

踏み台昇降運動中の生理的応答からみた登山中の至適な運動

山地啓司, 大西由朗, 仲村建一 (富山大学教育学部)

北川鉄人 (北川内科クリニック)

I. 緒論

これまでの昇降運動に関する研究は, ①体カテスト (Baileyら, 1976; Margariaら, 1966; 小野寺ら, 1990), ②運動処方 (Bassettら, 1997; 山地と吉尾, 1988), ③登山 (Cymermanら, 1981; 山地ら, 2004A, B)を目的とした研究に集約される。さらにこれらの運動様式には, ①既存の階段を用いた研究 (Andriacchiら, 1980; TehとAziz, 2002), ②段階式トレッドミルを用いた研究 (Buttsら, 1993; Howleyら, 1992, 山地ら, 2004A), ③踏み台を用いた研究 (Nagleら, 1965; Willifordら, 1998), ④その他エスカレーター (大道, 1990; Bassettら, 1997)や腕と脚を用いたクライミング (Ballorら, 1988)等の研究がある。既存の階段や昇降運動機器等を用いた昇降運動と踏み台を用いた昇降運動の大きな相違は, 前者が上りと下りを区別した運動が可能であるのに対して, 後者の踏み台昇降運動は上り下りの交互運動のみの運動である点である。したがって, 両者を一様に比較することは困難である。しかし, 多くの研究者 (Bassettら, 1997; Nagleら, 1965; Paffenbargerら, 1983)が認めるように, 上りと下りのエネルギー比は3:1であることから, 踏み台を用いた昇降運動からも概ねその登山中のエネルギー消費量の推定が可能となる。

Burtscherら (2001)によると, 毎年4,000万人以上の人々がヨーロッパアルプスに訪れ, アメリカでは2,400m以上の高地に3,500万人が訪れている。

世界では約1億人がハイカー, スキーヤー, クライマー, ツーリストなどとして高地に訪れ, その中の約15%が60歳以上であるという。ElvebackとLie (1984)やHonigmanら (1993)は, 60歳以上の訪問者の約60%が何らかの冠状動脈性の障害を持っており, 高所環境の中での運動が心臓疾患発病のトリガーになる可能性を指摘している。Burtscherら (1993)は, 高地でのスポーツ中に発生する死亡事故の約30%が心臓死で, 高齢になればなるほどその割合は増加することを指摘している。わが国も例外ではない。中高年者の登山中の事故は疾病だけでなく, 不注意や疲労によるものも少なくない。

そこで本研究は, 中高年者 (男・女)と大学生を対象として踏み台昇降運動を行う際の高さ, テンポ, 荷物の重さの相違による生理的応答から, 体力に応じた登山中の至適な運動強度を探ることを目的とした。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は男子大学生7人, 中高年 (男)5人と (女)5人の計17人であった。男子大学生は全員が陸上競技部に所属し, 4人は短距離, 3人が長距離ブロックに所属していた。トレーニングは1週間2~5回, 1日2~3時間行なっている者であった。しかし, 被験者ITは長距離ブロックに所属しているものの, 約10ヶ月間トレーニングを行

表1 被験者の年齢及び身体的特性

被験者	項目	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	peakVO ₂ max (ml・kg ⁻¹ ・min ⁻¹)	peakHRmax (beats・min ⁻¹)
学生 (男子)	YH	21	168.0	52.4	11.2	42.2	180
	KK	23	181.8	70.3	13.8	44.5	182
	KM	21	164.7	59.6	10.1	40.3	185
	IT	23	168.7	65.1	25.9	39.1	198
	NK	24	172.0	57.6	11.6	39.4	173
	IK	21	179.7	65.9	11.8	42.1	185
	HG	20	177.7	67.0	14.4	46.5	187
	$\bar{X} \pm SD$	21.9 ± 1.5	173.2 ± 6.6	62.6 ± 6.2	14.1 ± 5.4	42.0 ± 2.7	184.3 ± 7.6
中高年者 (男子)	MI	70	162.0	59.0	8.7	31.3	175
	MK	71	169.7	63.0	10.0	33.9	169
	YM	64	167.2	66.1	11.4	30.6	175
	OS	64	172.0	63.9	8.4	34.4	154
	Osi	56	165.1	78.7	19.9	29.7	171
	$\bar{X} \pm SD$	65 ± 6	167.2 ± 3.9	66.1 ± 7.5	11.7 ± 4.7	32.0 ± 2.1	168.8 ± 8.7
中高年者 (女子)	OU	56	158.5	52.3	7.7	36.3	163
	FS	58	148.2	74.2	27.2	28.1	171
	KK	51	150.0	48.6	8.7	31.4	176
	MH	70	156.9	45.5	6.5	33.3	160
	MM	64	151.0	47.5	9.3	30.4	153
	$\bar{X} \pm SD$	59.8 ± 7.4	152.9 ± 4.5	53.6 ± 11.8	11.9 ± 8.6	31.9 ± 3.1	164.6 ± 9.1

ただしpeakVO₂max:ピーク最大酸素摂取量、peakHRmax:ピーク最高心拍数

なっていないかった。

中高年男女10人は中高年の登山クラブに所属し、年間10~20回、1回1~3日の山行を行なっている健常者であった。年齢及び身体的特性は表1のごとくであった。なお、被験者は実験を行う前に、実験の内容、方法、手順について説明を受け、被験者として同意したものである。

2. 測定方法

実験室に訪れた被験者はただちに身長、体重、皮下脂肪厚を測定し、その後心拍数測定のために胸部3か所に電極を装着した。その後20~30分おいて次の手順に従って踏み台昇降運動を行い、安静時及び運動中の酸素摂取量(VO₂)、心拍数(HR)及び血中乳酸濃度(LA)を測定した。

(1) 踏み台昇降運動

踏み台は外枠がスチールで作られ、外枠に作られた5cmきざみの棚枠に踏み板(プラットホーム)を差し込むことによって、踏み台の高さを0cmから5cmきざみに40cmまで調節できる、可変高性の機能を持つものであった。なお、踏み板の利用有効面積は横幅47cm×奥行き47cmであった。昇降テンポにはセイコー製クオク・メトロノームを用い、被験者はそのテンポに合わせて昇降運動をおこなった。

ア 実験I

(ア) 大学生

まず昇降テンポを15回・分⁻¹に保ち、10cmの踏み台の高さで3分間連続して昇降運動を行なった。続いて1分間の休息後高さを20cm

に変え、同じ昇降テンポで3分間の昇降運動を連続して行なった。このような方法で1分間の休息をはさみながら、さらに踏み台の高さを30cm、40cmと変え、各高さで3分間の昇降運動を行なった。さらに約10分間の休息の後、今度は昇降テンポを22.5回・分⁻¹に固定し、15回・分⁻¹の昇降テンポの場合と同様踏み台の高さを10cm、20cm、30cm、40cmと1分間の休息をはさみながら、各高さで3分間の昇降運動を行なった。また、約10分間の休息をはさみ、今度は昇降テンポを120回・分⁻¹に固定し、昇降の各高さ(10cm、20cm、30cm、40cm)で3分ごとに1分間の休息をはさみながら、前回と同様に昇降運動を行なった。昇降運動中テンポについていけなくなった場合には注意をうながし、それでも遅れる場合あるいは次ステージへの負荷の運動を拒否した場合には、疲労困憊(exhaustion)に達したものとみなした。

