



階段昇降トレーニングが上り坂歩行時のエネルギー代謝と筋出力特性に与える影響

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 北海道教育大学 公開日: 2024-08-22 キーワード: 作成者: 神林, 勲, 石橋, 勇司, 塚本, 未来, 小林, 拓也, 千葉, 佳苗 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.32150/0002000244

階段昇降トレーニングが上り坂歩行時のエネルギー代謝と 筋出力特性に与える影響

神林 勲・石橋 勇司*・塚本 未来**・小林 拓也***・千葉 佳苗****

北海道教育大学札幌校保健体育教育研究室

*交雄会新さっぽろ病院

**東海大学札幌キャンパス

***旭川市役所

****札幌市立あいの里西小学校

Effects of Stair Climbing Training on Energy Metabolism during Uphill Walking and Muscle Output Characteristics

KAMBAYASHI Isao, ISHIBASHI Yuji*, TSUKAMOTO Miku**, KOBAYASHI Takuya***
and CHIBA Kanae****

Physical Education Laboratory, Sapporo Campus, Hokkaido University of Education

*Koyukai Shin-Sapporo Hospital, Sapporo 004-0051

**School of International Culture Relations, Tokai University, Sapporo 005-0825

***Asahikawa City Administration, Asahikawa 070-8525

****Sapporo Ainosato-Nishi Elementary School, Sapporo 002-8072

ABSTRACT

This study evaluated the effects of 6 weeks of stair climbing training by measuring energy metabolism during uphill walking on a running treadmill and muscle output characteristics before (Pre) and after (Post) the start of training. Five healthy male and female university students [two males and three females, age 21.8 ± 0.2 years, height 167.4 ± 3.5 cm, weight 62.8 ± 3.3 kg, BMI 18.7 ± 0.8 kg/(m)²] familiar with daily sports activities, ascended and descended stairs three days a week for six weeks using the stairs of a five-story building. Uphill walking was performed on a running treadmill with a 10% incline fixed at a speed of 4.1 km/h, and 5-minute uphill walks were continuously performed with a stretcher weight change, interspersed with 2-minute standing rests. The stretcher weight was set at 10% of the body weight (BW) in stage 1, 20% in stage 2, and 30% in stage 3. HR, RPE, and expiratory gas variables were measured during uphill walking, and blood lactate concentration was measured at the standing rest after each stage. At the end of stage 3, isometric knee

extension force was measured, and the number of squats to exhaustion by 30% of the stretcher's BW was recorded. The results showed a significant decrease or decreasing trend in heart rate, ratings of perceived exertion, oxygen uptake, and carbon dioxide excretion in Post. Blood lactate levels in Post were also significantly lower after stages 2 and 3. Isometric knee extension was significantly higher in Post, and the number of squats to exhaustion was also significantly higher in Post. These results suggest that stair climbing training reduces the relative exercise intensity of uphill walking, improves thigh muscle strength and endurance, and is effective for safe mountain climbing.

緒 言

登山は自然の中で行うことができ、老若男女誰もが楽しめる有酸素運動（山本，2001）として親しまれている。特に，2020年からの新型コロナウイルス感染症の流行に伴い，人混みを避けて行うことの出来るアウトドアスポーツとして注目が高まってきた。登山アプリの国内最大手である，YAMAPのデータによると（NHK，2021），新型コロナウイルス感染症拡大前の2019年の新規アプリ利用者の中で，登山経験年数が1年未満の人の割合は36.6%であったのに対し，2020年の新規アプリ利用者の中で，登山経験年数が1年未満の割合は50.6%と増加した。

YAMAPのアプリ利用者が登った山を標高別に見ると，2019年に比べ2020年は1000m未満の低山に登った人の割合が増えた。また，登山をするために移動した距離を見ると，2019年と比較して2020年は，100km以上離れた山に登りに行く人の割合は減少した一方で，50km以内の近場の山に登りに行く人の割合が増加した（NHK，2021）。これらのことから，コロナ禍において，登山者は近場の低い山に登るという傾向が明らかになった。

登山の注目度が高まっている一方で，山岳での事故も数多く発生している。山岳での事故は高山のみならず，気軽に登ることのできる低山においても発生する。低山は気軽に登ることができると考え，準備を怠ったり登山の開始時間を遅らせてしまったりすることが事故につながっている（NHK，2021）。北海道での夏山シーズンにおけ

る山岳遭難発生状況を見ると，遭難発生件数は2019年に比べ2020年は9件増加し，遭難者は22人増加している（北海道警察，2021）。遭難原因の中で上位は転倒，次いで道迷い，滑落である。転倒や滑落の事故の多くは下山時に発生しており，その主な原因は下肢筋の筋力低下，筋持久力の不足，疲労による集中力の低下であることが示唆されている（山本ほか，2006）。

山本・山崎（2003）の全国の中高年登山者を対象とした実態調査によると，登山中の疲労やトラブル（下り坂で脚がガクガクなる等）を防止する要因として，日常でのトレーニング励行，定期的な登山の励行，適切なBMI（21～23），豊富な登山経験の4つが重要であり，性別や年齢の関わりは小さいことが示唆されている。つまり，適切なトレーニングを行うことで登山時の事故を減少させることができる可能性がある。

