

2019 年度修士学位論文

登山における

上りと下り坂歩行が筋機能，バランス機能，  
認知機能ならびに筋損傷指標に及ぼす一過性  
の影響

立命館大学大学院

スポーツ健康科学研究科

身体運動科学領域 博士課程前期課程 2 回生

6232180001-2

石井 竜平

# 登山における

## 上りと下り坂歩行が筋機能，バランス機能， 認知機能ならびに筋損傷指標に及ぼす一過性 の影響

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科 博士課程前期課程 2 回生

石井 竜平

### 要旨

キーワード：登山，上り坂歩行，下り坂歩行，筋機能，バランス機能，認知機能，筋損傷

### 【目的】

本研究は登山における上り坂歩行および下り坂歩行のそれぞれが，筋機能，バランス機能，認知機能および筋損傷指標に及ぼす影響を検証することを目的とした。

### 【方法】

運動習慣のない若年男女 11 名を対象とし，上り坂歩行のみを行う上り坂条件および下り坂歩行のみを行う下り坂条件を 2 週間以上あけてランダムな順序で実施した。歩行場所は滋賀県大津市に位置する比叡山の登山道坂本ルート（標高：158m-690m，歩行距離：約 3.1km，登高距離：532m，勾配率平均：17.42%）とした。各条件における運動前および運動後に，筋機能指標として膝関節伸展筋力および跳躍高（カウンター・ムーブメント・ジャンプおよびスクワットジャンプ），バランス機能として閉眼片足立ちおよび平均台歩行のタイム，認知機能として単純反応時間およびストループテストのスコアを測定した。また筋損傷指標として跳躍高および主観的筋痛を運動前，運動後，および 24 時間後に測定した。

## 【結果】

いずれの条件においても、主観的筋痛を除く全ての指標に、運動による有意な変化は確認されなかった。主観的筋痛は、下り坂歩行条件でのみ運動前と比べ運動 24 時間後に有意に増加した。また、運動 24 時間後の筋痛は下り坂歩行条件が上り坂歩行よりも有意に大きかった。

## 【考察】

安全を最優先した本研究の運動場所は比較的初心者レベルの登山コースであり、若年者にとっては低強度であったため、筋機能、バランス機能、および認知機能に影響がなかった可能性がある。しかしながら、下り坂条件においてのみ主観的筋痛が発生したことは、実験室でトレッドミルを用いて行われた先行研究の結果を支持するものであり、実際の登山における下り坂歩行でも筋痛の原因となる筋損傷が生じていた可能性がある。

## 【結論】

本研究の結果、比較的低強度の登山では、上りおよび下り坂歩行のいずれも筋機能、バランス機能、および認知機能に影響を及ぼさないが、下り坂歩行により特異的に筋損傷が生じることが示唆された。

# Acute Effects of Uphill and Downhill Mountain Walking on Muscle, Balance, and Cognitive Functions and Muscle Damage

Graduate School of Sports and Health, Ritsumeikan University

Ryohei Ishii

## Abstract

Keywords: mountain walking, uphill, downhill, muscle function, balance function, cognitive function, muscle damage

### 【Purpose】

The purpose of this study was to investigate acute effects of uphill and downhill mountain walking on muscle, balance, and cognitive functions and muscle damage.

### 【Methods】

Eleven young subjects without exercise habits performed uphill and downhill mountain walking on different days in a randomized order with an interval of more than 2 weeks. The walking trials were conducted at Sakamoto route of Mt. Hiei, located in Otsu City, Shiga. Before (Pre) and after (Post) each trial, knee extension strength and jump height (counter-movement jump and squat jump) as muscle functions, standing time on one leg with eyes closed and walking time on a balance beam as balance functions, and simple reaction time and scores of the Stroop test as cognitive functions were measured. Jump height and subjective muscle soreness in the thigh were also assessed as muscle damage indices 24 hours after each trial in addition to Pre and Post.

### 【Results】

None of the measured variables except for muscle soreness changed after each of uphill and downhill walking. Muscle soreness significantly increased 24 hours after downhill walking compared to Pre. In addition, this was significantly higher than that of uphill walking at 24 hours after exercise.

### **【Discussion】**

The walking course used in this study, where safety was prioritized, was a relatively beginner level walking trail, and therefore the intensity was likely low for young people. This may explain why the muscle, balance, and cognitive functions were not affected by the uphill and downhill walking trials. Nevertheless, the emergence of muscle soreness that was only observed after downhill walking supports the results of previous research conducted using a treadmill in a laboratory. This suggests that the underlying muscle damage may have occurred only after downhill walking.

### **【Conclusion】**

Although muscle, balance, and cognitive functions were not affected by relatively low-intensity uphill and downhill walking, emergence of muscle soreness induced by downhill walking implies muscle damage is specific to this type of exercise involving braking (eccentric) muscle actions.

## 目次

第1章 緒言.....	1
1-1 登山・ハイキングの現状.....	1
1-2 予測される転倒の発生要因.....	1
1-3 仮説および目的.....	2
第2章 方法.....	4
2-1 研究参加者.....	4
2-2 運動場所および日程.....	4
2-3 運動条件.....	6
2-4 運動手続き.....	6
2-5 安全配慮・運動禁忌条件.....	7
2-6 測定項目.....	9
2-6-1 膝関節伸展筋力.....	9
2-6-2 跳躍高.....	9
2-6-3 閉眼片足立ち.....	10
2-6-4 平均台歩行.....	10
2-6-5 ストループテスト.....	10
2-6-6 単純反応時間テスト.....	13
2-6-7 筋損傷指標.....	13
2-7 統計解析.....	14
第3章 結果.....	15
3-1 登山前後における膝関節伸展筋力.....	15
3-2 登山前・後・24時間後における跳躍高.....	15
3-3 登山前後における閉眼片足立ち.....	16
3-4 登山前後における平均台歩行.....	17

3-5 登山前後における単純反応時間 .....	18
3-6 登山前後におけるストループテスト .....	18
3-7 登山前・後・24時間後における筋痛.....	22
<b>第4章 考察.....</b>	<b>23</b>
4-1 登山による筋機能の変化.....	23
4-2 登山によるバランス能力の変化 .....	24
4-3 登山による認知機能の変化.....	25
4-4 登山による筋損傷指標の変化 .....	26
4-5 本研究における限界点および今後の展望.....	27
<b>第5章 結論.....</b>	<b>29</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>30</b>
<b>謝辞.....</b>	<b>35</b>

# 第1章 緒言

## 1-1 登山・ハイキングの現状

近年、登山やハイキングが広い世代で行われている。総務省の社会生活基本調査によると、2016年の登山・ハイキングの行動者率（一年以内に一回でも実施した人の割合）は2011年と比較してほとんどの年齢層で上昇していることが報告されている（総務省，2017）。2016年の登山・ハイキングの行動者率は、20-74歳で10%を超えており（図1）、20-74歳間ではほとんど横ばい状態であることが分かっている。また、平均行動日数（一年間に実施した回数）は年齢とともに上昇していることも報告されている。

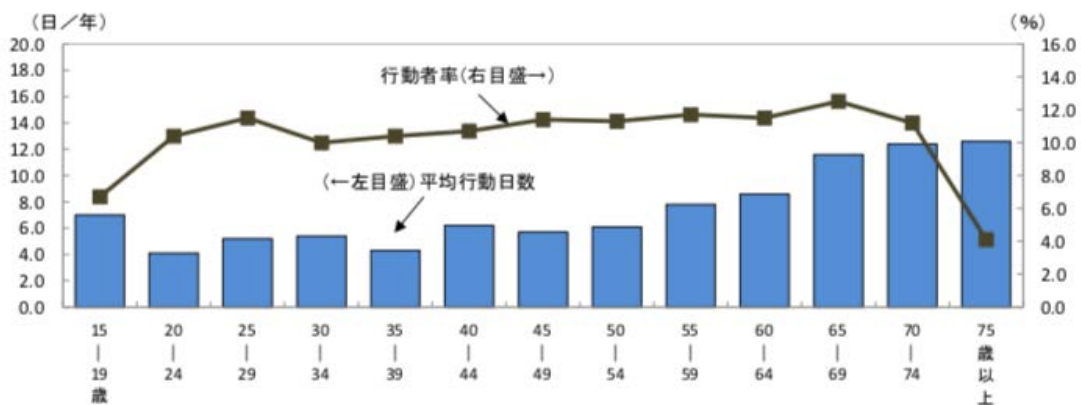


図1 総務省：社会生活基本調査「登山・ハイキング」の現状（2016）

一方、近年は登山・ハイキングにおける滑落・転倒などの事故が増加していることが懸念されている。特に、余暇時間を活用した山岳での活動で発生する事故は高水準であることが分かっている（Schad, 2000）。日本で代表的な山岳地帯である長野県の山岳遭難統計によると、2016年内に長野県内で発生した登山中の事故において、転倒・滑落・転落の事故発生の割合は、事故発生件数全体の60%を超えていることが報告されている（2019，長野県警察本部）。また、転倒・滑落・転落は、事故発生件数全体で最も頻発している事故であることも分かっている（2019，長野県警察本部）。

## 1-2 予測される転倒の発生要因

登山中、下りにおける下肢筋群の活動様式はブレーキをかけるような伸張性収縮が主体となるが、このような伸張性の運動は筋損傷を生じさせ筋機能の低下を誘発することがわ



かっている (Easton et al., 1995). 下肢筋群の筋損傷による筋機能低下は、歩行中のフットクリアランス (遊脚期における床と足先の距離) の低下を招き、障害物などに躓く原因となっている (Nagano et al., 2014). そのため、筋機能の低下は、下りで頻発する転倒などの事故を引き起こす主な理由であると示唆されている (山本・山崎, 2003).