(イ) 中高年者(男・女)

大学生と同様昇降テンポを15回・分⁻¹、22.5回・分⁻¹及び30回・分⁻¹、踏み台の高さを10cm、20cm、30cm及び40cmに変えながら、各種の異なった昇降条件で十分な休息をはさみながら昇降運動を行なった。

ア 実験Ⅱ

(ア) 大学生

昇降テンポを22.5回・分⁻¹に固定し、実験Ⅰと同様に、踏み台の高さを10cm、20cm、30cm、40cmの各高さで1分間の休息をはさみながら、リュックザック(荷物の重さは10kg)を背負って3分間の昇降運動を行なった。約10分間の休息の後、今度は荷物の重さを20kgとし、10kgの場合と同様な方法で1分間の休息をは

さみながら、各4段階の高さで3分間の昇降を行なった。続いてしばらくの休息の後、今度は荷物の重さを30kgに変え10kgや20kgの場合と同様の昇降運動を行なった。昇降中テンポに遅れそうになった場合には注意をうながし、それでも遅れる場合あるいは次ステージへの負荷の運動を拒否した場合には、疲労困憊に達したものとみなした。

(イ) 中高年者(男・女)

大学生と同様リュックザック(荷物の重さは10kg)を背負って、昇降テンポを22.5回・分⁻¹に固定し、踏み台の高さを10cm、20cm、30cm、40cmと変え、1分間の休息をはさみながら各高さで3分間の昇降運動を行なった。ただし、昇降運動の途中で昇降テンポに遅れたり、身体の揺れや脚のふらつきが生じ危険だと思われた時は、検者の判断で疲労困憊に達したとみなした。(20kgと30kgの荷物での3分間の踏み台運動は、中高年(女)では10cmの高さから、また(男)では20cmの高さから困難だと判断した)

(2) 呼吸・循環機能及び血中乳酸濃度

大学生及び中高年(男・女)は各種条件が異なった3分間の踏み台昇降運動中、フェイスマスクと蛇管を通して吸気ガス及び呼気ガスに含まれるO₂とCO₂濃度をInnovision社製自動代謝分析器(AMIS 1000SM)で、また胸部誘導から日本電気三栄製テレメーター(NEC Bioviw)を用いて酸素摂取量(VO₂)と心拍数(HR)を連続的に測定した。そして、高さ、テンポ、重さが異なった3分間の踏み台昇降運動時のそれぞれの条件下での酸素摂取量(VO₂)及び心拍数(HR)は運動開始後2分目から3分目の1分間の値とした。また、その

3. 登山医学・生理学・トレーニング科学に関する調査研究

日の実験前及び各種の条件が異なった踏み台昇降運動直後(1分間の休憩中)に被験者の左手の薬指の指尖から採血し、ラクテート・プロ(京都第一科学社製)を用いて血中乳酸濃度(LA)を測定し、その直前に行なった昇降運動の値とした。なお、疲労困憊に達した時の VO_2 とHRを $peakVO_2max$ と $peakHRmax$ とした。疲労困憊に達した後の血中乳酸の測定は第1回目の採血の後30~40秒後に第2回目の採血を行い、高い方の値を疲労困憊時のピーク乳酸値($peakLA$)とした。さらに、血中乳酸が $4\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 時を乳酸性作業閾値(OBLA)とした。

III. 結果

被験者の体重(kg)あるいは荷物を背負った場合には体重に荷物の重さをプラスした総重量と1分間に成された上行への距離(m)から、仕事率($W\cdot\text{min}^{-1}$)を求めた。このようにして算出された仕事率には下行(下り)の仕事率が無視されているので“みかけの仕事率”とみなした(本稿ではこの“みかけの仕事率”を単純に「仕事率」と名付けた)。さらに、このみかけの仕事率に相当する消費カロリーを求め、昇降中測定された酸素摂取量

(VO_2)と1分間のエネルギー消費カロリー($\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$)との関係から、“みかけの効率”を求めた。(本稿ではこのようにして求めた効率を「みかけの効率」と名付けた)。

1. 昇降の高さとテンポ

エネルギー消費カロリー($\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$)はいずれの昇降テンポにおいても仕事率の増加に正比例して高まった(表2~4)。同一仕事率に対する消費カロリーは昇降テンポ(回・分⁻¹)が速くなるにつれて高くなった。例えば大学生の $40W\cdot\text{min}^{-1}$ の仕事率の消費カロリーはテンポが15回・分⁻¹、22.5回・分⁻¹、30回・分⁻¹の時、それぞれ $5.77\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $6.05\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $7.10\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ 、さらに同じ仕事率に対する同昇降テンポでのエネルギー消費カロリーは大学生が最も高く、次に中高年(男)となり、中高年(女)が最も低かった。例えば、仕事率が $40W\cdot\text{min}^{-1}$ で昇降テンポが15回・分⁻¹の時、大学生が $5.77\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ 、中高年(男)が $5.58\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ 、中高年(女)が $4.97\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ となった。みかけの効率は、全被験者が昇降の高さが高くなるにつれて、また昇降テンポが速くなるにつれて、高くなる傾向を示した。みかけの効率が最も高かったのは大学生がテンポ22.5回・分⁻¹、高さ40cmの $13.2\pm 1.2\%$ であり、中高年(男)がテ

表2 大学生(男子)の各種踏み台昇降時の仕事率と生理学的応答

昇降テンポ (回・分 ⁻¹)	踏み台の 高さ (cm)	仕事率 ($W\cdot\text{min}^{-1}$)	エネルギー 消費カロリー ($\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$)	仕事率から推測される 必要消費カロリー ($\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$)	みかけの効率 (%)	心拍数 ($\text{beats}\cdot\text{min}^{-1}$)
15	10	15.6 ± 2.0	4.01 ± 0.78	0.224 ± 0.029	5.6 ± 0.6	88.1 ± 11.5
	20	31.2 ± 4.1	5.07 ± 0.81	0.447 ± 0.059	8.9 ± 0.7	99.0 ± 12.4
	30	46.8 ± 6.1	6.17 ± 0.90	0.671 ± 0.088	10.9 ± 0.7	106.4 ± 11.7
	40	62.5 ± 8.2	7.49 ± 1.17	0.895 ± 0.118	12.0 ± 0.8	117.1 ± 15.3
22.5	10	23.4 ± 3.1	4.94 ± 0.91	0.336 ± 0.044	6.9 ± 0.7	102.9 ± 12.7
	20	46.8 ± 6.1	6.37 ± 1.23	0.671 ± 0.088	10.7 ± 1.2	112.9 ± 13.6
	30	70.2 ± 9.2	8.34 ± 1.33	1.008 ± 0.132	12.1 ± 0.8	125.3 ± 13.3
	40	93.7 ± 12.3	10.06 ± 1.65	1.343 ± 0.176	13.2 ± 1.2	124.3 ± 13.2
30	10	31.2 ± 4.1	6.36 ± 1.35	0.447 ± 0.059	7.2 ± 0.9	120.1 ± 17.2
	20	62.5 ± 8.2	8.98 ± 1.81	0.895 ± 0.117	10.0 ± 0.8	136.7 ± 20.8
	30	93.7 ± 12.3	11.23 ± 2.21	1.343 ± 0.176	12.1 ± 0.9	153.4 ± 20.8
	40	124.9 ± 16.4	13.33 ± 2.22	1.786 ± 0.235	13.5 ± 0.8	167.7 ± 19.1