登山前に行うトレーニングとして，階段昇降トレーニングが古くから注目されている。北村ほか（1989）は，週3回，10週間の階段昇降トレーニングによって，5週目で最大酸素摂取量がトレーニング前と比較して有意に増加したことを報告している。また，飯塚ほか（1974）は，週3回，4か月の階段昇降トレーニングが脚の筋力と持久力を増大させたことを明らかにしている。このように階段昇降トレーニングが全身持久力や下肢筋力等の体力の向上をもたらすことは先行研究によって報告されているものの，登山を模した運動への影響について検討した研究は見当たらない。また，担架重量を変化させて上り坂と下り坂歩行時の生

理学的応答について検討した研究はあるものの (Pimental and Pandofl, 1979; Pimental et al., 1982; Myles and Saunders, 1979), 階段昇降トレーニング前後の応答を比較した研究は見当たらない。

そこで本研究は基礎的データの収集を目的に、週3日、6週間の階段昇降トレーニングが登山を想定した走トレッドミルでの上り坂歩行時のエネルギー代謝と担架重量を変化させた上り坂歩行後の筋出力特性に与える影響について検討を行った。トレーニングの効果の検証は、トレーニング前後に測定によって評価した。

方法

1 被検者

被検者は、日常的にスポーツ活動に親しんでいる健康な男女大学生5名(男性2名, 女性3名)を対象とした。被検者の年齢は 21.8 ± 0.2 歳, 身長, 体重およびBMIはそれぞれ 167.4 ± 3.5 cm, 62.8 ± 3.3 kgおよび 18.7 ± 0.8 kg/(m)²であり, 登山経験年数は, 1~3年の初級者であった。実験に先立ち, 全員に本実験の趣旨と安全性について十分な説明を行い, 自主的な実験参加の同意を得た。なお, 本研究は北海道教育大学研究倫理委員会の承

認を得て実施された(承認番号: 2021101005)。

2 実験概要

被検者は, 階段昇降トレーニングの前後に, 走トレッドミル(竹井機器工業社製ウェルロード200E)での上り坂歩行時のエネルギー代謝を評価するため, 呼吸循環器系測定を行い, その後引き続き脚の筋力と筋持久力の測定を行った(Fig.1)。

被検者は実験室に到着後, 心拍モニター(ポラル社製PE400)を装着し, 自動呼気ガス分析装置(ミナト医科学社製AE-300S)のマスクを装着した状態で, 走トレッドミルでの歩行を行った。走トレッドミルは, 傾斜10%, 速度4.1km/hに設定し, 被検者は担架重量なし(0kg)でウォーミングアップを5分間実施した(ステージ0)。その後, 立位姿勢で2分間休息をとり, 傾斜と速度は固定したまま, 担架重量の異なる3つのステージで歩行を行った(ステージ1~3)。各ステージは5分間とし, 歩行後には2分間の休息を立位状態で行った。休息中, 指尖より採血を行い, 血中乳酸濃度を測定した。走トレッドミル歩行中は, 心拍数(Heart rate, 以下HR)に加え, 各ステージにおいてボルグスケール(6~20)による主観的運動強度(Ratings of perceived exertion,