しかし、登山は通常上ってから下るという順番であるため、上りで蓄積された疲労が影響して、下りでの転倒を誘発している可能性も否定できない。事実、上りは下りと比較して酸素摂取量・心拍数などの代謝的負担が大きいことが報告されている (萩原・山本, 2011). このような代謝的負荷が大きい運動は、短時間 (<45 分) の運動であれば認知機能を高めると報告されているが (Tomporowski, 2003), 登山のような長時間 (>1 時間) の運動において、同様な見解を得ることができるか不明である。加えて、重要な転倒要因の一つとしてバランス能力が挙げられるが、登山におけるバランス能力の低下は、不整地面におけるバランスの維持能力を低下させる原因となることが推察される (Nagano et al., 2014). しかし、上りと下りのそれぞれが、これらの転倒要因にどの程度影響を与えるかは不明である。

そこで、本研究では登山における転倒要因として、American Geriatrics Society, British Geriatrics Society, and American Academy of Orthopaedic Surgeons Panel on Falls Prevention (2001) における転倒要因の中から、転倒歴や病歴などの個人的要因を除外した、筋機能、バランス機能、認知機能、を抽出し測定項目として採用した。また、従来から考えられていた筋損傷指標についても着目し測定を実施することとした。

先行研究ではいずれも実験室環境で行ったものが多く、実際に登山を行った研究は少ない。Jin et al. (2000) は、上りおよび下りのいずれの動作においても、スロープ条件および階段条件で膝関節まわりのモーメントが異なることを報告している。登山における歩行路は、スロープおよび階段が組み合わさったものであり、これらの要因を複合的に考える必要がある。また、登山道では転倒をしないよう足元に注意を払いながら歩行するため、Dual-task となっていると考えられる (山本, 2017). そのため、実験室で行う歩行と比較して、より認知機能に負担がかかる可能性がある。以上のことから、実際の登山を反映した検証を行うためには、実際の登山のような自然環境に暴露された状態で行う必要がある。

### 1-3 仮説および目的

以上より、本研究は登山における上り坂歩行および下り坂歩行のそれぞれが、筋・バラ

ンス・認知機能，ならびに筋損傷指標に及ぼす影響を検証することを目的とした．仮説は以下の通りである．筋機能においては，上りでは筋疲労，下りでは筋損傷が主に影響し，両条件とも筋機能が低下する．バランス機能においては，上りおよび下り坂歩行で共に低下すると考えられるが，筋機能および認知機能の両方が低下する可能性が大きい上りにおいて，下りより大きく低下する．認知機能においては，代謝的な負担が大きいかつ長時間運動である上り坂歩行においてのみ低下する．筋損傷指標は下り坂歩行においてのみ変化する．

## 第2章 方法

### 2-1 研究参加者

実験参加者は、22-24歳（平均：23.26歳，標準偏差：±0.67歳）の身体運動トレーニングや登山の習慣がない健常な若齢男女11名（男性：5名，女性：6名）とした。運動の参加時に，日常的な有酸素運動およびレジスタンストレーニングの実施習慣，登山経験をアンケート調査によって確認した。除外基準としては，①身体に外傷を負っている，または疾患に罹患している等の理由から現在治療中である，②精神や身体に障害を負っている，③外傷等により日常動作を行う際に特別な器具を必要としている，④定期的な運動習慣がある，および⑤半年以内に登山を行った者，とした。実験に参加するにあたって，被験者に対して実験に関する十分な説明を事前に行い，実験参加に対する同意を得た。本研究は，立命館大学「人を対象とする医学系研究倫理審査委員会」の承認を得た上で実施された（承認番号：BKC-人医-2018-085）

### 2-2 運動場所および日程

運動実施場所は滋賀県大津市に位置する比叡山（標高：158m-690m，歩行距離：約3.1km，登高距離：532m，勾配率平均：17.42%）の登山道（坂本ルート：日吉大社～ケーブル延暦寺駅）とした。山本ら（2016）は，比叡山は初心者にとって導入となるような初級な山であると述べており，安全性および測定環境を考慮し，当山岳を採用した。歩行路（上りの場合）は，石畳の階段→コンクリート舗装路→土路→コンクリート舗装路の順であった（図2,3）。

実験は，9月から11月にかけて行った。本研究では，熱中症などの発生を考慮し，気温29℃以上かつ高温注意報が出ている場合は運動をしないこととしたが，下限は設けないこととした。

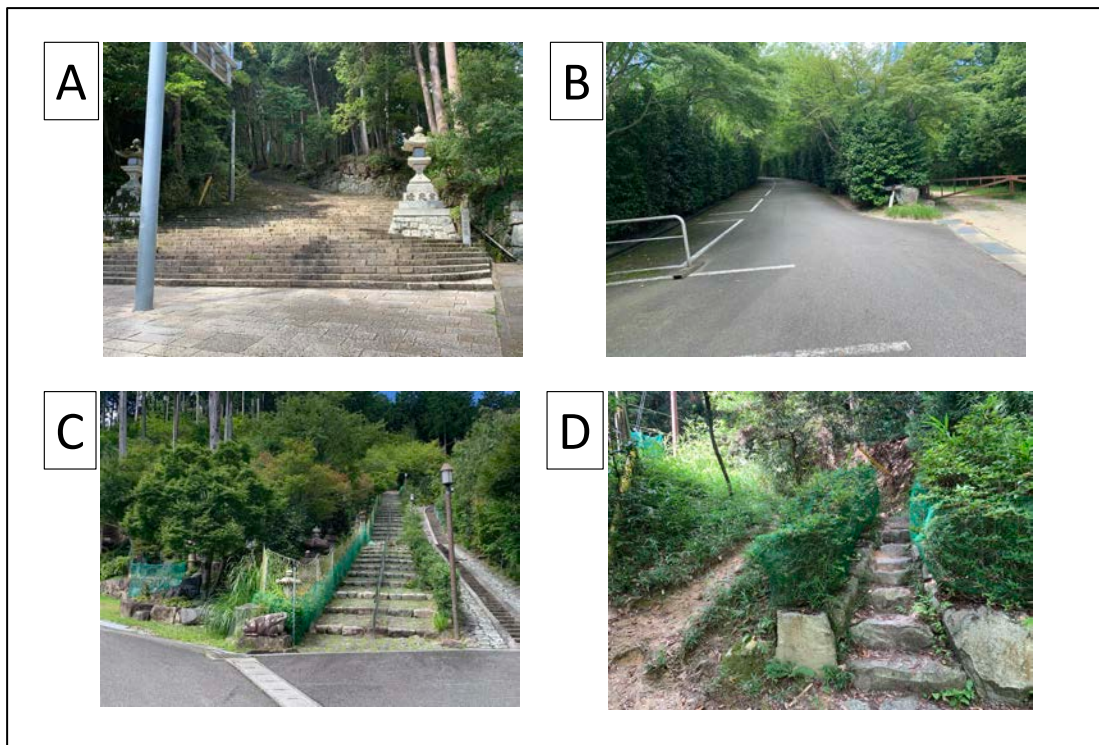


図 2 比叡山登山道：始め-中腹 (A：階段 B：アスファルト C：階段 D：石畳)

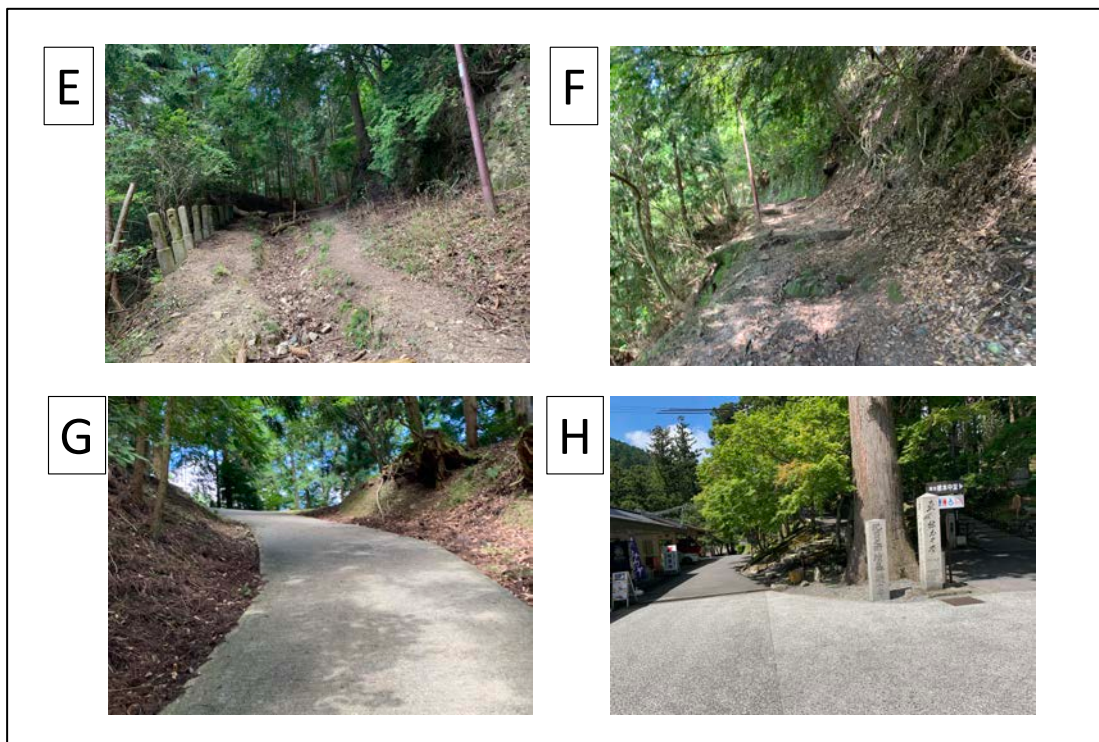


図 3 比叡山登山道：中腹-終わり (E・F：土路 G：コンクリート路 H：延暦寺敷地)

### 2-3 運動条件

運動条件として、上り坂歩行のみを行う上り坂歩行条件、下り坂歩行のみを行う下り坂歩行条件を設定した。被験者はランダムに各条件に振り分け、クロスオーバーデザインによって二条件行うこととした。条件間は少なくとも2週間の間隔をあけるようにした。

上り坂条件は開始地点を日吉大社としてケーブル延暦寺駅まで歩行する条件、下り坂条件は開始地点をケーブル延暦寺駅として日吉大社まで歩行する条件とした。

### 2-4 運動手続き

運動日全体の所要時間は移動時間を含め7時間程度であった。歩行中、参加者は体重の19%の負荷を背負い歩行することとした。現地移動の自動車内にて参加者に食事（パン2個、ゼリー飲料）及びスポーツドリンク500mlを支給した。歩行中の水分補給は、ミネラルウォーター1000mlを支給し、参加者が水分を補給したいときに自由に摂取できることとした。また、熱中症対策として、食塩0.5gを支給し水分補給時に同時に摂取することを指示した（Armstrong et al., 1996）。参加者が体調不良により運動を中止する際には、スポーツ用飲料水を支給することとした。登山実施日の測定場所は登山コースの運動前および後における平坦な場所とし、24時間後の測定場所は立命館大学インテグレーションコア前とした。測定の所要時間は1回あたり10分程度であった。歩行運動実施日（1日目）および24時間後測定（2日目）の手順は表1の通りであった。

表 1 1日目歩行運動実施日および2日目24時間後測定のスケジュール

[1日目 歩行運動実施日の手順]	
~8:00	立命館大学インテグレーションコア前に集合・移動
~9:30	現地に到着・ウォームアップ
~9:45	開始前測定：跳躍高（カウンター・ムーブメント・ジャンプ：CMJ およびスクワットジャンプ：SJ），膝関節伸展筋力，閉眼片足立ち，平均台歩行，単純反応時間，ストループテスト，筋痛（100mm Visual analog scale）を計測
~10:00	歩行運動開始（歩行中，被験者は心拍数を測定し，主観的運動強度が13程度の速度で歩行）
~11:30	到着・運動後測定：跳躍高（CMJ および SJ），膝関節伸展筋力，閉眼片足立ち，平均台歩行，単純反応時間，ストループテスト，筋痛（100mm Visual analog scale）を計測
~11:40	クールダウン
~11:45	荷物の詰め込み・準備をし，自動車にて立命館大学まで移動，（移動中に昼食を摂る）
~13:15	立命館大学に到着・解散
[2日目 24時間後測定の手順]	
10:00~14:30	24時間後測定：跳躍高，筋痛（100mm Visual analog scale を測定

## 2-5 安全配慮・運動禁忌条件

### ● 参加者への注意事項

運動を行うに当たって，参加者には以下の注意事項を伝え，問題が生じた場合には検者に伝えるように指示した。

- 体調がすぐれない場合や身体に違和感がある場合は，運動前，運動中問わずに検者に報告すること。運動中である場合には直ぐに運動を中止すること。
- 普段の自分のペースで歩行し，通常とは大きく異なる速度で歩行はしないこと。
- 出来るだけ足元が危険（小石が多い，地面が湿っている，極端に大きな段差がある