表3 中高年者(男子)の各種踏み台昇降時の仕事率と生理学的応答

昇降テンポ (回・分 ⁻¹)	踏み台の 高さ (cm)	仕事率 (W・min ⁻¹)	エネルギー 消費カロリー (kcal・min ⁻¹)	仕事率から推測される 必要消費カロリー (kcal・min ⁻¹)	みかけの効率 (%)	心拍数 (beats・min ⁻¹)
15	10	16.2±1.9	3.82±0.19	0.232±0.270	6.0±0.5	85.8±11.6
	20	32.4±3.7	4.91±0.39	0.464±0.053	9.4±0.7	97.6±10.8
	30	48.6±5.6	6.22±0.29	0.696±0.08	11.2±1.2	113.6±10.2
	40	64.8±7.4	7.53±0.42	0.929±0.106	12.4±1.2	130.4±13.4
22.5	10	24.3±2.7	5.21±0.36	0.349±0.039	6.7±0.5	110.4±12.9
	20	48.6±5.5	6.73±0.44	0.697±0.078	10.4±0.9	125.0±12.5
	30	73.0±8.2	8.37±0.63	1.045±0.117	12.5±0.9	143.2±13.5
	40	98.4±12.3	9.42±1.13	1.408±0.176	15.0±1.2	161.3±16.5
30	10	32.4±3.7	6.80±0.75	0.464±0.053	6.9±0.5	136.8±15.4
	20	63.8±5.4	8.53±0.87	0.932±0.083	10.7±0.6	152.6±10.8
	30	91.7±4.4	10.09±0.89	1.312±0.062	13.0±1.2	168.8±8.7
	40	-	-	-	-	-

表4 中高年者(女子)の各種踏み台昇降時の仕事率と生理学的応答

昇降テンポ (回・分 ⁻¹)	踏み台の 高さ (cm)	仕事率 (W・min ⁻¹)	エネルギー 消費カロリー (kcal・min ⁻¹)	仕事率から推測される 必要消費カロリー (kcal・min ⁻¹)	みかけの効率 (%)	心拍数 (beats・min ⁻¹)
15	10	13.1±2.9	3.45±1.22	0.188±0.041	5.6±0.7	91.0±5.3
	20	26.3±5.8	4.20±1.16	0.377±0.083	10.2±0.9	91.0±5.3
	30	39.4±8.7	5.15±1.41	0.565±0.124	11.1±0.9	116.8±11.0
	40	52.6±11.6	6.20±1.72	0.752±0.165	12.3±1.3	140.4±18.5
22.5	10	19.7±4.3	4.36±1.14	0.284±0.061	6.5±0.7	113.0±10.1
	20	39.4±8.7	5.60±1.40	0.565±0.124	10.2±0.9	132.9±11.3
	30	59.2±13.0	6.93±1.68	0.848±0.184	12.3±0.9	148.8±10.4
	40	72.8±3.6	7.24±0.85	1.041±0.051	14.4±0.9	163.0±16.5
30	10	26.3±5.8	5.54±1.21	0.377±0.083	6.8±0.5	138.4±12.8
	20	52.6±11.6	7.11±1.48	0.761±0.160	10.7±0.6	151.8±10.6
	30	71.3±4.2	7.79±0.66	1.083±0.040	14.0±1.1	163.0±9.6
	40	-	-	-	-	-

ンポ22.5回・分⁻¹, 高さ30cmの12.5±0.9%, そして中高年(女)がテンポ22.5回・分⁻¹, 高さ30cmの12.3±0.9%であった。同一仕事率に対するみかけの効率は, 中高年(女)はテンポが遅く(15回・分⁻¹), 昇降の高さが低い(10cmと20cm)場合には大学生や中高年(男)よりも高い値を示したが, テンポが速く(30回・分⁻¹), 昇降の高さが高く(30cmと40cm)なるにつれて, 大学生や中高年(男)が中高年(女)よりも高くなる傾向を示した。

心拍数ではいずれのテンポ, 高さにおいても大学生が中高年(男・女)に比べ10~30拍・分⁻¹低かった。

2. 昇降の高さと荷物の重さ

昇降運動のテンポを22.5回・分⁻¹に固定し, 大学生は10kg, 20kg, 30kgのそれぞれの荷物をルツ

クザックに入れそれを背中に背負い, 昇降の高さを10, 20, 30, 40cmと順次変えながら連続的に昇降運動を行なった。その結果, 仕事率の高まりにほぼ正比例して消費カロリーが増加した(表5)。同一仕事率では荷物の重い方がより高い消費カロリーを示した。心拍数においても同様に仕事率の増加に正比例して心拍数が高まり, 同一仕事率に対して荷物が重くなるにつれて高い心拍数を示した。

中高年(男・女)は昇降テンポを22.5回・分⁻¹とし, 重さ10kgのルツザックを背負い, 昇降の高さを10, 20, 30, 40cmと3分おきに1分間の休息をはさみながら, 連続的に昇降運動を行なった。その結果大学生と同様な傾向が中高年者(男・女)にも認められた(表6, 7)。

表5 大学生(男子)の一定の昇降テンポ(22.5回・分⁻¹)を維持し、背負う荷物の重さと昇降の高さを変えた時の仕事率と生理学的応答

荷物の重さ (kg)	踏み台の高さ (cm)	仕事率 (W・min ⁻¹)	エネルギー消費カロリー (kcal・min ⁻¹)	仕事率から推測される必要消費カロリー (kcal・min ⁻¹)	みかけの効率 (%)	心拍数 (beats・min ⁻¹)
10kg	10	27.1±3.0	5.53±0.83	0.388±0.043	7.1±0.5	95.1±8.7
	20	54.2±6.1	7.00±1.12	0.776±0.087	11.2±0.8	111.1±12.6
	30	81.3±9.1	8.97±1.42	1.165±0.130	13.1±0.9	131.3±14.5
	40	108.3±12.1	10.97±1.83	1.552±0.174	14.3±1.0	152.6±16.1
20kg	10	30.8±3.0	5.97±0.87	0.441±0.044	7.4±0.4	120.6±14.7
	20	61.5±6.1	7.87±1.21	0.882±0.087	11.3±0.7	137.9±15.4
	30	92.3±9.1	10.06±1.50	1.323±0.131	13.2±0.8	156.9±12.9
	40	123.1±12.2	12.45±1.73	1.760±0.174	14.2±0.8	176.9±10.4
30kg	10	34.4±3.3	7.05±0.83	0.492±0.048	7.0±0.4	143.0±5.8
	20	68.7±6.7	9.17±1.01	0.985±0.096	10.8±0.5	160.3±7.7
	30	103.1±10.0	11.79±1.31	1.474±0.143	12.5±0.6	176.3±5.4
	40	147.7±10.0	14.96±1.71	2.113±0.143	14.2±0.9	184.7±2.5