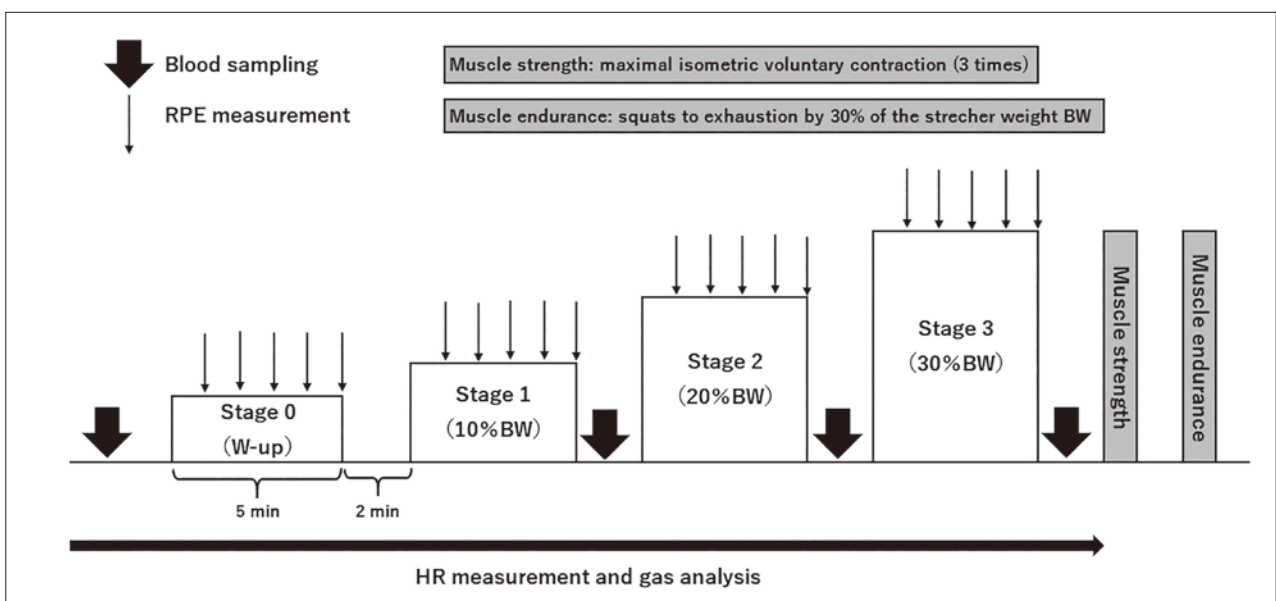


Fig. 1 Experimental protocol in this study.

以下RPE)も測定した。なお、ウォーミングアップ開始からステージ3終了後までエネルギー代謝を測定するために自動呼気ガス分析装置のマスクを着用した。ステージ3終了後マスクを外し、脚の筋力と筋持久力を測定した。心拍モニターは実験終了まで装着を続け、実験中のHRを随時計測した。なお、ステージ0～3までのHR、RPEおよび呼気ガス変数は5分間の平均値を分析に供した。

3 階段昇降トレーニング

階段昇降トレーニングは6週間、週3日の頻度で実施した。トレーニングには、5階建の建物の1階から5階までの階段を使用した。階段1段の高さは18cm、奥行き29cmであり、1階から5階まで計88段であった。トレーニング最初の2週間は、毎分152歩のリズムで1段ずつ上り、最上階まで到達したところで、同様に1段ずつ降下した。これを5往復行った。残りの4週間は強度を増加させ、毎分120歩のリズムで2段ずつ上り、最上階まで到達したところで1段ずつ降下した。これを7往復行った。トレーニング中はイヤホンを着用し、一定のリズムを保ちながら昇降が行えるようにした。また、トレーニング中は、心拍モニターを装着し、RPEを1往復に2回測定した。HRとRPEの測定は、どちらも1階と5階で行った。

4 上り坂歩行中の測定項目

1) 上り坂歩行の運動プロトコル (Fig. 1)

走トレッドミル上で、立位状態で1分間の安静後、傾斜10%、速度4.1km/h、担架重量0kgでウォーミングアップを5分間行った。傾斜と速度は中嶋ほか(2014)の研究を参考に、一般的登山の身体負荷になるように計算された速度と傾斜を使用した。その後、2分間休憩をとり、傾斜と速度は固定したまま、担架重量の異なる3つのステージを設定した。ステージ1は体重の10%の担架重量(以下10%BW)、ステージ2は20%BW、ステージ3は30%BWの担架重量で歩行した。担架重量のおもりを背負うバックパックは、被検者

全員同一のものを使用した。バックパックの重さは1.43kgで、担架重量にはバックパック自体の重さは含めなかった。

各ステージは5分間とし、ステージ後には2分間の休息を立位状態で行った。また、走トレッドミルでの歩行中は、1分毎にHRとボルグスケールを用いてRPEを計測した。本研究の上り坂歩行の運動プログラムは、呼気ガス分析装置の着用時間は27分間、走トレッドミルでの上り坂歩行の総歩行距離はPreとPostともに1.42kmであった。歩行距離と歩数は、ステージ3終了後に走トレッドミルに表示された数値を記録した。歩行距離と歩数の測定は26分間であった。

2) 呼吸循環器系

上り坂歩行中の呼吸循環器系指標として、体重当たりの酸素摂取量(Oxygen uptake, 以下 $\dot{V}O_2$)、二酸化炭素排泄量(Carbon dioxide output, 以下 $\dot{V}CO_2$)、換気量(Expiratory minute volume, 以下 $\dot{V}E$)およびガス交換比率(Respiratory exchange ratio, 以下RER)を測定した。測定は、自動呼気ガス分析装置(ミナト医科学社製AE-300S)を用いて、安静時から運動終了時まで、breath-by-breath法に呼気ガスを採取し、得られたデータは、8呼吸毎に移動平均を行い、1分間当たりの平均値にしたものを分析に供した。

3) 血中乳酸濃度

使い捨て採血用穿刺器具(テルモ社製メディセーフファイントouch)を使用し、指尖より血液を採取し、血中乳酸濃度をラクテートプロ2(アークレイ社製)で測定した。採血のタイミングは被検者の負担を考慮し、安静時、ステージ1直後、ステージ2直後およびステージ3直後の計4回とした。

5 上り坂歩行後の測定項目

1) 等尺性膝伸展力

測定は背筋力計(竹井機器工業株式会社製)を椅子下部に鉄製チェーンを用いて取り付けたものを使用し、測定前に、股関節と膝関節角度が90度になるようにチェーンの長さを調整した。椅子座

位姿勢での等尺性膝伸展力を片脚3回ずつ計測し、その平均値を分析に供した。各計測の間は30秒間空けるものとした。なお、非測定側の下肢は地面に接地していない状態で計測を行った。上り坂歩行終了時から脚伸展力の測定までに要した時間は、 2.15 ± 0.18 分であった。

