983, 1984, 山本, 2000). このように, クライミングの中～上級者では, クライミングを長期間行うことによる筋肥大や最大筋力の増加も起こるが, 本研究の結果もあわせて考えると, 未経験者が上達していく初期の段階では, 筋持久力の向上が先行することが示唆される. これらのことを考慮すると, 初心者の段階では, パフォーマンスの急速な改善が起こる一方で, 最大筋力が十分に発達していない可能性が考えられる. したがって, 初心者を指導する際には, これらの事を考慮し, 傷害の発生に注意すべきであると考えられる.

Tr1 および Tr6 の運動において, それぞれのオールアウト直後に測定した La は, Tr1 で平均 3.3mmol/l, Tr6 で平均 6.3mmol/l と, 後者の方が有意に高値を示した(図 6-a). この Tr6 における La は, クライミングの中～上級者がオールアウトによる落下の直後に測定した La と同程度の値であった(Gajewski et al., 2009; Watts et al., 1996). トレーニングにより運動直後の La が高値を示すようになった理由としては, 認知能力や動作などの技術要素の改善に伴い, 到達手数および運動継続時間が増加したことの影響が考えられる. すなわち, Tr1 においては動作技術が低いため, 1 つ 1 つの動作において手指筋群に強い負荷がかかり, 特に技術が必要なセクションにおいてはほとんどの被検者が「強い負荷が急激にかかり耐え切れない」という理由で落下していた. しかし, トレーニングによって動作技術が改善するにつれ, 運動中に手指筋群にかかる負荷が軽減され, 運動をより長時間行えるようになったものと考えられる.

つまり, Tr1 においては手指筋群にとって最大に近い強度での短時間の運動であったものが, Tr6 では強度がより低下して長時間の運動が可能となり, そのエネルギー源として解糖系のエネルギーがより多く利用され, La が高値を示すようになったと考えられる. また, Tr1 と Tr1-Post の La を比べてみると, 後者の方が有意に低値を示した(図 6-b). これについては, 上述したような技術要素の改善により手指筋群にかかる負荷が軽減されたことや, 運動継続時間も短縮されたことによって, 同一の運動を遂行する場合には運動自体の絶対量を小さくすることができ, La が低値を示したと考えられる.

以上のように, クライミング未経験者が上達していく課程においては, 認知能力, 動作技術, 手指筋力, および運動後の血中乳酸濃度から推察される解糖系エネルギー供給の様相など, 様々

な要素が複合的に関連し合いながらパフォーマンスが向上すると考えられる。また、それらの要因は全て、クライミング中に上肢にかかる負荷を軽減するように適応または改善されていくことが示唆される。

本研究では、体育学専攻の学生を対象としているため、基礎体力や動作の学習能力が一般人よりも高く、今回得られた全ての結果が一般人にも当てはまるとは言えない可能性がある。しかし本研究の結果により、クライミングの未経験者が急速に上達していく過程における様々な要因の変化が明らかとなった。このことは、一般人のクライミング未経験者に対する指導の現場においても、有益な示唆を与えるものと考えられる。

B. 初心者のトレーニングに対する示唆

本研究で明らかになった知見から、クライミングの未経験者や初心者に対して、以下のような示唆ができると考えられる。

本研究により、初心者においても中～上級者と同様に、ホールド位置の認知能力がクライミングパフォーマンスに大きく影響するということが明らかとなった。したがって、クライミング運動を行う以前の、オブザベーションタイムからトレーニングは始まっていると考え、事前にホールド位置を把握する努力をすることが、パフォーマンスの向上にとって重要であると考えられる。

また本研究により、わずかな回数のトレーニングでも、認知能力、動作技術、筋持久力の改善などによって、パフォーマンスは急激に向上することが明らかとなった。初心者の場合、このような状況ではしばしば、急速なレベルアップを求めて、より難度の高いルートや、より体力や技術を要する動作を行いがちである。しかしこの段階では、手肢筋群の最大筋力はトレーニング前と比べてほとんど変化していないため、急速なレベルアップは傷害を引き起こす可能性がある。したがって、トレーニングの初期段階でのレベルアップは意識的にゆっくり行うことが、傷害の予防にとって重要であると考えられる。

VI. まとめ

本研究では、クライミングの未経験者に、3週間で6回のクライミングトレーニングを行わせた結果、トレーニングの1回目に対して6回目では、パフォーマンス(到達手数)が約4倍にまで増加した。このような大きなパフォーマンスの改善をもたらした要因として、ホールドの位置を認知する能力の急速な改善をはじめ、動作技術の改善、手指の筋持久力の改善、および解糖系からのエネルギー供給の様相などが複合的に関連しているものと考えられる。

VII. 参考文献

- ・ Billat V, Palleja P, Charlaix T, Rizzardo P, Janel N. (1995) Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. J Sports Med Phys Fitness. 35 (1): 20-24.
- ・ Cairns SP. (2006) Lactic acid and exercise performance: culprit or friend? Sports Med. 36: 279-291.