表6 中高年者(男子)の一定の昇降テンポ(22.5回・分⁻¹)を維持し、背負う荷物の重さと昇降の高さを変えた時の仕事率と生理学的応答

荷物の重さ (kg)	踏み台の高さ (cm)	仕事率 (W・min ⁻¹)	エネルギー消費カロリー (kcal・min ⁻¹)	仕事率から推測される必要消費カロリー (kcal・min ⁻¹)	みかけの効率 (%)	心拍数 (beats・min ⁻¹)
10kg	10	28.0±2.8	5.89±0.38	0.401±0.039	6.8±0.6	136.8±13.2
	20	56.0±5.5	7.64±0.63	0.800±0.079	10.5±0.7	155.6±12.8
	30	83.9±8.3	9.30±0.92	1.200±0.119	12.9±1.1	170.8±11.6

表7 中高年者(女子)の一定の昇降テンポ(22.5回・分⁻¹)を維持し、背負う荷物の重さと昇降の高さを変えた時の仕事率と生理学的応答

荷物の重さ (kg)	踏み台の高さ (cm)	仕事率 (W・min ⁻¹)	エネルギー消費カロリー (kcal・min ⁻¹)	仕事率から推測される必要消費カロリー (kcal・min ⁻¹)	みかけの効率 (%)	心拍数 (beats・min ⁻¹)
10kg	10	23.4±4.4	5.01±1.03	0.335±0.062	6.7±0.5	133.2±12.6
	20	46.8±8.7	6.50±1.31	0.667±0.125	10.3±0.6	149.6±10.5
	30	70.1±13.1	7.58±1.43	1.003±0.187	13.2±0.4	161.8±12.7

しかし、同一仕事率に対する中高年(男・女)の消費カロリーはすべての踏み台の高さにおいて大学生よりも高く、みかけ効率は低くなった。また同一仕事率に対する心拍数は中高年(男・女)が大学生に比べ10~15拍・分⁻¹高い傾向を示した。

3. 仕事率に対するエネルギー消費量

(1) 踏み台昇降運動中のテンポの相違にみられる1分間の仕事率(X; W・min⁻¹)に対するエネルギー消費量(Y₁; kcal・min⁻¹)と心拍数(Y₂; 拍・分⁻¹)に次のような有意な(p<0.001)直線関係式が得られた。

ア 大学生(7人) (図1)

テンポ15回・分⁻¹ Y₁=0.074X+2.804

Y₂=0.604X+79.1

テンポ22.5回・分⁻¹ Y₁=0.074X+3.090

Y₂=0.327X+97.2

テンポ30回・分⁻¹ Y₁=0.078X+3.980

Y₂=0.533X+103.4

イ 中高年男子(5人)

テンポ15回・分⁻¹ Y₁=0.077X+2.514

Y₂=0.999X+67.4

テンポ22.5回・分⁻¹ Y₁=0.065X+3.605

Y₂=0.674X+93.4

テンポ30回・分⁻¹ Y₁=0.055X+5.019

Y₂=0.503X+120.5

ウ 中高齢女子(5人)

テンポ15回・分⁻¹ $Y_1=0.057X+2.710$

$Y_2=1.350X+65.4$

テンポ22.5回・分⁻¹ $Y_1=0.063X+3.124$

$Y_2=0.958X+94.1$

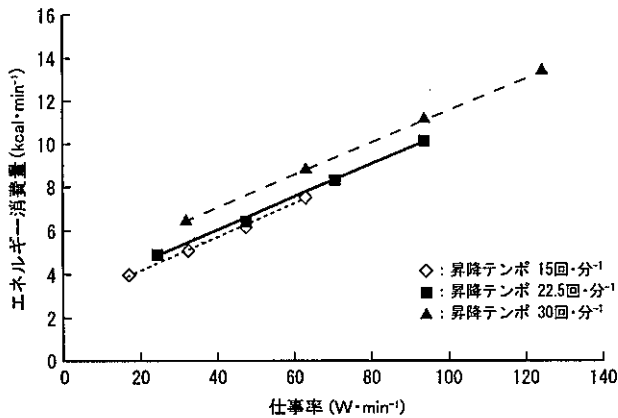


図1 大学生の荷物無しの際の仕事率とエネルギー消費量との関係

ただし,

昇降テンポ15回・分⁻¹時のエネルギー消費量
 $=0.0738$ 仕事率($W \cdot \text{min}^{-1}$) $+2.8035$

昇降テンポ22.5回・分⁻¹時のエネルギー消費量
 $=0.074$ 仕事率($W \cdot \text{min}^{-1}$) $+3.0986$

昇降テンポ30回・分⁻¹時のエネルギー消費量
 $=0.0742$ 仕事率($W \cdot \text{min}^{-1}$) $+4.1848$

(2) 踏み台昇降運動中, 昇降テンポ(22.5回・分⁻¹)を一定にし, 荷物の重さを変えた場合の1分間の仕事率($X; W \cdot \text{min}^{-1}$)に対するエネルギー消費量($Y_1; \text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$)と心拍数($Y_2; \text{拍} \cdot \text{分}^{-1}$)に次のような有意な直線関係式が得られた。

ア 大学生(7人)(図2)

10kg $Y_1=0.068X+3.542$

$Y_2=0.711X+74.4$

20kg $Y_1=0.066X+3.877$

$Y_2=0.590X+102.2$

30kg $Y_1=0.062X+4.935$

$Y_2=0.503X+125.7$

イ 中高齢男子(5人)

10kg $Y_1=0.061X+4.196$

$Y_2=0.608X+120.4$

ウ 中高齢女子(5人)