2) スクワット回数

スクワットは臀部が椅子に触れ、膝関節角度が90度になるまで行わせ、2秒に1回のリズムで疲労困憊まで行い、その回数を計測した。疲労困憊の判断は、被検者の自己申告または、リズムに遅れが生じた時点を検者が判定した。スクワットは2秒に1回のリズムになるよう、メトロノームの音に合わせてながら行い、担架重量として30%BWの負荷を用いた。スクワット終了時にはRPEを計測した。上り坂歩行終了時からスクワット回数の測定までの時間は、 6.90 ± 0.02 分であった。

6 統計処理

測定結果は、全て平均値 \pm 標準誤差 (mean \pm SE) で表した。上り坂歩行時のHR, RPE, 呼吸ガス変数および血中乳酸濃度のPreとPostの比較では、安静時と各ステージの値を用いてフリードマン検定により χ^2 値を算出し有意水準である5%未満 ($p < 0.05$) を検討した。有意水準を満たしている場合は、その後、ウィルコクソン符号順位検定を用いて多重比較を行った。上り坂歩行中の歩数、歩行後の等尺性膝伸展力とスクワット回数のPreとPostの比較は、ウィルコクソン符号付順位検定(有意水準5%未満)を用いた。なお、ウィルコクソン符号順位検定においては5%以上10%未満 ($p < 0.10$) を有意差傾向ありとした。

結 果

1 階段昇降トレーニング

1日のトレーニングに要した時間は、最初の2週間は 7.33 ± 0.06 分で、後半の4週間は 10.60 ± 0.08 分であった。

HRはスタート前の1階では90bpm前後だった

が、最初の5階到達時には150bpmに達した。その後は5階からの降下があったにもかかわらず150bpmを下回ることはなく、150~190bpmの間で常に推移した。各週3回のトレーニングの最高値の平均値をみると、1週目で 180.6 ± 1.8 bpm、2週目は、 177.3 ± 1.9 bpmであった。強度を増加させた3週目は 182.4 ± 2.8 bpm、4週目は 182.5 ± 2.6 bpm、5週目は 181.7 ± 2.1 bpm、6週目は 178.5 ± 3.0 bpmであった。

RPEについてもHRと同様に分析した結果、スタート前の1階では7 (「非常に楽である」) 前後であり、最初の5階到達時は10 (「かなり楽である」と「楽である」の間) であった。その後は5階からの降下中も10を下回ることはなく、往復を重ねるごとに漸増し最後は16~18 (「きつい」と「非常にきつい」の間) に達した。各週3回のトレーニングの最高値の平均値をみると、1週目が 16.5 ± 0.8 、2週目は 15.9 ± 0.5 であった。強度を増加させた3週目は 17.6 ± 0.5 、4週目は 16.9 ± 0.1 、5週目は 15.9 ± 0.4 、6週目は 16.1 ± 0.3 となった。

2 トレーニング前後の上り坂歩行中の測定データ

Table 1 にPreとPostにおけるHR, RPEおよび呼吸ガス変数の平均値の比較を示した。HRとRPEはPostのステージ2と3において、いずれもPreによりも有意に低値であった。 $\dot{V}O_2$ はステージ0ではPreとPostで有意差はなかったものの、ステージ1ではPostで低くなる傾向が認められた。また、ステージ2と3では有意にPostが低値であった。 $\dot{V}CO_2$ はステージ0ではPreとPostに有意な差はなく、ステージ1と2ではPostが低くなる傾向であった。そしてステージ3ではPostが有意に低値であった。 $\dot{V}E$ とRERにはPreとPostで有意差は認められなかった。

Fig. 2 には安静時とステージ1~3終了後の血中乳酸濃度の比較を示した。安静時の血中乳酸濃度は、Preで 1.54 ± 0.17 mmol/L、Postで 1.58 ± 0.20 mmol/Lであり、有意な差はなかった。ステージ1直後の値はPreとPostで等しかったが、ステージ2ではPreが 3.52 ± 0.67 mmol/L、Postが

Table 1 HR, RPE and respiratory parameters during uphill walking before and after 6-wk training.