など) な場所は避けて歩くようにすること。

- 服装は動きやすく吸汗性速乾性の高い運動服およびできるだけ丈の長い長ズボンとし、靴は履き慣れた運動靴であること。

- **熱中症予防**

気温 29℃以上の場合及び高温注意報が出ている場合(参照:環境省熱中症予防暑さ指数)は運動を行わないこととした。熱中症予防として、運動前には 500ml のスポーツドリンクを摂取した。熱中症対策として、500ml のミネラルウォーターおよび食塩 0.5g を支給し、運動中自由に摂取させた (Armstrong et al., 1996)。参加者が脱水症状および熱中症の症状を訴えた場合を想定し、検者はスポーツドリンクを常備し歩行した。参加者がスポーツドリンクを飲んだ場合は、実験を棄権したこととした。熱中症および脱水症状を訴えた場合は、直ちにその日運動を全員が中止し、搬送手続きをとる検者および同行者(ほかの参加者や同行している実験補助者)とともに近くの公道または比叡山鉄道線まで移動し(歩行が可能な場合は歩行を補助するようにし、歩行が不可能である場合には 1-2 人で背負う)、救急車の到着を待つこととした。自動車で待機する検者がいる場合は、同行していた検者は直ちにスマートフォンおよび携帯電話にて待機中の検者に連絡し、研究責任者および救急病院へ連絡し指示を待つこととした。救急車の到着に時間がかかる際には、研究責任者または実験補助者が自動車まで参加者を運び(歩行が可能な場合は歩行を補助するようにし、歩行が不可能である場合には 1-2 人で背負う)、麓のケーブル坂本駅(救急車が到着しやすいため)または救急病院まで搬送することとした。

- **気温・気候の変化に対する対応**

本研究では気温における下限は設定しなかったが、気温の低下による体調不良を防ぐため、防寒具を持ってくるように指示した。また、実験において、天候の急変に対応するため、検者が常に雨合羽を持ち歩くこととした。天候の回復が見込めない場合は、直ちに実験を中止することとした。

- **参加者が外傷を負った場合の対応**

参加者が転倒・転落などにより外傷を負った場合は、直ちに運動を中止することとした。その時、少量の出血が生じ場合、直ちに同行している検者に報告し、報告を受けた検者は所持している水道水によって流水し、消毒液で消毒をするようにした。その後、ガーゼやタオルで止血し、絆創膏を貼り付けるようにした。多量の出血が生じた際には、清潔なタオルによる直接圧迫止血法を行うこととした。ある程度の止血が完了した後、熱中症予防

と同様の手続きによって救急搬送することとした。

## 2-6 測定項目

登山前後の筋機能指標として膝関節伸展筋力および跳躍高，バランス能力指標として閉眼片足立ちおよび平均台歩行時間，認知機能指標としてストループテストおよび単純反応時間テストを測定とした。また，その他の補助的指標として主観的運動強度測定し，運動開始前および終了後の計 2 回測定した。

### 2-6-1 膝関節伸展筋力

膝関節伸展筋力測定は，徒手筋力計（オージー技研株式会社，アイソフォース GT-300）を用いて測定した。測定は座位（股関節角度 90 度，膝関節角度 90 度）にて行い，徒手筋力計は外顆および内顆の真上に固定した（Bohannon et al., 2000）（図 4）。低負荷での力発揮（ウォームアップ）を一回行った後，最大努力で二回実施し，その後の解析には平均値を採用した（休息は約 30 秒）。

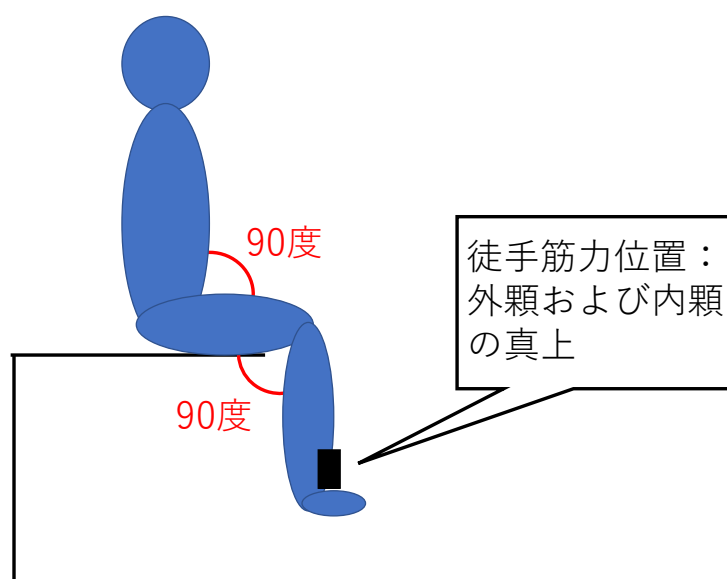


図 4 膝関節伸展筋力測定時の測定姿勢および徒手筋力固定位置

### 2-6-2 跳躍高

跳躍高は，VERTICAL JUMP METER（竹井機器）を使用し，カウンター・ムーブメント・ジャンプ（CMJ）およびスクワット・ジャンプ（SJ）を行った。CMJ は，直立し



た状態を開始姿勢とし、膝を 90 度に屈曲し、反動をつけて行う跳躍とした (Abdou, 2009). SJ は、膝を 90 度に屈曲した状態を開始姿勢とし、反動を用いない跳躍とした (Temfemo, 2009). CMJ および SJ は、跳躍時は手を腰に当てて全力によるジャンプで行い、その跳躍高を測定した。なお、その後の解析には各二回実施した平均値を採用した。

### 2-6-3 閉眼片足立ち

閉眼片足立ちは、各被験者の利き足を支持脚とし、手を腰に当てて行った。計測開始から、支持脚の離地または遊脚の着地が生じるまでの時間を計測した。上限時間は 3 分とし、計測は一回のみ行った。

### 2-6-4 平均台歩行

平均台歩行は長さ 400cm、幅 9cm、高さ 3cm の板を用いて、板の端をスタート地点としもう一方の端まで歩行し、スタート地点まで折り返すように板を一往復する時間を計測した (三田ら, 2009)。板の端から 200cm 位置 (板の半分の位置) に印を付け、その印を踏むまたは越した時に計測を開始し、折り返して再び印を踏むまたは越した時までを測定範囲とした。平均台では走らず歩行を行うことを促した。歩行中に平均台から落ちてしまった場合は再度計測を行うこととした。計測は二回行い、平均値を使用した。

### 2-6-5 ストループテスト

ストループテストはタブレット(Nexus 7, 2012, ASUS)によって行い、デバイスのハードディスク内に反応時間を記録した。

ストループテストとは、認知を司る前頭葉機能を評価する、合計 4 つの試験 (Test1-4) から構成されている認知機能テストである。それぞれの Test の正答数から、ストループ干渉率 ( $(\text{Test4}-\text{Test3}) \div \text{Test4} \times 100$ ) および逆ストループ干渉率 ( $(\text{Test2}-\text{Test1}) \div \text{Test2} \times 100$ ) を計算することができる (Stroop, 1935 ; 箱田・渡辺, 1990)。ストループ干渉率においては高くなるほど、言語情報による干渉を受けており、逆ストループ干渉率においては高くなるほど、色の情報による干渉を受けていることを示している。

参加者には注意事項として、出来るだけ早くかつ正確に行うように指示をした。計測時間は刺激呈示から反応までの時間とした。各試験の内容は以下の通りであった。Test1 : 黒インクで表示された 5 色の言語情報 (赤, 青, 黄, 緑, 紫と表示) に対して、タブレット

画面上に表示された 5 色のインクの色（赤，青，黄，緑，紫の色を表示）の正方形から当てはまるものを選択（図 5）. Test2 : 5 色のインクで不揃いに表示された言語情報（例えば，赤インクで「青」と表示）に対して，インクの色を無視し，表示された言語情報のみを読み取り，タブレット画面上に表示された 5 色のインクの色から当てはまるものを選択（図 6）. Test3 : 画面上に表示された 5 色のインクの色から無作為に表示された色の長方形から，視覚情報であるインクの色を読み取って，タブレット画面上に表示されている黒色のインクで表示された言語情報の選択肢から当てはまるものを選択（図 7）. Test4 : 画面上に表示された 5 色のインクで不揃いに表示された言語情報に対して，言語情報を無視し，インクの色を読み取り，タブレット画面上の黒色のインクで表示された言語情報の選択肢から当てはまるものを選択（図 8）. 各試験は 50 題あり，それぞれ本試験前に 10 題の練習を行わせ，参加者は練習が不十分である場合には，練習終了後再度練習を行った.