10kg $Y_1=0.056X+3.763$

$Y_2=0.613X+119.6$

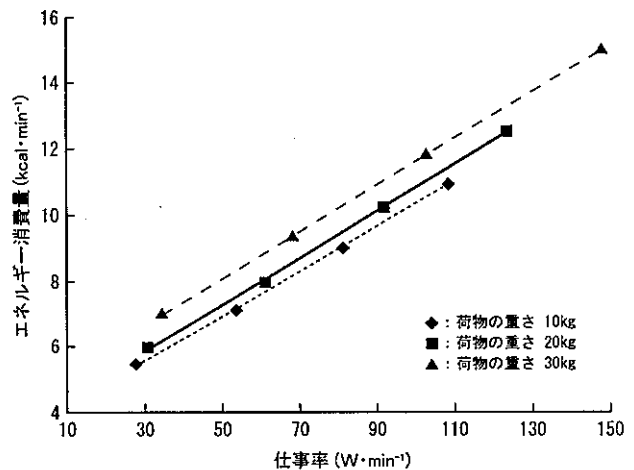


図2 大学生の荷物有りの際の仕事率とエネルギー消費量との関係

ただし,

荷物の重さが10kgの時のエネルギー消費量
 $=0.0676$ 仕事率($W \cdot \text{min}^{-1}$) $+3.5418$

荷物の重さが20kgの時のエネルギー消費量
 $=0.0703$ 仕事率($W \cdot \text{min}^{-1}$) $+3.6798$

荷物の重さが30kgの時のエネルギー消費量
 $=0.0705$ 仕事率($W \cdot \text{min}^{-1}$) $+4.5077$

4. peakVO₂max, peakHRmax及び乳酸性作業閾値(OBLA)

全被験者の荷物無し, 有りごとのピークのVO₂とHRをpeakVO₂maxとpeakHRmaxとした。さらに, 血中乳酸が4 mmol・L⁻¹になる点を作図法で求め, その点を乳酸性作業閾値(OBLA)とした。その結果表8のようになった。荷物無しの踏み台昇降運動中, 大学生YHを除く全被験者にOBLAが発現した。

3. 登山医学・生理学・トレーニング科学に関する調査研究

表8 踏み台昇降運動にみられるpeakVO₂max, peakHRmax及び乳酸性作業閾値(OBLA)

subjects		peakVO ₂ max		peakHRmax		OBLA(%VO ₂ max)		(%HRmax)	
		無し	有り	無し	有り	無し	有り	無し	有り
学生 (男子)	YH	43.2	42.2	151	180	-	90.5	97.3	89.4
	KK	45.6	44.5	185	182	95.6	94.4	94.9	94
	KM	40.6	40.3	156	185	92.6	85.6	69.7	87.6
	IT	44.8	39.1	195	198	58.5	71.9	96.5	79.3
	NK	43.1	39.4	143	173	93.1	86.8	95.8	85.6
	IK	40.8	42.1	166	185	95.1	75.8	96.1	77.8
	HG	47.1	46.5	178	187	95.8	80.4	91.7	89.8
	$\bar{X} \pm SD$	43.6 ± 2.4	42.0 ± 2.7	167.7 ± 19.1	184.3 ± 7.6	88.5 ± 14.7	83.6 ± 8.0	91.7 ± 9.9	86.2 ± 5.8
中高年者 (男子)	MI	31.3	29.1	175	172	86.9	78.4	82.9	91.9
	MK	33.9	33.1	169	174	87	63.4	91.1	85.1
	YM	30.6	26.8	175	181	70.3	56.7	90.3	81.8
	OS	34.4	31.2	154	151	87.2	92.9	93.5	87.4
	OSi	29.7	27.2	171	176	73.4	48.5	80.1	75.6
	$\bar{X} \pm SD$	32.0 ± 2.1	29.5 ± 2.7	168.8 ± 8.7	170.8 ± 11.6	81.0 ± 8.4	67.9 ± 17.7	87.5 ± 5.8	84.4 ± 6.1
中高年者 (女子)	OU	34.8	36.3	163	159	73.3	71.9	85.9	89.9
	FS	26.9	28.1	158	171	84	67.6	94.9	80.1
	KK	31.4	29.7	176	178	72.9	54.9	92.6	75.8
	MH	33.3	30.2	160	158	93.4	92.1	93.1	96.2
	MM	30.4	29.4	153	156	94.4	79.6	94.1	85.3
	$\bar{X} \pm SD$	31.4 ± 3.0	30.7 ± 3.2	162.0 ± 8.6	164.4 ± 9.6	83.6 ± 10.4	73.2 ± 13.8	92.1 ± 3.6	85.5 ± 8.0

IV. 考察

1. 昇降運動のエネルギー消費量

Nagleら(1965)は高さを自由に換えられる独自の踏み台(Exer-Stepper)を作成し、1分間に24回と30回のステップで高さを2~4cm刻みに40cmまで変え、昇降運動中のエネルギー消費量(VO₂: ml·kg⁻¹·min⁻¹)を測定した。その資料を基に、昇降運動中の全酸素摂取量(Total VO₂)が次の式、すなわち、

$$\begin{aligned} \text{全酸素摂取量} = & \text{立位姿勢でのエネルギー消費量} \\ & (\text{VO}_2) + 1.33 \times \text{水平方向への移動} \\ & \text{に要するエネルギー量} (\text{VO}_2) \\ & + 2.4 \times \text{垂直方向への移動に要} \\ & \text{するエネルギー量} (\text{VO}_2) \end{aligned}$$

から求められるとした。例えば、立位姿勢のエネルギー消費量が4.0ml·kg⁻¹·min⁻¹、歩行に要するエネルギー消費量を8.5ml·kg⁻¹·min⁻¹、昇降回数が30回·分⁻¹、ステップの高さが0.2mと仮定すると、全酸素摂取量は

$$\begin{aligned} \text{全酸素摂取量} (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) \\ = & 4.0 + 1.33 \times (8.5 - 4.0) + 2.4 \times 30 \times 0.2 \\ = & 24.4 \text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \end{aligned}$$

となる。さらに1回のステップに要するエネルギー消費量(VO₂)は体重が70kgと仮定すると、0.274kcal·step⁻¹となる。これは本研究の同じ昇降条件での学生や中高年(男子)の1回の昇降に要するエネルギー消費量である0.300kcal·step⁻¹や0.283kcal·step⁻¹に比べて若干低く、中高年(女子)の

表9 階段昇降に見られるエネルギー消費カロリー量

Authors(yr)	Subjects				Stepping Mode		Energy Cost		
	n	sex	Age(yrs)	Weight(kg)	Step Height (cm)	Step Tempo (steps · min ⁻¹)	Climbing up and down one step (kcal · step ⁻¹)	Stepping up (kcal · step ⁻¹)	Stepping down (kcal · step ⁻¹)
SchneiderとKarpovich(1948)							0.35		
Nagle et.al(1965)					20.3			0.160	
Paffenbarger et.al(1983)						70	0.4	0.30	0.10
Paffenbarger et.al(1986)					20.3		0.4		
Lee et.al(1995)					20.3		0.4		
Bassett et.al(1997)	10	M	26±6		20.3	70	0.21	0.156±0.017	0.053±0.008
	8	F	24±4		20.3	70		0.130±0.015	0.041±0.003
TahとAziz(2002)	56	M	44.8±13.9		15	99, 103	0.162	0.112	0.050
	47	F	43.2±12.9		15	90, 110	0.138	0.094	0.044
Present study(2004)	7	M	21.9±1.5	62.6±6.2	10, 20, 30, 40	60, 90, 120	0.300	0.225	0.075*
	5	M	65±6	66.1±7.5	10, 20, 30, 40	60, 90, 120	0.283	0.212	0.071*
	5	F	59.8±7.4	53.6±11.8	10, 20, 30, 40	60, 90, 120	0.213	0.160	0.053*