		Rest	Stage 0	Stage 1	Stage 2	Stage 3
HR (bpm)	Pre	99.6 ± 4.6	137.3 ± 5.2	148.2 ± 5.1	156.4 ± 4.8	166.6 ± 5.7
	Post	90.6 ± 5.5*	133.2 ± 4.8*	144.5 ± 4.9*	152.4 ± 4.6*	163.1 ± 4.8*
RPE	Pre	6.8 ± 0.2	9.2 ± 1.0	10.3 ± 0.9	12.2 ± 0.8	14.1 ± 0.6
	Post	7.2 ± 0.2	9.0 ± 0.7	9.9 ± 0.4#	11.3 ± 0.6*	13.0 ± 0.8*
$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	Pre	8.34 ± 0.31	21.66 ± 0.74	23.44 ± 0.86	25.22 ± 1.04	29.04 ± 1.31
	Post	7.36 ± 0.45	21.34 ± 0.95	22.66 ± 0.98#	23.33 ± 1.09*	24.63 ± 1.02*
$\dot{V}CO_2$ (ml/min)	Pre	429.2 ± 31.2	1154.4 ± 78.7	1300.6 ± 67.5	1400.8 ± 72.1	1613.2 ± 109.2
	Post	372.0 ± 27.0	1089.8 ± 77.8	1223.1 ± 64.8#	1282.0 ± 71.2#	1398.0 ± 77.0*
$\dot{V}E$ (L/min)	Pre	15.5 ± 0.83	31.9 ± 2.1	35.6 ± 2.5	39.4 ± 2.9	46.4 ± 5.0
	Post	13.6 ± 0.93	31.1 ± 2.5	35.9 ± 2.4	39.2 ± 2.7	47.2 ± 4.4
RER	Pre	0.82 ± 0.02	0.85 ± 0.03	0.89 ± 0.02	0.89 ± 0.02	0.89 ± 0.03
	Post	0.82 ± 0.02	0.82 ± 0.03	0.87 ± 0.02	0.89 ± 0.02	0.92 ± 0.03

* (p<0.05); significant difference, # (p<0.10); marginally significance, HR; heart rate, RPE; ratings of perceived exertion, $\dot{V}O_2$; oxygen uptake, $\dot{V}CO_2$; carbon dioxide output, $\dot{V}E$; expiratory minute volume, RER; respiratory exchange ratio.

2.60 ± 0.35 mmol/L, ステージ 3 では Pre が 4.66 ± 0.83 mmol/L, Post が 3.80 ± 0.80 mmol/L といずれも Post が有意に低値を示した。

Fig. 3 には上り坂歩行時の歩数について Pre と Post の平均値を示した。Pre では 2309 ± 70 歩であったが, Post は 2242 ± 92 歩となり, 歩数は Post で有意に減少した。

3 トレーニング前後の上り坂歩行後の筋力特性

Pre と Post において得られた上り坂歩行後の等尺性膝伸展力とスクワット回数の平均値をそれぞれ

Fig. 4 A と 4 B に示した。等尺性膝伸展力は Pre では右脚 44.5 ± 2.9 kg, 左脚 42.6 ± 1.5 kg であったが, Post では右脚 46.1 ± 0.4 kg, 左脚 44.5 ± 1.6 kg となり, 両脚とも 2 kg 程度, 有意に増加した。なお, 各脚の最高値の平均値は, Pre (左脚 44.3 ± 1.3 kg, 右脚 46.7 ± 2.5 kg) から Post (左脚 46.2 ± 1.9 kg, 右脚 47.7 ± 0.4 kg) にかけて有意な向上は認められなかった。

スクワット回数を Pre と Post で比較すると, Pre では 114.2 ± 28.0 回であったが, Post では 151.4 ± 37.6 回となり, 有意に増加した。スクワット後

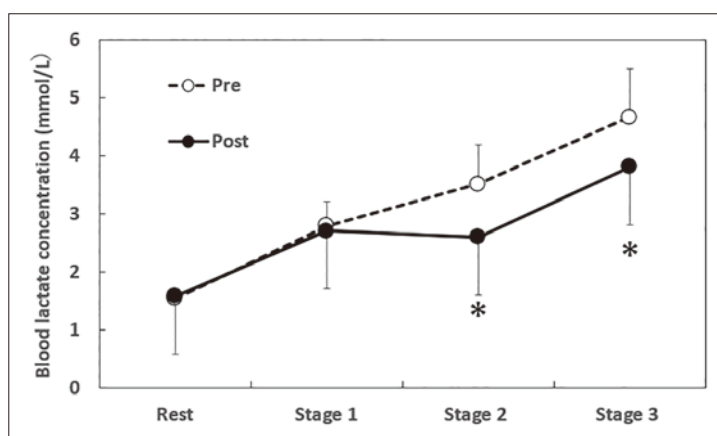


Fig. 2 Change of blood lactate concentration before and after 6-wks training. * (p<0.05) denotes significant difference when compared with Pre-values, respectively.

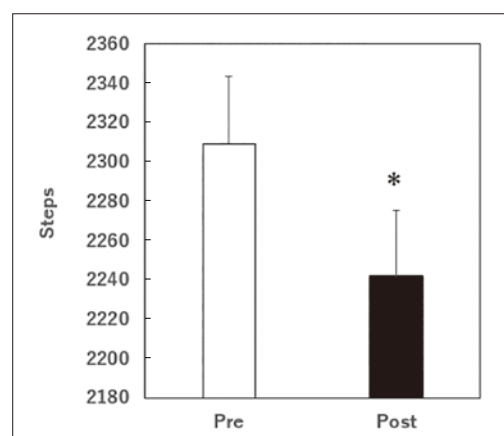


Fig. 3 Comparison of steps between Pre and Post. * (p<0.05) denotes a significant difference when compared with Pre.