図 5 ストループテスト : Test 1

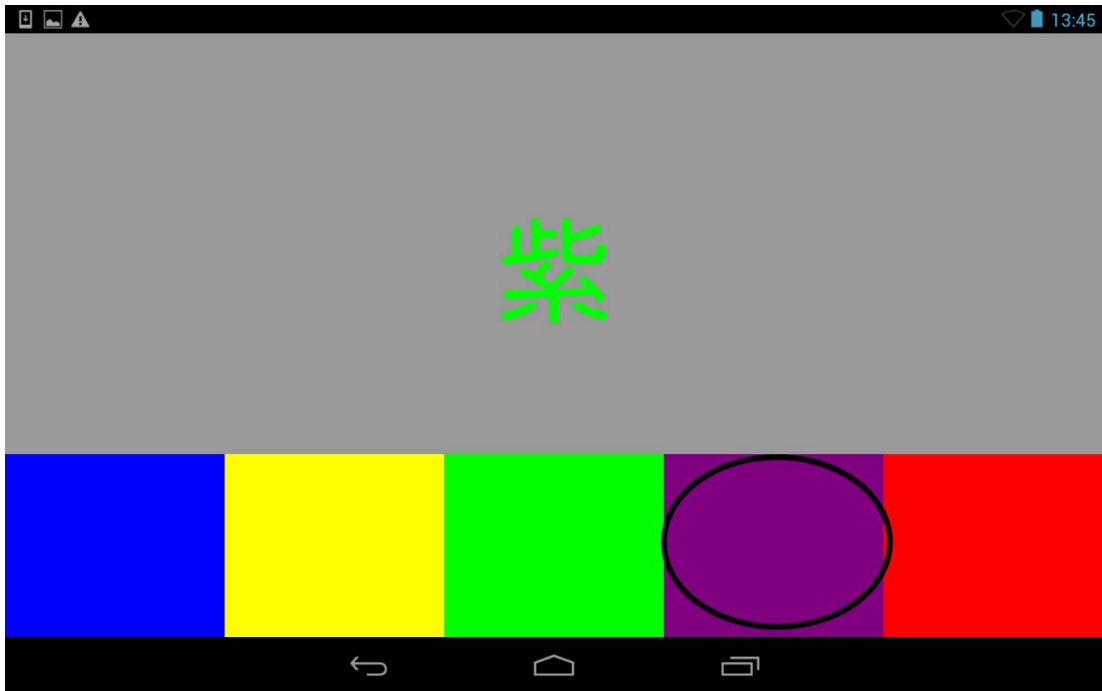


図 6 ストリーブテスト : Test 2

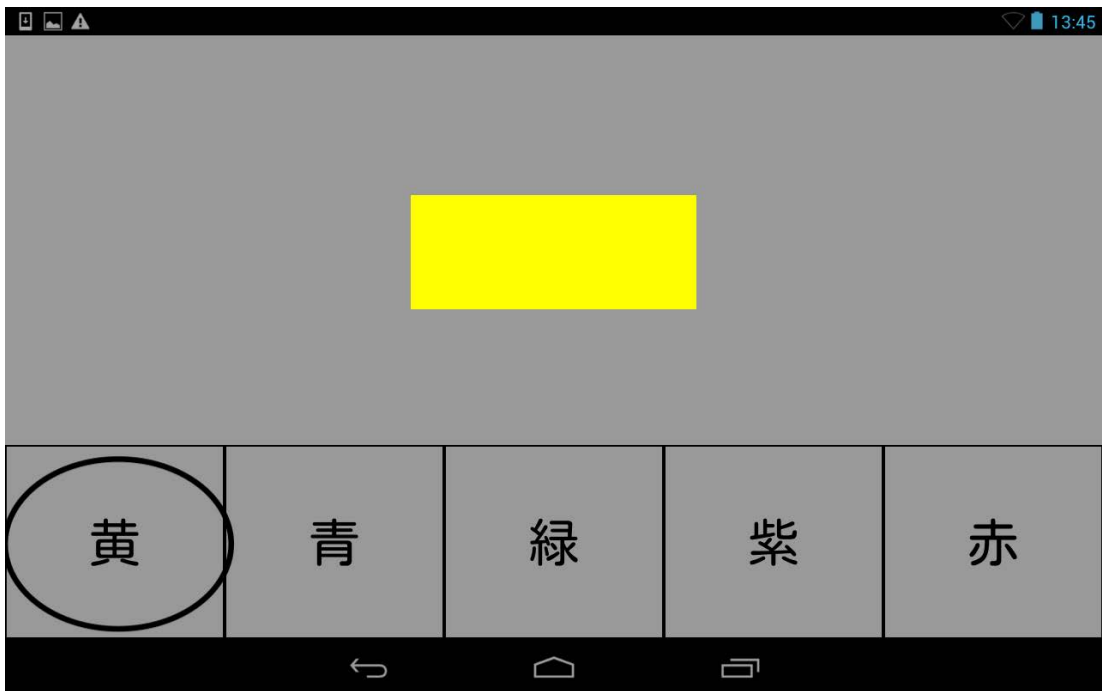


図 7 ストリーブテスト : Test 3



図 8 ストロープテスト : Test 4

#### 2-6-6 単純反応時間テスト

単純反応時間テストは，タブレット上に表示される印に対して素早く反応する刺激-反応時間を計測した．タブレット（iPad：第 6 世代，Apple 社）および付属のキーボード（Ultrathin Keyboard Folio i5，株式会社ロジクール）を用いて行った．単純反応時間の計測は Jum（2002：<https://faculty.washington.edu/chudler/java/redgreen.html>）が作成した既存のテストを使用した．刺激は，表示された赤，黄，緑の色の点灯の変化により決定した．計測する反応時間は，赤の信号が点灯している状態から緑の信号の点灯に変化した時に反応できる時間とした．計測は合計で 5 回行い，平均値を使用した．

#### 2-6-7 筋損傷指標

主観的筋痛を評価するために，100mm Visual analog scale（VAS）を使用した．測定用紙上に記載された 100mm の横方向の直線の一方を「痛みなし」もう一方を「今まで経験した最高の痛み」とし，屈伸時の大腿四頭筋の痛みを直線上に印をつける方法とした．取得データは「痛みなし」を 0 とし，印までの長さを測定した．

筋損傷指標として，跳躍高（CMJ および SJ），および主観的筋痛を運動開始前（プレ），運動終了後（ポスト）に加え，24 時間後にも測定を行った．

## 2-7 統計解析

膝関節伸展筋力，閉眼片足立ち，平均台歩行，単純反応時間，ストループテスト（Test1-4 それぞれの選択的反応時間）は二条件（上り坂歩行\*下り坂歩行）および二回の測定タイミング（運動前\*運動後）で二元配置分散分析を実施した．交互作用が確認された場合は，事後検定として対応のある t 検定を行った．跳躍高（CMJ，SJ），主観的筋痛（立位安静時，屈伸時，圧痛）は二条件（上り坂歩行\*下り坂歩行）および三回の測定タイミング（運動前\*運動後\*24 時間後測定）で二元配置分散分析を実施した．交互作用が確認された場合，事後検定として，各条件における経時変化についてはボンフェローニの多重比較検定，各時間における条件間の比較については対応のある t 検定を行った．有意水準は 5%未満とした

## 第3章 結果

本研究における全体の歩行時間は1時間14分±8分37.8秒（上り坂歩行：1時間16分±51.6秒；下り坂歩行：1時間11分±10.8秒）であった。以下、登山前後および24時間後の各測定項目の変化を示す。結果の図は、平均値±標準偏差で表す。

### 3-1 登山前後における膝関節伸展筋力

膝関節伸展筋力の変化は図9の通りであった。二元配置分散分析の結果、有意な主効果および交互作用は確認されなかった（条件： $p=0.813$ ，測定タイミング： $p=0.894$ ，交互作用： $p=0.465$ ）。

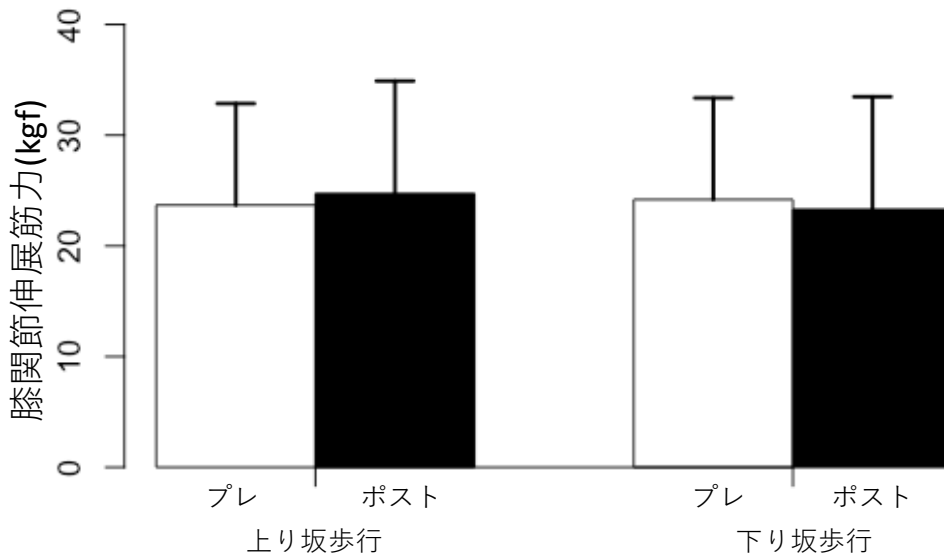


図9 登山前後における膝関節伸展筋力

### 3-2 登山前・後・24時間後における跳躍高

登山前後における跳躍高の変化は、図10および図11の通りであった。CMJでは有意な主効果および交互作用は確認されなかった（条件： $p=0.973$ ，測定タイミング： $p=0.198$ ，交互作用： $p=0.0505$ ）。SJでは測定タイミングに主効果が確認された（条件： $p=0.915$ ，測定タイミング： $p=0.026$ ，交互作用： $p=0.29$ ）。事後検定として、両条件のデータを合わせてボンフェローニの多重比較検定を行ったが、測定タイミング間で有意な差は確認されなかった（pre vs post： $p=0.369$ ；pre vs 24later： $p=0.956$ ；post vs 24later： $p=0.398$ ）。

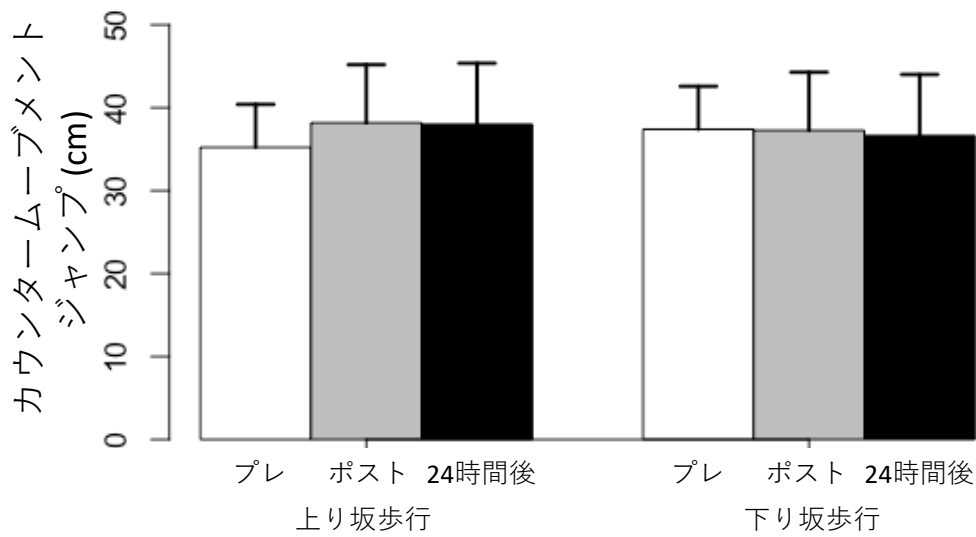


図 10 登山前・後・24 時間後における CMJ

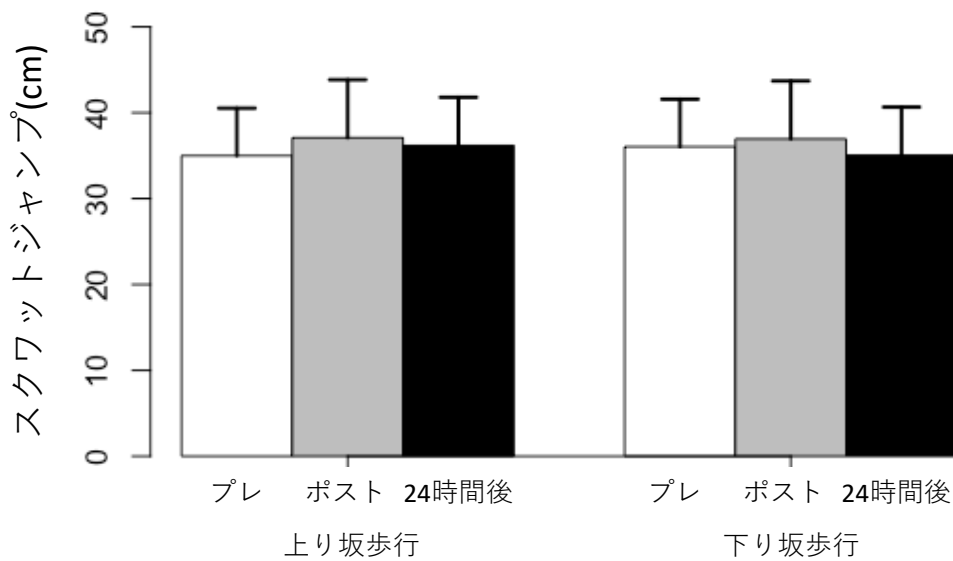


図 11 登山前・後・24 時間後における SJ

### 3-3 登山前後における閉眼片足立ち

登山前後における閉眼片足立ちの結果は図 12 の通りであった。条件および測定タイミングに有意な主効果および交互作用は確認されなかった（条件： $p=0.868$ ，測定タイミング： $p=0.772$ ，交互作用： $p=0.868$ ）。