ただし * 推定値

0.213kcal · step⁻¹より高い値となった。仮に体重を80kgと仮定すると0.314kcal · step⁻¹となり、逆に本研究のどのエネルギー消費量より高くなる。これまで多くの研究者によって1回の階段や踏み台の昇降に要するエネルギー消費量(kcal · step⁻¹)が報告されている(表9)。ほぼ同じ高さ(20cm~20.3cm)で比較すると、1回の昇降に要するエネルギー消費量には0.21~0.4kcal · step⁻¹と幅がある。これは、階段あるいは段階式トレッドミル(mortorized escalatorあるいはStrair Master)を用いて、上りと下りを連続的に昇降し、その全酸素摂取量から1回の昇降に要するエネルギー消費量を算出したことに原因すると考えられる。また、Nagleら(1965)の報告から、1分間の昇降回数24回と30回から推定される1回の昇降に要するエネルギー消費量は、前者0.275kcal · step⁻¹に対して後者が0.469kcal · step⁻¹と著しく異なっている。

この傾向は本研究でも同様の傾向を示している。踏み台の昇降運動量に対するエネルギー消費量は、そこで成された仕事率が運動に要したエネルギー量と正比例することから、体重の重さや背負う荷物の重さを考慮したエネルギー消費量、すなわち、仕事率(ワット; W)当りのエネルギー消費率(kcal · W⁻¹ · step⁻¹)として表示する方が実際の運動に要したエネルギー消費量をより正確にみることが出来る。例えば本研究の大学生、中高年(男・女)の1回の昇降に要するエネルギー消費量はそれぞれ0.300, 0.283, 0.213kcal · step⁻¹であったが、これを1W当りにするとそれぞれ0.0048, 0.0047, 0.0040kcal · W⁻¹ · step⁻¹となる。したがって、1W当りで比較すると学生と中高年(男)との間に差がほとんどなくなる。しかし、大学生や中高年(男)と中高年(女)の間にはなお約0.0007kcal · W⁻¹ · step⁻¹(約15%)の差が残る。Bassettら

3. 登山医学・生理学・トレーニング科学に関する調査研究

(1997)やTehとAziz(2002)も階段昇降時のエネルギー消費量($\text{kcal} \cdot \text{step}^{-1}$)に男女の差が15~19%あることを認めていることから、本研究とほぼ一致している。したがって、昇降運動中の酸素摂取量から推定されたエネルギー消費量からみる限り年齢による差はほとんどないが、性差による違いは約15%あるといえる。その一方で、Kangら(2002)は若者を対象にしたトレッドミルの傾斜歩行中の男女の比較では、女子の方がむしろエネルギー消費量が大きいと報告している。そして、その原因に男女の体の大きさと体組成の違いを挙げている。男女の差に関する原因についてはさらに検討が必要であろう。

2. 昇降テンポ(回・分⁻¹)と仕事率($\text{W} \cdot \text{min}^{-1}$)からみたエネルギー消費量

本研究では大学生及び中高年(男・女)の仕事率($\text{W} \cdot \text{min}^{-1}$)に対する1分間のエネルギー消費量($\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$)は昇降テンポが速くなるにつれて高くなる傾向を示した。例えば、学生の仕事率が $40\text{W} \cdot \text{min}^{-1}$ の時、昇降テンポが15回・分⁻¹、22.5回・分⁻¹、30回・分⁻¹では、エネルギー消費量はそれぞれ5.78、6.05、7.10 $\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$ となり、 $30\text{回} \cdot \text{分}^{-1} > 22.5\text{回} \cdot \text{分}^{-1} > 15\text{回} \cdot \text{分}^{-1}$ となった。これまでの昇降のテンポと高さを変えて求めたエネルギー消費量はわずかNagleら(1965)の報告に認められるが、同一被験者を対象としたものではない。

また、いずれの被験者も仕事率が増すにつれエネルギー消費量($\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$)がほぼ直線的に増加した。同じ昇降条件における仕事率に対するエネルギー消費量は学生 $0.151\text{kcal} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 、中高年(男) $0.155\text{kcal} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 、中高年(女) $0.141\text{kcal} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ となり、年齢よりも男女の違いによってより大きな差がでることが明らかとなっ

た。この傾向は先にBassettら(1997)が、階段の上り及び下りの1分間のエネルギー消費量($\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$)と1回の上りと下りに要するエネルギー消費量($\text{kcal} \cdot \text{step}^{-1}$)に男女に有意な差を認めたことと、ほぼ一致した。この男女の差異のメカニズムについてはさらに検討が必要である。

3. 荷物を背負った時のエネルギー消費量

本研究では登山を想定して、大学生はリュックザックに10kg、20kg、30kgの荷物を、また中高年(男・女)は10kgの荷物を背負って、階段昇降運動を行なった。荷物を背負った時のエネルギー消費量は背負わなかった場合に比較して高くなった。例えば、荷物を背負った時の $40\text{W} \cdot \text{min}^{-1}$ の仕事率中のエネルギー消費量は背負わなかった時に比べ $0.4 \sim 0.5\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$ 高い。したがって、みかけの効率が負荷を背負うことによって低下したといえる。

本研究では、学生と中高年(男・女)の同一の仕事率($40\text{W} \cdot \text{min}^{-1}$)に対するエネルギー消費量は学生が $6.24\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$ に対し、中高年(男)が $6.63\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$ 、中高年(女)が $5.99\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$ となった。これは、各研究者の荷物を持たなかった時の $6.05\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$ (大学生)、 $6.20\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$ (中高年・男)、 $5.63\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$ (中高年・女)に比べ、学生1の高まりに対して中高年(男・女)は2の高まりが生じたことになる。さらに心拍数を荷物有り(その時の昇降条件は同じ)と比較すると、 $40\text{W} \cdot \text{min}^{-1}$ の仕事率の時大学生が110と102拍・分⁻¹、中高年(男)が145と120拍・分⁻¹、中高年(女)が144と132拍・分⁻¹となり、大学生の上げ幅が最も小さく、中高年(男)の上げ幅が最も大きかった。さらに、本研究の $\text{peakHR}_{\text{max}}$ に対する割合($\text{peak}\% \text{HR}_{\text{max}}$)で比較すると、荷物有り(その時の昇降条件は同じ)と無しの大学生では59.7%と61.2%、中高年男子で

は84.9%と71.1%, 中高年女子では87.6%と81.5%と中高年者の相対的負荷強度は大学生に比べて高く, 特に荷物あり, なしの差(peak%HRmax)は大学生が1.5%に対して, 中高年男子が13.8%, 女子が6.1%と荷物の影響が大きくなった。この荷物を持った時の中高年者(男・女)のエネルギー消費量や心拍数の高まりが何に大きく影響を受けるのかさらに検討が必要であろう。