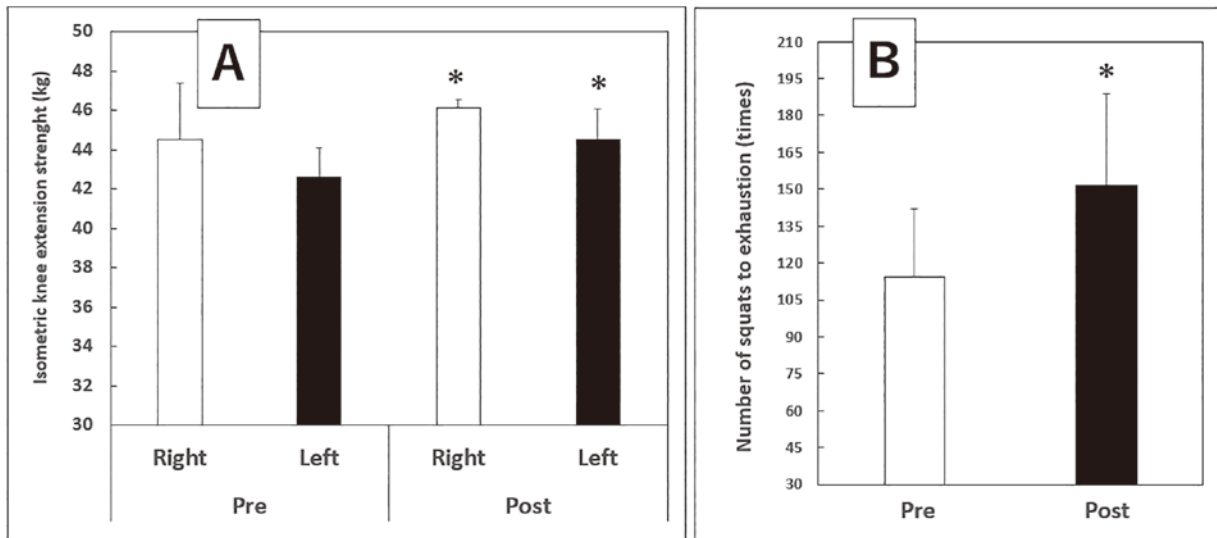


Fig. 4 Comparison of muscle strength (A) and muscle endurance (B) between Pre and Post.
* ($p < 0.05$) denotes a significant difference when compared with Pre.

のRPEはPre (18.4 ± 0.93) とPost (18.0 ± 0.84)
で有意な差はなかった。

考 察

本研究は、階段昇降トレーニングが登山を想定した走トレッドミルでの上り坂歩行時のエネルギー代謝と歩行終了後の筋出力特性に与える影響の基礎的データを収集することを目的とした。本研究の結果から、6週間、週3回の頻度での階段昇降トレーニングにより、一定速度での上り坂歩行の運動強度が低下し、大腿部の筋力・筋持久力が向上することが明らかとなった。また、ステージ0～3における総歩行距離1.42kmの歩数がPreに比較してPostで減少し、トレーニング後には歩幅が大きな上り坂歩行が獲得された可能性が示唆された。

本研究では階段昇降トレーニング後のPostにおいて、上り坂歩行時のHR、RPEおよび $\dot{V}O_2$ が有意に低下した (Table 1)。このことは、各ステージ、特に前述の3つの変数がいずれも有意に低下したステージ2と3 (担架重量20%BWと30%BW) において、相対的な運動強度の低下がもたらされたと考えられる。Fig. 4 Aと4 Bに示したように、

階段昇降トレーニングにより大腿部の筋力と筋持久力が有意に向上した。これらの増加が、体を支える安定力と推進力につながり、上り坂歩行を「楽」に行えるようになった要因ではないかと考えられる。また、Preと比較してPostではステージ0～3における歩数が有意に低下し (Fig. 3)、歩幅が大きな上り坂歩行を獲得した可能性がある。先行研究 (神林ほか, 1999) では自転車エルゴメーターを仕事量 (Watt) は変化させず、60rpmと90rpmの回転数で漕いだ結果、回転数の速い90rpmで代謝応答が高まったと報告されている。つまり、自転車漕ぎ運動では同一の仕事量では回転数が低い方が効率的であると言える。本研究では上り坂歩行ではあるものの、走行距離と走行速度ともPreとPostでは違いはない。よって、Postでの歩数の減少は代謝応答の低下をもたらした要因の1つではないかと推察される。

RERをPreとPostで比較すると、いずれのステージでも値に有意な差はなかった。よって、エネルギー基質としての糖質・脂質の利用割合はPreとPostで違いはないと判断できる。しかしながら、Fig. 2 に示した血中乳酸値の動態をみると、ステージ2と3ではPostの値がPreよりも有意に低下した。PreとPostで糖質の利用比率に違