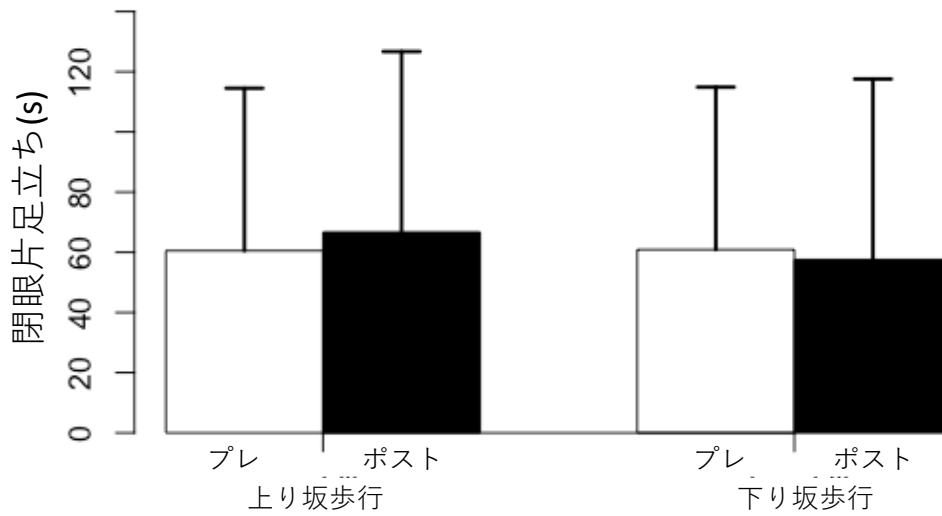


図 12 登山前後における閉眼片足立ち

### 3-4 登山前後における平均台歩行

登山前後における平均台歩行の結果は図 13 の通りであった。条件および測定タイミングに有意な主効果および交互作用は確認されなかった（条件： $p=0.462$ ，測定タイミング： $p=0.09$ ，交互作用： $p=0.902$ ）。

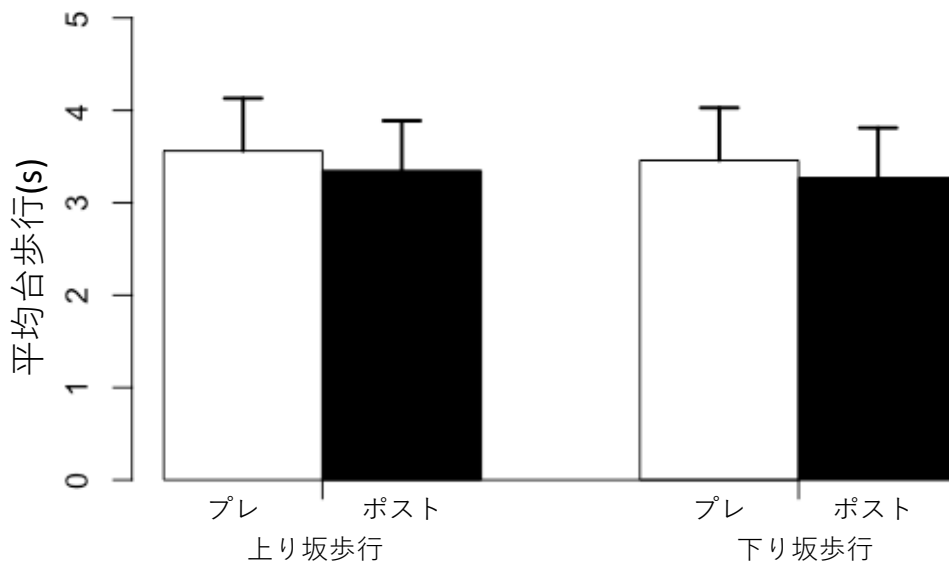


図 13 登山前後における平均台歩行



### 3-5 登山前後における単純反応時間

単純反応時間における二元配置分散分析の結果は、図 14 の通りであった。条件および測定タイミングに有意な主効果および交互作用は確認されなかった（条件： $p=0.174$ ，測定タイミング： $p=0.274$ ，交互作用： $p=0.609$ ）。

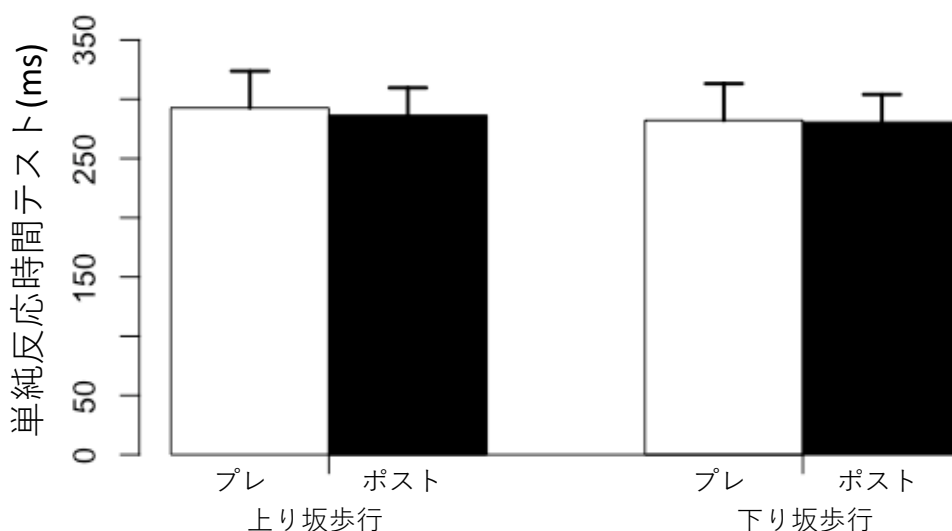


図 14 登山前後における単純反応時間

### 3-6 登山前後におけるストループテスト

ストループテスト 1-4 における二元配置分散分析の結果は、図 15-18 の通りであった。ストループテストにおける条件間の比較を行ったところ、Test3 にのみ測定タイミングで有意差が確認された（条件： $p=0.076$ ，測定タイミング： $p=0.018$ ，交互作用： $p=0.358$ ）。事後検定として、両条件のデータを合わせて、ボンフェローニの多重比較検定を行ったところ、有意差は確認されなかった（ $p=0.229$ ）。

Test1, 2, 4 では、有意な主効果および交互作用は確認されなかった（「Test1」条件： $p=0.554$ ，測定タイミング： $p=0.811$ ，交互作用： $p=0.139$ ；「Test2」条件： $p=0.5$ ，測定タイミング： $p=0.71$ ，交互作用： $p=0.234$ ；「Test4」条件： $p=0.375$ ，測定タイミング： $p=0.955$ ，交互作用： $p=0.371$ ）。

ストループ干渉率および逆ストループ干渉率における二元配置分散分析の結果は、図 19 および図 20 の通りであった。有意な主効果および交互作用は確認されなかった（「ストループ干渉率」条件間： $p=0.634$ ，測定タイミング間： $p=0.89$ ，交互作用： $p=0.108$ ；「逆ストループ干渉率」条件間： $p=0.849$ ，測定タイミング間： $p=0.171$ ，交互作用： $p=0.976$ ）。

