

氏名	萩原 正大
学位の種類	博士（体育学）
学位記番号	第 2 5 号
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位授与年月日	平成 2 4 年 3 月 2 3 日
学位論文題目	登山歩行の生理的負担度に関する研究
論文審査委員	主査 山本 正嘉 副査 前田 明 副査 金久 博昭

論 文 概 要

本研究では、登山の安全性に寄与するための基礎的な知見や、具体的な運動指針を得ることを目的として、実際のフィールドでの登山歩行（研究 1）と、階段（研究 2）およびトレッドミル（研究 3）を用いたシミュレーション登山を行い、それぞれの生理応答を測定し、その研究結果を総合的に検討した。その結果、以下のような知見が得られた。

1. 上り歩行時の生理応答と歩行の特性

上り歩行時では、3 種類（歩行路の傾斜、歩行速度、担荷重量）のいずれの負荷の増加に対しても、酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) と心拍数 (HR) は、ほぼ直線的に増加した。また乳酸性作業閾値 (LT) は $62\%\dot{V}O_{2max}$ 強度で出現し、その際の HR は $78\%HR_{max}$ であった。さらに主観的運動強度 (RPE) については、「息苦しさ」と「脚の疲労」の 2 種類で評価したが、いずれも $\%\dot{V}O_{2max}$ にはほぼ比例して増加した。

したがって、登山の上り歩行では、歩行路の傾斜、歩行速度、担荷重量といった負荷の増加に伴い、呼吸循環系への負担度が大きくなるといえるが、この時の $\dot{V}O_2$ は、下り歩行時も含め、前記の 3 種類の負荷の違いによらず、垂直方向への仕事率に対する二次関数の回帰式で表されることが明らかとなった。

登山が数時間以上持続する長時間運動であることを考慮すると、LT 水準以下の運動強度で歩行する必要がある。そこで、LT 水準での歩行を行うための簡便な目安を作成した。すなわち、垂直方向への移動速度、体重、および担荷重量を変数として、前記の回帰式を基に、登山の運動強度が把握できる一覧表を、体重あたりの $\dot{V}O_2$ 、Mets、およびエネルギー消費量の表示で作成した。なお、同一の仕事率における $\dot{V}O_2$ やエネルギー消費量は、高度による影響を受けないため、この一覧表は高所での登山においても活用できると考えられる。

この一覧表は、登山を用いた運動処方を行う際に有用である。また、これを用いると、登山時のエネルギー消費量を推定することができ、携行する食料計画の参考となる。さらに、10–20 分程度の「全力上り歩行テスト」を行い、その際の登高能力を一覧表と対応づけることで、フィールドでのパフォーマンステストから、有酸素性作業能力 ($\dot{V}O_{2max}$) を評価できることも示唆された。

2. 下り歩行時の生理応答と歩行の特性

下り歩行時では、一般的な登山で想定される歩行内容である限り、 $60\%\dot{V}O_{2max}$ (LT 水準) を超える強度になることはなく、同じ速度の上り歩行と比べて、エネルギー消費量も 35–50%程度とかなり低かった。ただし、下り歩行時の RPE については、同じ $\dot{V}O_{2max}$ 強度の運動を行った場合でも、上

り歩行よりも高値を示し、さらに「息苦しさ」よりも「脚の疲労」で評価した値の方が高値を示した。

したがって、登山の下り歩行は、呼吸循環系に対する負担度よりも、むしろ脚筋への負担度の方が大きく、それを軽減するための方策や、脚筋への大きな負担に耐えうるだけの脚筋力を、日常的なトレーニングによって獲得することが必要であると推察された。

このような特性を考慮すると、下り歩行に関しては、その負担度を $\dot{V}O_2$ やMetsといった、呼吸循環系の負担度を表す指標で評価するだけでは不十分であり、脚の筋にかかる負担度を「脚の疲労」を表すRPEを用いて判断する必要があることが示唆された。

3. 長時間の登山時における生理的な負担度と疲労

約7-8時間におよぶ、実際のフィールド、および階段を用いたシミュレーション登山を行い、その際の生理的な負担度と疲労について検討した。その結果、疲労を防止するためのガイドライン（歩行ペース、水分補給、エネルギー補給）に従い登山を行った場合、終始で呼吸循環系の能力に関連した疲労は起こらなかった。しかし、脚筋や中枢性の疲労を窺わせる現象〔1〕血中の筋損傷・炎症マーカー値の上昇、2) 脚筋力、平衡機能、調整力の低下、3) 脚の疲労感、筋・関節痛の増大〕が発生することが明らかとなった。

現代の日本における登山事故で多く見られる下り歩行中の転倒、転落、および滑落には、このような要因が関係している可能性がある。したがって今後は、上記の疲労を防止、もしくは軽減するための方策について研究を進める必要がある。

4. 安全な登山を行うためのガイドラインの提示

安全な登山のために従来から提唱されていたガイドライン（山本，2006）に対して、本研究で得られた知見を加味し、以下のように改訂した。

ガイドライン 1) 歩行ペースについて

「上り歩行では、LT ($60\%\dot{V}O_{2max}$, $75\%HR_{max}$, RPE [息苦しさ] もしくは [脚の疲労] が13「ややきつい」) 以下、下り歩行では、RPE [脚の疲労] が13「ややきつい」以下のペースで歩く」。

ガイドライン 2) 水分補給について

「登山の脱水量 (ml) を < 登山時間 (h) × 体重 (kg) × 5 (ml) > という式で推定し、この70-80%の水分補給を行う」。

ガイドライン 3) エネルギー補給について

「登山のエネルギー消費量 (kcal) を < 登山時間 (h) × 体重 (kg) × 5 (kcal) > という式で推定し、その70%程度のエネルギー補給を行う」。

以上のように、本研究では登山歩行時の生理的負担度を総合的に究明した。これらの知見は、登山における安全性や快適性を確保したり、登山者の体力を評価したりする上で寄与するものと考えられる。

論文審査の要旨

日本において登山は、国民スポーツの一つと言ってもよいほど盛んであるが、事故も多い。本研究は、安全な登山のための運動処方に寄与する知見を得るために行われ、以下の点を明らかにした。登山歩行の運動強度は、負荷の種類（歩行路の傾斜、歩行速度、担荷重量）によらず、また上り・下りを問わず、鉛直方向の仕事率に対する二次関数の回帰式で表せる。この式を用いると、登山歩行時の運動強度や、エネルギー消費量を簡便に推定できる。また、登山の特異性を考慮したフィールドでの

体力テストの評価指標としても活用できる。さらに上り歩行では、この式および心拍数や主観的運動強度を用いて乳酸閾値以下の運動強度を保ち、本研究で作成したガイドラインに従って水分とエネルギーの補給を行えば、疲労せずに長時間の有酸素性運動が可能となる。一方、下り歩行の場合は、このような指針に沿って運動したとしても、なお脚筋の疲労が起こる。したがって、登山歩行の特殊性は特に下りに存在する。下りの疲労を防ぐ方策は、今後の検討課題として残されたが、その疲労度の大きさは、脚の疲労感を主観的運動強度で表すことによって評価できる。