- España-Romero V, Ortega PFB, Artero EG, Jiménez-Pavón D, Gutiérrez SA, Castillo GMJ, Ruiz JR. (2009) Climbing time to exhaustion is a determinant of climbing performance in high-level sport climbers. *Eur J Appl Physiol.* 107: 517-525.
- Gajewski J, Hubner-Wozniak E, Tomaszewski P, Sienkiewicz-Dianzenza E. (2009) Changes in handgrip force and blood lactate as response to simulated climbing competition. *Biol Sport.* 26: 13-21.
- Giles LV, Rhodes EC, Taunton JE. (2006) The physiology of rock climbing. *Sports Med.* 36: 529-545.
- Grant S, Hasler T, Davies C, Aitchison TC, Wilson J, 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.
- Grant S, Hynes V, Whittaker A, Aitchison T. (1996) Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *J Sports Sci.* 14: 301-309.
- Grant S, Shields C, Fitzpatrick V, Loh WM, Whitaker A, Watt I, Kay JW. (2003) Climbing-specific finger endurance: a comparative study of intermediate rock climbers, rowers and aerobically trained individuals. *J Sports Sci.* 21: 621-630.
- Grassi B, Quaresima V, Marconi C, Ferrari M, Cerretelli P. (1999) Blood lactate accumulation and muscle deoxygenation during incremental exercise. *J Appl Physiol.* 87: 348-355.
- Hicks A, McGill S, Hughson RL. (1999) Tissue oxygenation by near-infrared spectroscopy and muscle blood flow during isometric contractions of the forearm. *Can J Appl Physiol.* 24: 216-230.
- 東秀磯 (1997) インドア・クライミング. 山と溪谷社. 東京. pp31-32.
- Holtzhausen LM, Noakes TD. (1996) Elbow, forearm, wrist, and hand injuries among sport rock climbers. *Clin J Sport Med.* 6: 196-203.
- Jones G, Asghar A, Llewellyn DJ. (2008) The epidemiology of rock-climbing injuries. *Br J Sports Med.* 42: 773-778.
- Kristensen M, Albertsen J, Rentsch M, Juel C. (2005) Lactate and force production in skeletal muscle. *J Physiol.* 562: 521-526.
- Lirgg CD, Dibrezzo R, Gray M, Esslinger T. (2011) The effect of climbing wall use on the grip strength of fourth-grade students. *Res Q Exerc Sport.* 82 (2): 350-354.
- Logan AJ, Makwana N, Mason G, Dias J. (2004) Acute hand and wrist injuries in experienced rock climbers. *Br J Sports Med.* 38: 545-548.
- Macdonald JH, Callender N. (2011) Athletic Profile of Highly Accomplished Boulderers. *Wilderness Environ Med.* 22(2): 140-143.
- MacLeod D, Sutherland DL, Buntin L, Whitaker A, Aitchison T, Watt I, Bradley J, Grant S. (2007) Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance. *J Sports Sci.* 25: 1433-1443.

- Marsh GD, Paterson DH, Thompson RT, Cheung PK, MacDermid J, Arnold JM. (1993) Metabolic adaptations to endurance training in older individuals. *Can J Appl Physiol.* 18: 366-378.
- 水野康, 浅野勝巳, 三村達也 (1997) フリークライミング時の生理的応答特性. 一流クライマーと未経験者の比較. *登山医学.* 17: 135-140.
- Morrison AB, Schoffl VR. (2007) Physiological responses to rock climbing in young climbers. *Br J Sports Med.* 41: 852-861; discussion 861.
- 西谷善子 (2010) クライミングで求められる局所的筋持久力. *月刊トレーニング・ジャーナル.* 32: 18-21.
- 大岩純一, 大岩あき子 (1989) フリークライミング; 入門とガイド. 山と溪谷社. 東京. pp.46-47,.
- 小山田大 (2006) ボルダリング1stブック; フリークライミングの基本. *スキージャーナル.* 東京. pp36-39.
- Quaine F, Vigouroux L. (2004) Maximal resultant four fingertip force and fatigue of the extrinsic muscles of the hand in different sport climbing finger grips. *Int J Sports Med.* 25: 634-637.
- Rodio A, Fattorini L, Rosponi A, Quattrini FM, Marchetti M. (2008) Physiological adaptation in noncompetitive rock climbers: good for aerobic fitness? *J Strength Cond Res.* 22: 359-364.
- Sheel AW. (2004) Physiology of sport rock climbing. *Br J Sports Med.* 38(3): 355-359.
- Usaj A. (2001) The endurance training effect on the oxygenation status of an isometrically contracted forearm muscle. *Pflugers Arch.* 442: R155-156.
- Usaj A. (2002) Differences in the oxygenation of the forearm muscle during isometric contraction in trained and untrained subjects. *Cell Mol Biol Lett.* 7: 375-377.
- Usaj A, Jereb B, Robi P, von Duvillard SP. (2007) The influence of strength-endurance training on the oxygenation of isometrically contracted forearm muscles. *Eur J Appl Physiol.* 100: 685-692.
- van Middelkoop M, Rakhshandehroo S, Bruens ML, Koes BW, Bierma-Zeinstra SM. (2011) Injuries of the upper body extremities in recreational climbers: incidence and risk factors. *Br.* 45: 380-381.
- Vigouroux L, Quaine F. (2006) Fingertip force and electromyography of finger flexor muscles during a prolonged intermittent exercise in elite climbers and sedentary individuals. *J Sports Sci.* 24: 181-186.
- Wall CB, Starek JE, Fleck SJ, Byrnes WC. (2004) Prediction of indoor climbing performance in women rock climbers. *J Strength Cond Res.* 18: 77-83.
- Watts P, Newbury V, 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 PB. (2004) Physiology of difficult rock climbing. *Eur J Appl Physiol.* 91: 361-372.

- ・ 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. pp147-167