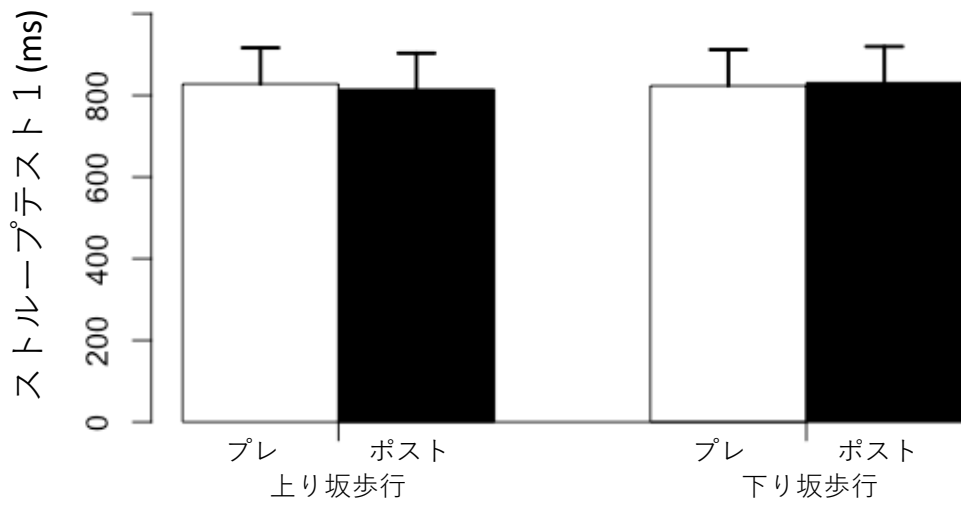


図 15 登山前後におけるストロープテスト : Test 1

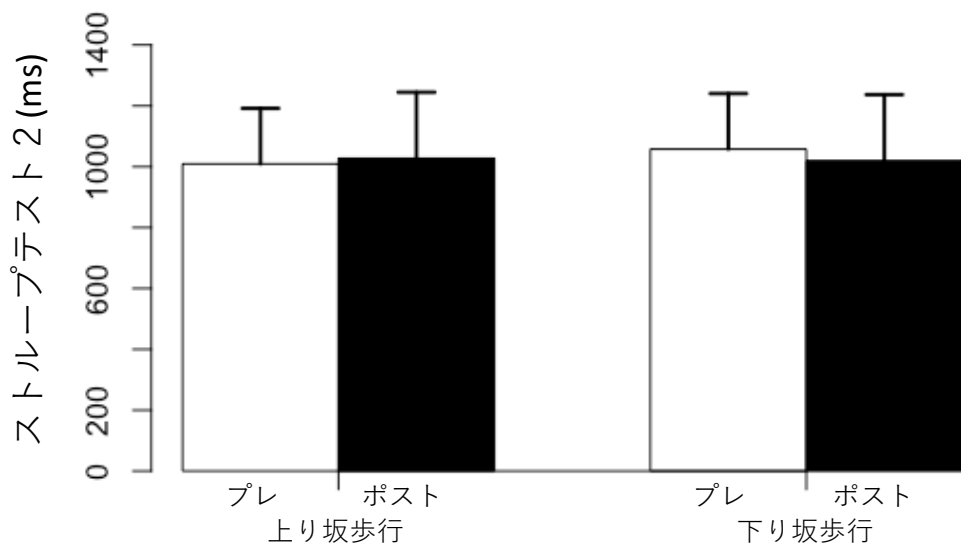


図 16 登山前後におけるストロープテスト : Test 2

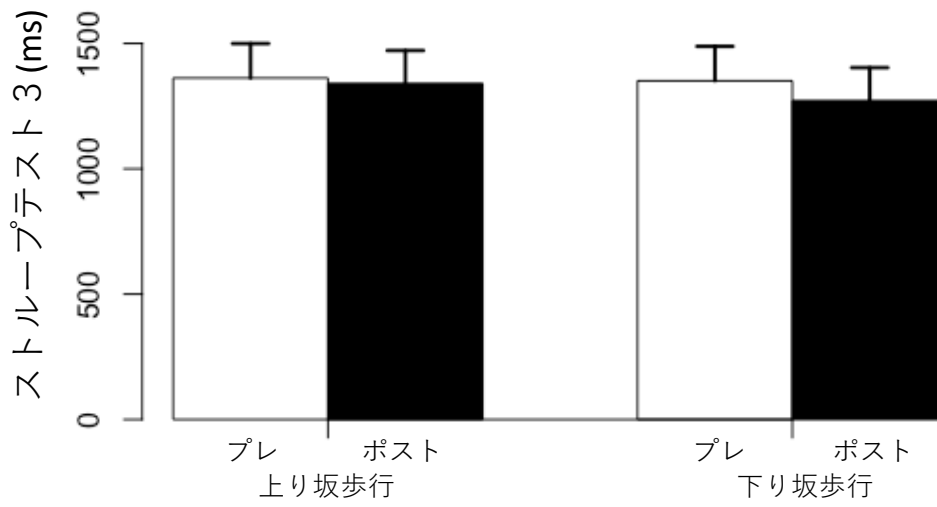


図 17 登山前後におけるストロープテスト : Test 3

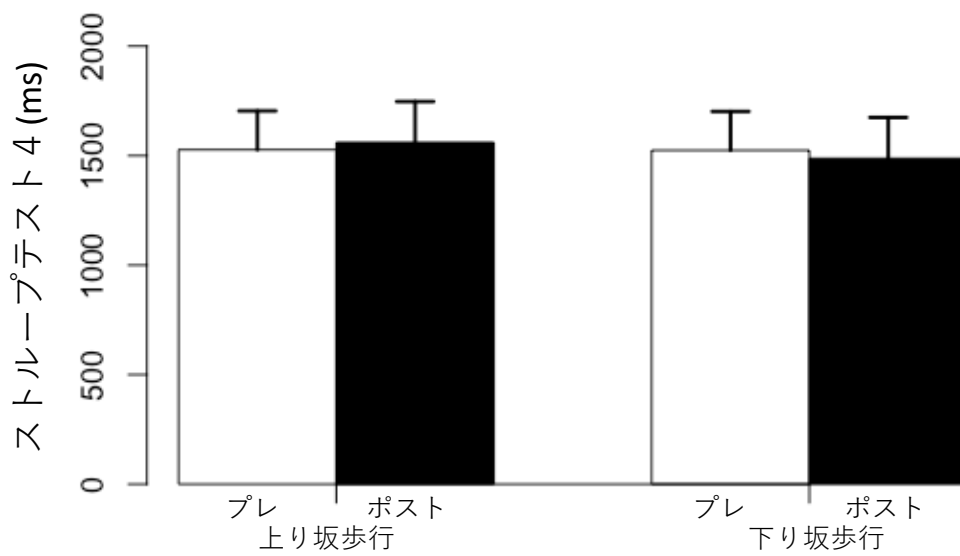


図 18 登山前後におけるストロープテスト : Test 4

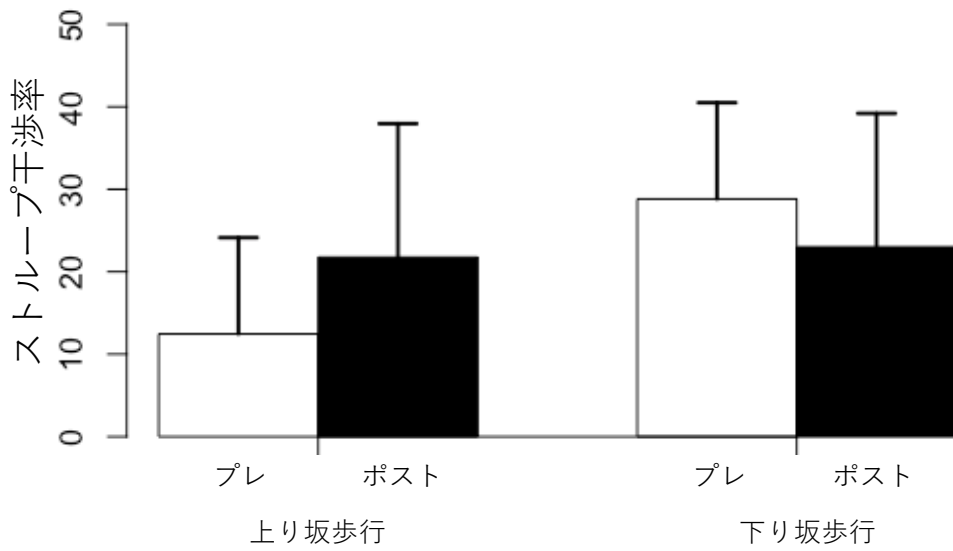


図 19 登山前後におけるストループ干渉率

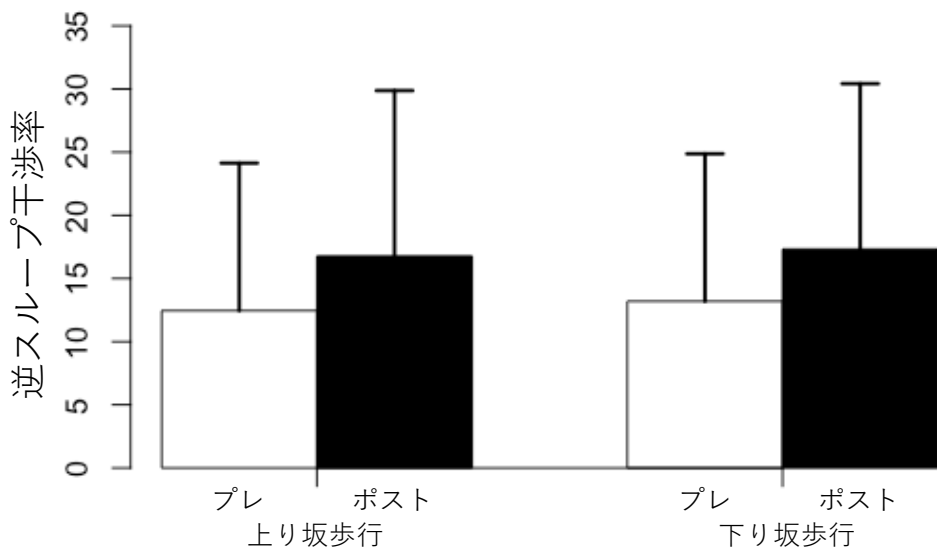


図 20 登山前後における逆ストループ干渉率

### 3-7 登山前・後・24 時間後における筋痛

筋痛の変化は図 21 の通りであった。交互作用および測定タイミングの主効果が確認された（条件： $p=0.08$ ，測定タイミング： $p=0.004$ ，交互作用： $p=0.01$ ）。事後検定の結果，上り坂歩行条件では変化がなかったが，下り坂歩行条件では運動 24 時間後に運動前と比較して有意な増加がみられた。また，運動 24 時間後の値は下り坂歩行条件が上り坂歩行条件よりも有意に大きかった。

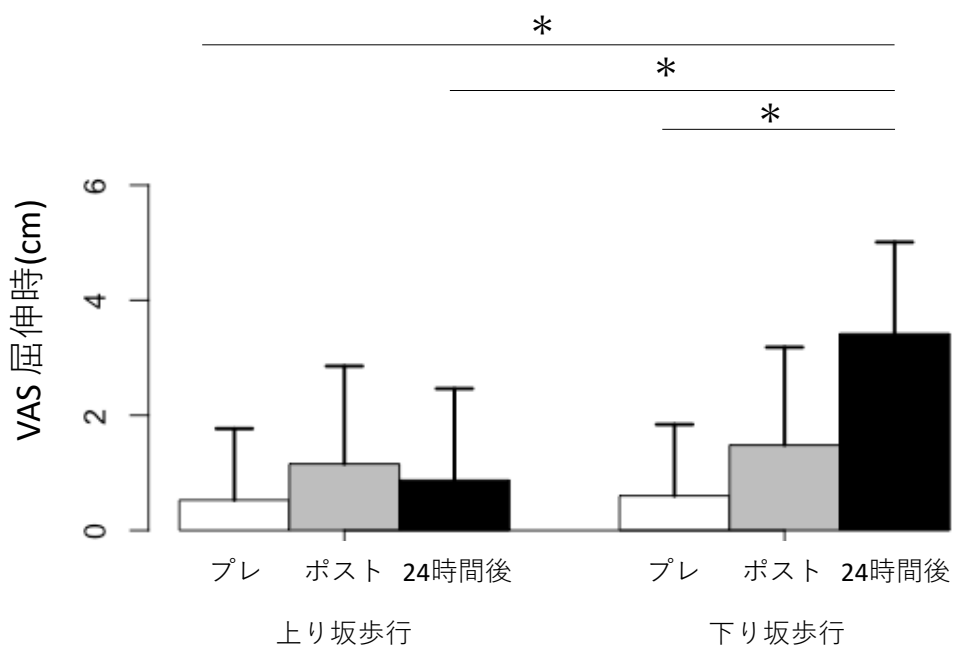


図 21 登山前・後・24 時間後における屈伸時の VAS

## 第4章 考察

本研究では、登山における上り坂歩行および下り坂歩行のそれぞれが、筋機能、バランス機能、および認知機能に及ぼす影響を検証することを目的とした。参加者は、二週間以上開けた二日間で、順序をランダム化した上り坂条件および下り坂条件を行った。各条件の前後に、筋機能、バランス機能および認知機能の指標を測定した。また、各条件の前後、24時間後に筋損傷指標を測定した。その結果、筋機能、バランス機能、および認知機能の各指標に、上りおよび下りのいずれの条件においても、運動前後で有意な変化は確認されなかった。一方、筋損傷指標として用いた主観的筋痛は、下り坂歩行条件でのみ有意な増加が生じた。以上の結果を基に、以下に考察を述べる。

### 4-1 登山による筋機能の変化

膝関節伸展筋力は、上りおよび下りのいずれの条件も運動前後で有意な差がなかった。跳躍高の結果では、SJにおいて測定タイミング間で有意な主効果が確認されたが、事後検定として多重比較検定を行ったところ、有意な差は確認されなかった。以上の結果より、登山前後において筋機能が変化する可能性は低いことが示唆された。本研究において、上りにおいては筋疲労が生じることにより筋機能が低下、下りにおいては筋損傷が生じることにより筋機能が低下するという仮説としたが、本研究の結果は仮説を支持するものではなかった。その原因として、以下のことが考えられる。

登山前後において筋機能に変化が確認されなかった理由として、本研究における実験プロトコルの負荷が小さかった可能性が考えられる。先行研究において、上り坂歩行が筋機能に影響を及ぼすことが報告されている。上り坂歩行において血中乳酸濃度の上昇が確認されている研究はあるが (Minetti et al., 2002; Paavalainen and Rusko, 2000; 萩原・山本, 2011), 全ての研究がレッドミルを用いて歩行速度を上げることにより負荷を調整したものである。しかし、本研究では実際の山で安全 (例: 足場) に注意しながら実施した歩行運動であり、血中乳酸濃度の上昇に現れるような筋疲労は生じ難かった可能性がある。また、本研究では歩行速度および休息のタイミングを参加者の自由としたことにより、これにより下肢に疲労が蓄積しないように調整できた可能性がある。このように、本研究では運動強度が低かったことおよび参加者が各自のタイミングで休息できたことが、筋疲労から生じうる筋機能の低下が生じなかった理由であると考えられる。