いがない場合、解糖系で生成されるピルビン酸の量にも違いがないと考えられる。ピルビン酸は筋細胞内でミトコンドリアに取り込まれれば、乳酸になることはない。よってPostにおける血中乳酸値の低下は、ミトコンドリア容量の増加と関連していると推察される。本研究で実施した階段昇降トレーニングの運動強度は、被検者の最大心拍数を年齢による推定式 (Tanaka et al., 2001) から計算すると193bpmとなることから、最大心拍数の約78~98%と高かった。また、RPEもトレーニング中は常に「きつい」以上になっていた。よって、持久性トレーニングの効果が十分に期待できるものであったと考えられる。Dudley et al. (1982) は筋の酸化能力向上に重要なミトコンドリア容量について、運動強度の重要性を指摘している。それによると、運動強度が最大酸素摂取量の70~100%の場合、1日当たりの運動時間が15分以内であってもミトコンドリア容量が増加することを報告している。このことは1回当たりの運動時間が短くても、運動強度が高ければミトコンドリア容量が増加することを意味する。本研究のトレーニングは1回の運動時間は7~11分程度であったが、最大心拍数の相対値からみた運動強度は高かった。よって、被検者の活動筋の筋細胞内におけるミトコンドリア容量が増加して多くのピルビン酸が取り込まれたことが、血中乳酸値の低下をもたらしたと考えられる。また、持久性トレーニングは乳酸脱水素酵素の心筋型の増加 (高橋, 2000) や毛細血管数の増加 (Laughlin and Roseguini, 2008) も生じさせることから、本研究で用いた階段昇降トレーニングでも同様な効果が期待でき、血中乳酸値の低下に寄与した可能性がある。

前述したように、等尺性脚伸展力で評価した筋力と担架重量30%BWによる疲労困憊までのスクワット回数である筋持久力は、Postでいずれも向上した (Fig. 4 A と 4 B)。このことは、階段昇降トレーニングは、持久性トレーニングのみならず、筋力トレーニングと類似の効果も期待できることを意味する。しかしながら、今回の筋力評価は、

等尺性脚伸展力を左右両脚において、30秒間の休息を挟んで実施した3回の平均値で評価した。一方で各脚の最高値の平均値は、いずれの脚ともPreからPostにかけて向上はしたが、有意な増加ではなかった。このことから、階段昇降トレーニングは、筋力の増加も期待できるものの、筋持久力を向上させる傾向が強いトレーニングと言えるだろう。筋毛細血管密度の増大は筋血流量の増加をもたらして筋持久力を向上させることに寄与する (北村, 1986) ことから、階段昇降トレーニングによる筋力の応答、すなわち最大値は変化しないが、30秒の休息で3回実施した平均値の増加は、合目的な結果と判断できるかもしれない。

以下、本研究の限界等について言及する。1点目として、登山は平地での歩行とは異なり、傾斜、担架重量および足場の状況により負荷が様々に変化する。本研究では、走トレッドミを使用した上り坂歩行を行ったが、変化させた負荷は担架重量のみであった。また、実験室という安定した環境下での歩行であったことも加味すると、このトレーニングが実際の登山に効果的かどうかについてはさらなる検証が必要である。2点目として、本研究では、健常な男女大学生を対象としたが、過去5年間の夏期における山岳遭難者を年齢層別に見ると、50代と60代が41.2%と大部分を占めている (警察庁 online)。本研究で用いた階段昇降トレーニングの内容は、大学生には有効であることが示唆されたが、被検者の数が5人と少数であったことと、大学生を対象にした研究であったことから、このトレーニング内容が一般化できるのか、このトレーニングが若年層や中高年に対しても効果があるかについては今後、検討しなければならない。3点目として、本研究では、階段昇降トレーニングの基礎的データの取得はできたが、登山で多用される大腿部を鍛えるトレーニングとして一般的なスクワットや全身持久力を向上させるランニング等、登山前に行うトレーニングとして一般的なものとの比較をするための対照群の設定が出来なかった。このため、階段昇降トレーニングが他のトレーニングと比較してより効果的

であるかどうかについても検討する必要があるだろう。

階段昇降トレーニングはテンポや反復回数等、実施者の体力レベルに合わせて負荷を容易に変化させることができる。また、階段があればどこでも行うことが可能なため、特別なトレーニング器具や設備は不要である。萩原ほか（2011）の登山を模擬した走トレッドミルでの歩行研究によると、上り坂歩行時の息苦しさや脚の筋疲労の2項目をRPEで評価し、いずれも最大酸素摂取量の相対値にはほぼ比例することを報告している。一方で下り坂歩行においては、上り坂歩行と同じ速度で歩行している時のRPEは、息苦しさよりも脚の疲労で評価した値の方がより高値を示したことが明らかにされている。これらのことから、登山時の上り坂では全身持久力が、下り坂では下肢の筋力・筋持久力が重要な体力的要因であると言える。本研究において被検者の最大酸素摂取量の測定は実施していないが、階段昇降トレーニングは大腿部の筋のミトコンドリア容量を増加させる可能性があることから、被検者の全身持久力の向上も期待できる。他方、大腿部の筋力・筋持久力を高めることのできるトレーニングであることは本研究の結果からも明らかである。これらのことから、階段昇降トレーニングは、上り坂のみならず下り坂の歩行にとっても有効であることが示唆される。