4. 至適な登山時の強度

これまで多くの研究者によって, 登山中の至適な強度が報告されている(Cymermanら, 1981; Nagら, 1978; Nayar, 1981, 山地ら, 2004A; 2004B)。例えばNayar(1981)はインドの軍人やシェルパーを対象にし標高が3,000mを越えない場合には, $5 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}$ が至適な強度とみなした。一方Cymermanら(1981)は VO_2 が2.1L(約50% VO_2max)を越えないことが, またÅstrandとRodahl(1970)は血中乳酸が乳酸性作業閾値を超えない強度(約50% VO_2max)が望ましいとした。またNagら(1978)は3,660mの高地民族を対象に, 長期の山行を行う場合, 25~30kg荷物を背負い時速3.0~3.5kmの速度で歩いた時には, VO_2max の30~40%($9.4 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}$)が至適な強度とみなした。さらに山地ら(2004A)は, 階段式トレッドミルを用いて垂直方向に200m登るごとに標高に合わせて気圧を下げながら, 10kgのリュックザックを背負い標高1,500mから3,400mまでを, 2日間(初日標高900m, 2日目標高1,000m登る)任意の速度で, 30分ごとに5分間の休息を繰り返しながら登る実験を行った。その結果標高1,500mから登り始めた時の VO_2 とHRは $31.4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (59.1% VO_2max)と151拍・分⁻¹(83.2%HRmax)であった。この実験では任意の速度(約垂直方向へ $11.4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$)で階段を登り始めたが, 終盤の

3,400m近くでは若干速度(約垂直方向へ $11.1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$)が低下したにもかかわらず, VO_2 とHRはそれぞれ $34.2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (72.9% VO_2max)と171拍・分⁻¹(94.9%HRmax)に増加した。この実験の被験者はこの2日間に体重が2.9kg減少したことから, 登山の負荷強度は強すぎたとみなした。Balke(1960)やPughら(1964)の古典的研究が示すように, 仕事率が一定の場合, VO_2 は標高に関係なく一定である。その一方で VO_2max は標高が高くなるにつれ指数関数的に低下する(Pughら, 1964; 山地と北村, 1988)。したがって, 至適な相対的負荷強度を維持するためには, 登山中の歩行速度を標高に合わせて調整することが必要である。

Ibanezら(1993)や山地ら(2004A; 2004B)は登山が長時間にわたる運動であることから, 至適な強度はOBLA(血中乳酸が $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)以下の強度でなければならないことを指摘し, また小林(1991)は自らの経験を通して中高年者の登山では80%HRmaxを超えるべきではないとしている。本研究の踏み台昇降運動では乳酸性作業閾値(OBLA)に2つの特徴的な傾向が認められた。第1点は, 大学生では荷物無しの場合7人中6人にOBLAが発現し, 6人のOBLAは平均88.5%peak VO_2max であった。同じく6人の荷物有りの場合は82.5%peak VO_2max とその差は6.0%peak VO_2max であったのに対し, 中高年男・女では荷物有りとなしとの差はそれぞれ13.1%, 10.4%と大きいことである。第2点は, 荷物無しに比べて荷物有りの時の個人差が大きくなることである。例えば, 中高年(男)では荷物無しでは70.3~87.2%peak VO_2max に対し, 荷物有りでは48.5~92.9%peak VO_2max , 中高年(女)では荷物無し72.9~94.4%peak VO_2max , 荷物有り54.9~92.1%

3. 登山医学・生理学・トレーニング科学に関する調査研究

peakVO₂maxとなる。本研究の被験者は同じ登山クラブに所属し、山行はグループで行動する場合が多い。その場合には、絶対的負荷強度がほぼ等しくなり、体力に応じた相対的負荷強度は考慮されない。今後は、体力に応じた相対的負荷強度がより重視されるような山行計画が求められなければならない。

V. 要約

本研究は5cmごとに最高40cmまで変えられる可変高性の踏み台昇降運動用の台を用いて昇降の速度(15回・分⁻¹, 22.5回・分⁻¹, 30回・分⁻¹), 昇降の高さ(10, 20, 30, 40cm)及び荷物の重さ(10kg, 20kg, 30kg)などの昇降条件を変えることによる、踏み台昇降運動時の仕事率, エネルギー消費量, 及び心拍数等の生理的応答を明らかにし、体力に応じた登山中の至適な運動強度を探ることを目的とした。その結果, 次のような知見が得られた。

1. エネルギー消費カロリー(kcal・min⁻¹)及び心拍数はいずれの昇降テンポにおいても仕事率の増加に正比例して高まり, さらに同一仕事率に対する消費カロリーは昇降テンポ(回・分⁻¹)が速くなるにつれて高くなる傾向を示した。さらに同じ仕事率に対する同じ昇降テンポでのエネルギー消費カロリーは大学生が最も高く, 次に中年(男)となり, 中年(女)が最も低く, 年齢よりも男女の違いによって大きな差がでることが明らかとなった。

2. 踏み台昇降運動中, 昇降のテンポと高さに比例して, エネルギー消費量が高まった。

仮に, 昇降テンポが15回・分⁻¹の時, 同じ40W・min⁻¹の仕事率では大学生が5.77kcal・min⁻¹, 中年(男)が5.58kcal・min⁻¹, 中年(女)が4.97kcal・min⁻¹となった。

さらに, 1回の昇降に要するエネルギー消費量は大学生が0.300kcal・step⁻¹, に対し, 中年男・女はそれぞれ0.283kcal・step⁻¹と0.213kcal・step⁻¹となった。また1W当たりではそれぞれ0.0048, 0.0047, 0.0040kcal・W⁻¹・step⁻¹となった。

3. みかけ効率は大学生がテンポ22.5回・分⁻¹で高さが40cmのときの13.2±1.2%, 中年者(男・女)がテンポ22.5回・分⁻¹で高さが30cmの時12.5±0.9%と12.3±0.9%であった。

4. 同じ昇降のテンポ, 高さにおける心拍数は大学生が中年(男・女)に比べ10~30拍・分⁻¹低かった。

5. 荷物を背負っての昇降運動においても仕事率の高まりにほぼ正比例して消費カロリーが増加した。同様な傾向が中年(男・女)にも見られたが, 大学生に比較して, いずれの高さにおいても同一仕事率に対する中年(男・女)の消費カロリーは高く, 逆にみかけの効率は低くなった。また同一仕事率に対する心拍数は中年(男・女)が大学生に比べ10~15拍・分⁻¹, 高い傾向を示した。

6. 乳酸性作業閾値(OBLA)には2つの特徴が認められた。1つには, 個人差が大きいことである。特に, 中年男・女では同じ登山クラブに所属し, 山行を共にする場合が多いにも関わらずOBLAに荷物無しの時, 中年(男)が16.9% peakVO₂max, (女)が21.1% peakVO₂maxの個人差があった。さらに, 荷物有りではその差はさらに広がり(男)が36.2% peakVO₂max, (女)が37.2% peakVO₂maxとなった。2つ目は, 荷物有り無しによって, 大学生では平均6.0% peakVO₂maxの差に対し, 中年男・女ではそれぞれ13.1%と10.4% peakVO₂maxと大