一方、下り坂歩行によって筋機能が低下することも報告されている。Blacker et al. (2010) は、長時間の下り坂歩行（時間：2時間，勾配：-8%，負荷：25kg，速度：6.5km/h）によって、運動後に膝関節伸展筋力が低下すると報告している。また、Maeo et al. (2014) の研究においても、下り坂歩行（時間：40分，勾配：-28%，負荷：体重の10%，速度：5km/h）後に膝関節伸展筋力が低下していることが報告されている。本研究における運動内容は、時間（休息を含む）：1時間14分±8分37.8秒，勾配：約17%，負荷：体重の10%，速度（休息を含む）：2.52km/hであり、先行研究と比較すると、勾配，荷重負荷，そして特に歩行速度が低かった可能性があり、このことから筋機能に変化が見られなかった可能性がある。しかし、本研究における歩行速度は、参加者の各自の歩行速度の平均であり、休憩時間を含んだ速度であるため、今後歩行速度または休憩時間の統一を行うプロトコル設定をする必要がある。

#### 4-2 登山によるバランス能力の変化

登山前後における閉眼片足立ち（静的バランス能力）および平均台歩行（動的バランス能力）の結果より、条件間および測定タイミング間に有意な差は確認されず、上り坂および下り坂歩行によってバランス能力が変化する可能性が低いことが示された。

本研究の仮説は、バランス機能は筋機能および認知機能からも影響を受けるため、両条件において低下し、筋機能およびバランス機能の低下が見込まれる上り坂歩行条件においてより低下するという仮説であった。本研究の結果は仮説を支持するものではなかったが、以下のことが考えられる。

登山前後において、バランス機能に影響が及ばなかった原因として、バランス機能は筋機能および認知機能からも影響を受けていたことが考えられる。本研究においては、同時に測定した筋機能およびバランス機能においても、登山前後で有意な変化がなかった。下肢の筋機能と静的および動的バランス機能の間には、相関関係があることが多くの文献で報告されている（村田ら，2008；Carter et al., 2002；塩田ら，2008）。本研究において、登山前後における筋機能に変化が確認されなかったことが、バランス機能に影響がなかった一因ではないかと考えられる。

認知機能とバランス機能の関係として、認知を司る大脳前頭葉における機能が低下することで、実行機能（集中力や判断力）の低下がバランス機能と関係していること分かっている（Curtis and Mark, 2003；Yogve et al., 2008），特に、実行機能の低下は、Dual-task

の能力の低下の指標となっており (Stuss, 2006), 登山においては歩行路や障害物に対して注意を払う必要があるため, Dual-task 機能が重要であることが見込まれた(山本, 2016). 本研究では, 認知機能に変化がなく, また上述のように筋機能にも変化がなかったことが, バランス機能にも変化がなかったことに影響している可能性がある.

バランス機能を司る機能として, 前庭機能による姿勢および歩行を維持する機能が関係していることが分かっている (Agrawal et al., 2009). また, 前庭機能の低下が転倒のリスクの一つであることも報告されている (Society American Geriatrics et al, 2001). 本研究においては前庭機能を評価する測定項目は用いておらず, 今後前庭機能を評価する指標をバランス機能評価と合わせて用いることで, それらの相互関係をより明らかにすることができると考えられる.

#### 4-3 登山による認知機能の変化

登山前後における単純反応時間テストの結果では, いずれの条件においても有意な変化がなかった. このことから, 上り坂および下り坂歩行運動によって, 単純反応時間が変化する可能性が低いことが示された. ストループテストの結果より, Test3 において, 条件間および測定タイミング間で有意な主効果が確認されたが, 事後検定として多重比較検定を行ったところ, 共に有意差は確認されなかった. また, ストループテストのその他の結果では, 主効果および交互作用に有意差は確認されなかった. 同様に, ストループ干渉率および逆ストロープ干渉率に関しても, 有意な主効果および交互作用は確認されなかった. 本研究において認知機能は, 上り坂歩行において低下するという仮説であったが, 本研究の結果は仮説を支持するものではなかった. その原因としては以下のことが考えられる.

登山前後において認知機能に変化がなかった理由として, 本研究における運動強度が低かったまたは運動時間が短かったことが考えられる. Ferris et al. (2007) は, 換気性作業閾値より 10%高い強度での有酸素運動 (RPE : 14.2, 運動時間 : 30 分) を行うことによって, ストループテストスコアが改善したと報告している. 一方, 本研究では, 1 時間を超えるような長時間の上り坂歩行を行うことにより, 疲労が原因となり認知機能が低下すると仮説を立てた. なお, 本研究における運動強度は RPE が 13 程度であったが, 歩行速度や休憩のタイミングは参加者の自由とした. また, 歩行中に主観的な運動強度が高いと感じた参加者は, 速度の減速または休憩によって強度を調整していたため, 歩行中 RPE は定期的に 13 を下回っていた可能性が考えられる. 先行研究における運動強度は, 被験者



の最大酸素摂取量から強度を設定したものが多く (Brisswalter et al., 2000 ; Ellemborg & Deschênes, 2010), 本研究における RPE のみの測定では強度設定が不十分であった可能性が考えられる。今後は, 事前に参加者の最大酸素摂取量から歩行速度を計算し, 練習を行わせることによって適切な歩行速度を提示する必要がある。また, 本研究では休憩時間の計測は行っておらず, 適切な運動時間は計測できなかった。

先行研究において, 45 分以下の有酸素運動と認知機能の関係に有意差が確認されている研究は多いが, 60 分を超えるような運動に関する研究は少なく, その中でも有意差の有無が異なるものが多い (Tomporowski, 2003)。本研究においては, 60 分を超えるような運動であったが, 休憩時間を含んだ全体の時間であり, 60 分間歩行を行ったかは測定しなかった。今後, 60 分を超えるような運動時間が認知機能に及ぼす効果を検証すること, および参加者を増やし負荷を大きくして登山道を歩行することで, 登山による認知機能の変化をより詳細に定量することができると考えられる。また休憩時間および休憩場所を事前に決めておくことで, 運動時間を調整する必要がある。

#### 4-4 登山による筋損傷指標の変化

VAS の結果より, 下り坂歩行では, 運動前と比較して 24 時間後では有意に高値を示していることが確認されたが, 上り坂歩行で同様の変化は生じなかった。また, 下り坂歩行における 24 時間後の筋痛は, 上り坂歩行歩行における 24 時間後と比較して, 有意に高値を示していることが分かった。

跳躍高においては, SJ は測定タイミング間で有意な主効果が確認されたが, 事後検定として多重比較検定を行ったところ, 有意差は確認されなかった。このことから, 登山における歩行運動は, 筋損傷指標として測定した跳躍高には影響を及ぼさない可能性が示唆された。

本研究における仮説は, 運動 24 時間後において筋痛が下り坂歩行条件では上り坂歩行条件より有意に増加すること, 跳躍高のパフォーマンスが有意に低下することであった。本研究は, VAS による筋痛に関しては仮説を支持する結果であった。しかし, 跳躍高の指標において, 仮説は支持されなかった。このような結果が生じた原因として以下のことが考えられる。

登山における下肢筋群の主働筋は大腿四頭筋であり, 上り坂歩行においては短縮性の筋収縮, 下り坂歩行においては伸張性の筋収縮が主な活動様式となることが分かっている

(Abbott et al., 1952 ; Minetti et al., 2002). 特に、下り坂歩行において生じる伸張性の筋収縮は大腿四頭筋に筋損傷を生じさせ、筋力の低下および 24-72 時間後に遅発性の筋痛が生じることが分かっている (Farr et al., 2002 ; Marqueste et al., 2004). 本研究においても同様に、下り坂歩行条件において筋損傷が生じたため、筋痛が 24 時間後に有意に増加した可能性が考えられる。本研究の結果は、これらの先行研究を支持するものであることが示された。一方、跳躍高に変化がなかった理由としては、跳躍動作は大腿四頭筋以外の筋 (股関節伸筋群, 足関節底屈筋群) も重要な役割を担っており、本研究における歩行運動ではこれらの筋における筋損傷の度合いが小さかった可能性がある (Paasuke et al., 2001 ; Izquierdo et al., 1999). 実際の登山 (上り・下り) を行うことによる筋痛の発生は報告されているが (Wakasa et al., 2014 ; Wakasa et al., 2015), 実際の登山において上りと下りを分けて運動を実施した研究は本研究が初めてである。本研究の結果から、トレッドミル歩行のみならず、実際の登山において、下り坂歩行では筋損傷が生じるものの、上りでは筋損傷は生じないことが示唆された。

#### 4-5 本研究における限界点および今後の展望

本研究における第一の限界点として、サンプル数が少なかったことがあげられる。本研究では、フィールド実験として実際に登山を行う研究デザインであったが、安全面を考慮すると、参加者は 2 人から 5 人を 1 パーティとしており、大人数で行うことが不可能であった。また、参加者には健康状態が完全に良好な状態で行うように注意を促し、少しでも体調に違和感がある際には前日および当日に検者に伝えるようにした。そのため、参加者が運動可能な日程が非常に限定されるような状態であった。統計解析においても、男女における差の検討ができなかった。将来的には実験の検者などを増加させるなどの対策を行い、参加者の安全性および十分な参加者が確保できるような水準で実験を行うことで、統計的検出力が高まることが期待できる。

本研究における第二の限界点として、上り坂歩行条件および下り坂歩行条件に加えて、上り坂歩行から下り坂歩行条件を設定しなかったことがあげられる。本来、登山は上ってから下るという順番であり、上りで生じた疲労が蓄積して下りにおける転倒が生じていることが考えられている (山本, 2016)。これを明らかにするためには、上り坂歩行条件と下り坂歩行条件を組み合わせた実験プロトコル設定が必要であった。本研究においてはクロスオーバーデザインを採用しており、本研究で設定した条件に上り坂歩行条件と下り坂歩

行条件を組み合わせた条件を追加することは、少なくとも 6 通り (=3!通り) の日程が必要であり、参加者の日程および季節変動の影響を考慮すると、日程上実施は不可能であった。今後は、上り坂歩行条件と下り坂歩行条件を組み合わせた条件を追加することで、上り坂歩行および下り坂歩行それぞれによって身体にかかる影響、さらには上り坂歩行を行ったことによる下り坂歩行で生じる影響を発見できる可能性がある。

本研究における第三の限界点としては、コントロール条件を設定しなかったことがあげられる。本研究で設定した条件が、登山に特化した影響であるかを評価するためには、コントロール群として平地歩行条件を設定することが望ましかった。坂道歩行が通常歩行と比較し、どれほどの影響を及ぼすか検証するためには、平地で歩行を行う条件設定が必要であった。今後、平地歩行条件を追加し比較することで、本研究で明らかになった各条件のデータが示唆するものをより詳細に理解することができる。

本研究における第四の限界点としては、野外で測定を行うことの限界が考えられる。本研究においては、測定環境は室内で行う測定と比較すると、正確性に劣っていたことは十分に考えられる。膝関節伸展筋力測定に関しては、背もたれがついた測定台を用いることが望ましいが、本研究では実験機器の運搬および設置が困難であるため、背もたれがない簡易的なものを用いた。また、跳躍高の機器における測定は 1cm 刻みであったことから、変化を検知できなかった可能性も否定できない。今後、測定環境に準じた測定機器を用いることで、歩行運動における差が確認できるかもしれない。