総括

本研究では、日常的にスポーツ活動に親しんでいる健康な男女大学生5名を対象に、6週間、週3回の頻度での階段昇降トレーニングを行い、そのトレーニングの前後で登山を想定した上り坂歩行時におけるエネルギー代謝と歩行後の筋力特性を評価した。結果は以下に示した通りである。

- 1 上り坂歩行中のHR, RPE, $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ はPreと比較してPostで有意な低下もしくは低下傾向が認められた。
- 2 血中乳酸濃度は、強度の高いステージにおい

てPreと比較してPostで有意に低下した。

- 3 等尺性膝伸展力はPostにおいて有意に高値となり、疲労困憊までのスクワット回数もPostにおいて有意に増加した。
- 4 上り坂歩行時のプロトコル全体の歩数がPreと比較してPostで有意に減少した。

以上のことから、6週間、週3回の階段昇降トレーニングは呼吸循環器系の改善をもたらして上り坂歩行の相対的運動強度を低下させ、大腿部の筋力・筋持久力を改善させる可能性が示唆された。

謝辞

本研究を終えるに当たり、6週間にわたりトレーニングに休みなく参加して頂きました被検者の方々に厚くお礼を申し上げます。

付記

本研究は、第24回日本体力医学会北海道地方会（令和4年4月開催）において発表したものをまとめたものである。

参考文献

- Dudley, G.A., Abraham, W.M., and Terjung, R.L. (1982) Influence of exercise intensity and duration on biochemical adaptation in skeletal muscle. *J. Appl. Physiol. Resir. Environ. Exerc. Physiol.*, 53 : 844-850.
- 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 : 327-341.
- 北海道警察本部：夏山シーズンにおける山岳遭難発生状況. <https://www.police.pref.hokkaido.lg.jp/info/chiiki/sangaku/002-toukei/01-natuyama-sounan.pdf>. (参照日 2022年1月27日).
- 飯塚鉄雄・日丸哲也・中西光雄・岩崎義正・永田晟・磯川正教・中村誠（1974）中高年の運動処方に関する研究—階段昇降運動の効果—. *体力科学*, 23 : 60-66.
- 神林勲・森田憲輝・佐川正人（1999）ペダリング頻度の違いが漸増負荷運動テストにおける筋活動量および代謝応答に与える影響. *北海道体育学研究*, 34 : 17-24.

- 警察庁生活安全局生活安全企画課：令和3年夏期における山岳遭難の概況https://www.npa.go.jp/publications/statistics/safetylife/chiiki/R3_kaki_sangakusounan.pdf, (参照日2022年1月27日)
- 北村潔和 (1986) 前腕の筋持久力トレーニングが作業中及び回復期血流量に及ぼす影響. 体力科学, 35 : 127-133.
- 北村潔和・堀田朋基・福田明夫・山地啓司 (1989) 階段昇降運動による全身持久性トレーニングが最大酸素摂取量に及ぼす影響. J.J.Sports Sci, 8 : 386-391.
- Laughlin, M.H., and Roseguini, B. (2008) Mechanisms for exercise training-induced increased in skeletal muscle blood flow capacity: differences with interval sprint training versus aerobic endurance training. J.Physiol. Pharmacol., 59 (Suppl) : 71-88.
- Myles, W. S., and Saunders, P. L. (1979) : The physiological cost of carrying light and heavy loads. Eur. J. Appl. Physiol., 42 : 125-131.
- 中嶋健太・小田有紗・菊地悟史・松田真輝・本間里美・高橋一揮 (2014) 登山を想定したトレッドミル歩行での歩行効率と身体負荷の検討. 第50回日本理学療法学会大会, P3-C-0938.
- NHK : WEB特集：その登山、大丈夫ですか？～身近な山にも潜む“遭難”リスク～. <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210521/k10013039251000.html>, (参照日2022年1月27日).
- Pimental, N. A., and Pandolf, K. B. (1979) Energy expenditure while standing or walking slowly uphill or downhill with loads. Ergonomics, 22 : 963-973.
- Pimental, N. A., Shapiro, Y., and Pandolf, K. B. (1982) Comparison of uphill and downhill walking and concentric and eccentric cycling. Ergonomics, 25 : 373-380.
- 高橋秀幸 (2000) 運動と筋のエネルギー代謝. 運動と筋の科学 勝田茂 (編), 29-45.
- Tanaka, H., Monahan, K.D., and Seals, D.R. (2001) Age-predicted maximal heart rate revisited. JACC, 37 : 153-156.
- 山本正嘉 (2001) 登山の疲労とその防止. 疲労と休養の科学. 16 : 19-24.
- 山本正嘉・前川亮子・中原玲緒奈 (2006). 登山のバイオメカニクス. バイオメカニクス研究, 10 : 74-85.
- 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 : 543-554.
- (神林 勲 札幌校教授)
- (石橋 勇司 交雄会新さっぽろ病院理学療法士)
- (塚本 未来 東海大学札幌キャンパス准教授)
- (小林 拓也 旭川市役所職員)
- (千葉 佳苗 札幌市立あいの里西小学校教諭)