本研究においては、健常な若年者を対象に研究を実施した。登山およびハイキングを頻繁に行う年代としては、若年層は年々増加しているが、高齢者層において最も多いことが報告されている(総務省, 2017)。また、長野県の調査(2019)では、山岳における年齢別の事故は、平成 31 年および令和元年中で、40-50 代で全年代の 37.2%、60 代以上で 42.8%であった。これらのことから、今後若年層だけでなく、中年層および高齢層に対して調査を行う意義は十分にあると考えられる。

また、比叡山のような初心者レベルの山は、若年者層に対しては、安全に行うことができる山であることが示唆された。今後、初心者レベルより高いレベルの山で実験を行うことによって、若年者における安全かつ健康に効果的な山を知ることができる可能性がある。

## 第5章 結論

本研究では、健常な若年者を対象に比較的低強度のコースを用い、登山における上り坂歩行および下り坂歩行のそれぞれが、①筋機能、②バランス機能、③認知機能、ならびに④筋損傷指標に及ぼす影響を検証した。

- ① 筋機能において、上りおよび下り坂歩行のいずれも、運動前後で有意な変化は確認されなかった。このことから、登山における上り坂歩行と下り坂歩行において筋機能に影響が生じる可能性は低いことが示唆された。
- ② バランス機能において、上りおよび下り坂歩行のいずれも、運動前後で有意な変化は確認されなかった。このことから、登山における上り坂歩行と下り坂歩行においてバランス機能に影響が生じる可能性は低いことが示唆された。
- ③ 認知機能において、上りおよび下り坂歩行のいずれも、運動前後で有意な変化は確認されなかった。このことから、登山における上り坂歩行と下り坂歩行において認知機能に影響が生じる可能性は低いことが示唆された。
- ④ 主観的筋痛（VAS）は、下り坂歩行条件において、運動前と比較して24時間後で有意に高い値を示した。上り坂歩行では、そのような変化は生じなかった。また、下り坂歩行条件における24時間後測定において、上り坂歩行における24時間後測定と比較して、有意に高値を示した。このことから、登山における下り坂歩行において特異的に筋損傷が生じる可能性が示唆された。

以上の結果より、健常な若年者が比較的低強度の登山を行う場合、上り坂歩行および下り坂歩行が筋機能、バランス機能、および認知機能に及ぼす影響はほとんどないが、下り坂歩行は筋損傷を誘発する可能性が高いことが明らかとなった。

## 参考文献

1. Abbott, B. C., Bigland, B., & Ritchie, J. M. (1952). The physiological cost of negative work. *The Journal of physiology*, 117(3), 380-390.
2. Agrawal, Y., Carey, J. P., Della Santina, C. C., Schubert, M. C., & Minor, L. B. (2009). Disorders of balance and vestibular function in US adults: data from the National Health and Nutrition Examination Survey, 2001-2004. *Archives of internal medicine*, 169(10), 938-944.
3. Armstrong, L. E., Epstein, Y., Greenleaf, J. E., Haymes, E. M., Hubbard, R. W., Roberts, W. O., & Thompson, P. D. (1996). Heat and cold illnesses during distance running. *Med Sci Sports Exerc*, 28, R1-10.
4. Blacker, S. D., Fallowfield, J. L., Bilzon, J. L., & Willems, M. E. (2010). Neuromuscular function following prolonged load carriage on level and downhill gradients. *Aviation, space, and environmental medicine*, 81(8), 745-753.
5. Bohannon, R. W., & Corrigan, D. (2000). A broad range of forces is encompassed by the maximum manual muscle test grade of five. *Perceptual and motor skills*, 90(3), 747-750.
6. Brisswalter, J., Collardeau, M., & René, A. (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports medicine*, 32(9), 555-566.
7. Carter, N. D., Khan, K. M., Mallinson, A., Janssen, P. A., Heinonen, A., Petit, M. A., & McKay, H. A. (2002). Knee extension strength is a significant determinant of static and dynamic balance as well as quality of life in older community-dwelling women with osteoporosis. *Gerontology*, 48(6), 360-368.
8. Curtis, C. E., & D'Esposito, M. (2003). Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory. *Trends in cognitive sciences*, 7(9), 415-423.
9. Elleberg, D., & St-Louis-Deschênes, M. (2010). The effect of acute physical exercise on cognitive function during development. *Psychology of Sport and Exercise*, 11(2), 122-126.

10. Eston, R. G., Mickleborough, J., & Baltzopoulos, V. (1995). Eccentric activation and muscle damage: biomechanical and physiological considerations during downhill running. *British journal of sports medicine*, 29(2), 89-94.
11. Farr, T., Nottle, C., Nosaka, K., & Sacco, P. (2002). The effects of therapeutic massage on delayed onset muscle soreness and muscle function following downhill walking. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 5(4), 297-306.
12. Ferris, L. T., Williams, J. S., & Shen, C. L. (2007). The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(4), 728.
13. Gillespie, L., Gillespie, W., Cumming, R., Lamb, S., & Rowe, B. (2001). American Geriatrics Society; British Geriatrics Society; American Academy of Orthopaedic Surgeons Panel on Falls Prevention. Guideline for the prevention of falls in older persons Interventions for preventing falls in the elderly. *J Am Geriatr Soc*, 49, 664-72.
14. 萩原正大・山本正嘉.(2011). 歩行路の傾斜, 歩行速度, および担荷重量との関連からみた登山時の生理的負担度の体系的な評価~トレッドミルでのシミュレーション歩行による検討~. *体力科学*, 60(3), 327-341.
15. 箱田裕司・渡辺めぐみ.(2005). 新ストループ検査 II, 株式会社トーヨーフィジカル.
16. 総務省統計局 . (2017). [「平成 28 年社会生活基本調査結果」](https://www.stat.go.jp/data/shakai/2016/utilization.html) . (参照日 : 2020/01/15)
17. Izquierdo, M., Gorostiaga, E., Garrues, M., Anton, A., Larrion, J. L., & Haekkinen, K. (1999). Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiologica Scandinavica*, 167, 57-68.
18. Jim Allen. (2002). The Online Reaction Time Test(<https://faculty.washington.edu/chudler/java/redgreen.html>)
19. Jin, D., Zhang, R., Zhang, J., Wang, R., & Gruver, W. A. (2000). An intelligent above-knee prosthesis with EMG-based terrain identification. *SMC 2000 Conference Proceedings*, 0(3), 1859-1864.

20. 環境省熱中症予防情報サイト. (<https://www.wbgt.env.go.jp/wbgt.php>) .(参照日 : 2020/01/15).
21. Maeo, S., Ochi, Y., Yamamoto, M., Kanehisa, H., & Nosaka, K. (2014). Effect of a prior bout of preconditioning exercise on muscle damage from downhill walking. *Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(3), 274-279.
22. Marqueste, T., Decherchi, P., Messan, F., Kipson, N., Grélot, L., & Jammes, Y. (2004). Eccentric exercise alters muscle sensory motor control through the release of inflammatory mediators. *Brain research*, 1023(2), 222-230.
23. Minetti, A. E., Moia, C., Roi, G. S., Susta, D., & Ferretti, G. (2002). Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *Journal of applied physiology*, 93(3), 1039-1046.
24. 三田泰成, 金高宏文, 瓜田吉久, 松村勲, 井上尚武, 塩川勝行, 清水信行, 三浦健, 北川淳一, 斎藤卓, 前阪茂樹, 千足耕一. (2009). スポーツ選手のための木柱を用いた簡易な動的バランステストの開発. *スポーツトレーニング科学*, 10, 25-32.
25. 村田伸, 大山美智江, 大田尾浩, 村田潤, 豊田謙二, 藤野英巳, 弓岡光徳, 武田功, 武田功. (2008). 地域在住女性高齢者の開眼片足立ち保持時間と身体機能との関連. *理学療法科学*, 23(1), 79-83.
26. Nagano, H., James, L., Sparrow, W. A., & Begg, R. K. (2014). Effects of walking-induced fatigue on gait function and tripping risks in older adults. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11(1), 155.
27. 長野県公式ホームページ. (<https://www.pref.nagano.lg.jp/>). (参照日 : 2020/1/15)
28. Paasuke, M., Ereline, J., & Gapeyeva, H. (2001). Knee extension strength and vertical jumping performance in nordic combined athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(3), 354.
29. Paavolainen, L., Nummela, A., & Rusko, H. (2000). Muscle power factors and VO2max as determinants of horizontal and uphill running performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 10(5), 286-291.
30. Schad, R. (2000). Analysis of climbing accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 32(3), 391-396.

31. 塩田琴美, 細田昌孝, 高梨晃, 松田雅弘, 宮島恵樹, 相澤純也, 池田誠. (2008). 筋力とバランス能力の関連性について. *理学療法科学*, 23(6), 817-821.
32. Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of experimental psychology*, 18(6), 643.
33. Stuss, D. T. (2006). Frontal lobes and attention: processes and networks, fractionation and integration. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 12(2), 261-271.
34. 長野県警察本部地域部山岳安全対策課. (2018). 「山岳遭難発生状況 (平成 29 年)」 (<https://www.pref.nagano.lg.jp/police/sangaku/toukei/toukei17.html>)(参照日 : 2020/01/15)
35. Temfemo, A., Hugues, J., Chardon, K., Mandengue, S. H., & Ahmaidi, S. (2009). Relationship between vertical jumping performance and anthropometric characteristics during growth in boys and girls. *European journal of pediatrics*, 168(4), 457.
36. Tomporowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta psychologica*, 112(3), 297-324.
37. 山本正嘉・山崎利夫. (2003). 全国規模での中高年登山者の実態調査登山時の疲労度, トラブル, 体力への自信度に対する年齢, 性別, 身体特性, 登山状況, トレーニング状況の関連について. *体力科学*, 52(5), 543-554.
38. 山本正嘉. (2016). 登山の運動生理学とトレーニング学. *東京新聞出版局*, 31-32.
39. 山本武人, 竹内康之, 青木繁. (2017). 分県登山ガイド 24 滋賀県の山. *山と溪谷社*, 82-83.
40. Yogev - Seligmann, G., Hausdorff, J. M., & Giladi, N. (2008). The role of executive function and attention in gait. *Journal of the Movement Disorder Society*, 23(3), 329-342.
41. Wakasa, M., Okada, K., Saito, A. (2014). The Protective Effects of Slow Downstairs Walking Against Delayed Onset Muscle Soreness after Mountain Climbing. *Japanese Journal of Mountain Medicine*, 34, 46-51.



42. Wakasa,M, Okada,K, Saito,A.(2015). Protective Effects of Slow and Normal Downstairs Walking on Delayed-Onset Muscle Soreness after Mountain Climbing. *Japanese Journal of Mountain Medicine*, 35, 55-60.

## 謝辞

本研究を遂行し修士学位論文を作成するにあたり、多くのご支援とご指導を賜りました指導教員である伊坂忠夫教授に感謝の意を表します。また、修士学位論文のご指導を下さった副査の後藤一成教授、小沢道紀准教授に深く感謝をいたします。そして研究計画からデータ分析、論文の執筆に到るまで丁寧にご指導をいただきました前大純朗先生に深くお礼を申し上げます。さらには、実験のご理解をいただき、快く実験参加者を引き受けてくださった皆様に深く感謝を致します。伊坂研究室の先生・先輩の方々には、ミーティングで多くのご指摘やご助言を頂きましたこと感謝致します。また、日々互いに励まし合い、切磋琢磨しあったスポーツ健康科学研究科の同輩の方々に深く感謝致します。