きくなった。

以上のことから踏み台昇降運動の様々な昇降の高さ、テンポ、負荷に対する生理学的応答から推測できることは、登山中の強度は乳酸性作業閾値を超えないことであるが、中高年者は体力的に個人差が大きいので、個人差を考慮した山行計画を作成することが必要である。理想は体力的にほぼ同じグループでの山行が望まれるが、それがかなわない時は、荷物の配分法を工夫したり、体力的に劣るもののペースで登るなどの配慮が望まれる。

<謝辞>

本研究を進めるにあたり、多大なご指導、ご協力をいただきました富山県総合体育センター井口文雄専門職員及び職員の皆様、また、被験者、実験補助としてご協力いただいた方々に深く感謝の意を表します。

VI. 引用文献

- 1) Andriacchi.T.P., Andersson.G.B.J., Fermier,R.W., Sterm.D. and Galante. J.O. :A study of lower-limb mechanics during stair-climbing. *J. Bone Joint Sur.* 62-A: 749-757, 1980.
- 2) Åstrand, P.-O.and Rodahl, K.:Textbook of Work Physiology. NewYork: McGraw, 1970. pp.277-318.
- 3) Bailey.D.A., Shephard.R.J. and Mirwald. R.L.:Validation of a self-administered home test of cardio respiratory fitness. *Can.J.Appl. Sports Sci.* 1:67-78. 1976.
- 4) Balke,B.:Work capacity at altitude. In: Science and Medicine of Exercise and Sports,

edited by W.R.Johnson. New York:Harper, 1960, pp.339-437. Cited by Cymerman,A. et al(1981).

- 5) Ballor.D.L., Becque.M.D. and Katch.V.L. :Metabolic responses during hydraulic resistive simulated climbing. *Res.Quart. Exerc.Sport.* 59: 165-168, 1988.
- 6) Bassett.D.R., Vachon.J.A., KirklandA.O., Howley.E.T., Duncan.G.E. and Johnson.K.R. :Energy cost of stair climbing and descending on the college alumni questionnaire. *Med Sci Sports Exerc.* 29: 1250-1254, 1997.
- 7) Burtscher,M., Bacchmann,O., Hatzl,T., Hotter,B., Likar,R., Philadelphia,M. and Nachbauer,W.: Cardiopulmonary and metabolic responses in healthy elderly humans during a 1-week hiking program at high altitude. *Eur.J.Appl.Physiol.* 84: 379-386, 2001.
- 8) Burtscher,M., Philadelpy,M. and Likar,R. : Sudden cardiac death during mountain hiking and downhill skiing. *N.Engl.J.Med.* 329:1738-1739,1993.
- 9) Butts.N.K., Dodge.C. and McAlpine.M. : Effect of stepping rate on energy costs during Stair Master exercise. *Med.Sci.Sports Exerc.* 25: 378-382, 1993.
- 10) Cymerman,A., Young,A.J., Burse,R.L., Wrught,J.E. and Maher,J.T.: Self-paced exercise at high altitude. *Med.Sci.Sports Exercise.* 12: 106, 1981.
- 11) Elveback,L. and Lie,J.T.:Continued high incidence of coronary artery disease at autopsy in Olmstead County, Minnesota, 1950-1979.

3. 登山医学・生理学・トレーニング科学に関する調査研究

- Cir.70:345-349, 1984.
- 12) Honigman,B., Theis,M.K., Koziol-McLain,J., Roack,R., Yip,R., Houston,R.C. and Moore,L.G. :Acute mountain sickness in a general tourist population at moderate altitudes. *Ann. Intern. Med.* 118:587-592, 1993.
- 13) Howley.,E.T., Colacino.,D.L. and Swensen., T.C.:Factors affecting the oxygen cost of stepping on an electronic stepping ergometer. *Med.Sci.Sports Exerc.* 24:1055-1058, 1992.
- 14) Ibanez,J., Rama,R., Riera,M., Prats,M.T. and Palacios,L.:Severe hypoxia decrease oxygen uptake relative to intensity during submaximal graded exercise. *Eur.J.Appl. Physiol.*67:7-13, 1993.
- 15) Kang,J., Chaloupka,E.C., Mastrangelo,M.A., Hoffman,J.R.:Physiological and biomechanical analysis of treadmill walking up various gradients in men and women. *Eur.J.Appl. Physiol.* 86:503-508, 2002.
- 16) 小林太刀夫：高齢者登山について，*登山医学*，11:1-8, 1991.
- 17) Margaria.R., Aghems.P. and Rovelli.,E. :Measurement of muscular power(anaerobic) in man. *J.Appl.Physiol.*21:1662-1664, 1966.
- 18) Nag,P.K., Sen,R.N. and Ray,U.S. : Optimal rate of work for mountaineers. *J.Appl.Physiol. :Respirat.Environ. Exercise Physiol.* 44: 952-955, 1978.
- 19) Nagle.F.J., Balke.B. and Naughton.J.P. :Gradational step tests for assessing work capacity. *J.Appl.Physiol.*20:745-748, 1965.
- 20) Nayar,H.S.:Human working capacity and load carriage at varying altitudes. In:Human Adaptability to Environments and Physical Fitness, edited by M.S.Malhotra. New Delhi, India:Defence Inst.Physiol. Allied Sci., 1966. pp325-344. Cited by Cymerman,A. et al.(1981).
- 21) 小野寺孝一，森尾洋，山下裕一，山地啓司：階段を用いた運動プログラム作成のための基礎的研究，富山大学教育学部附属教育実践研究指導センター，*紀要第6号*:61-66, 1990.
- 22) 大道等：階段登り降りのバイオメカニクス，*J.J. Sports Sci.* 9:544-551, 1990.
- 23) Paffenbarger.,R.S., Wing.,A.L., Hyde.,R.T. and Jung.,D.L.:Physical activity and incidence of hypertension in college. *Am.J.Epidemiol.*117:245-257, 1983.
- 24) Pugh,L.G.C., Gill,M.B., Lahiri,S., Milledgi,J.S., Ward,M.P. and West,J.B.: Muscular exercise at great altitudes. *J.Appl.Physiol.* 19:431-440, 1964.
- 25) Teh.,K.C. and Aziz.,A.R.:Heart rate, oxygen, and energy cost of ascending and descending the stairs.:*Med.Sci.Sports Exerc.* 34:695-699, 2002.
- 26) Willford.,H.N., Richard.,L.A., Scharff-Olson.,M., Brown.,J., Blessing.,D. and Duey.,W.J: Bench stepping and running in women. *J.Sports Med.Physical Fitness.*38: 221-226, 1998.
- 27) 山地啓司，北村潔和：低酸素と最大酸素摂取量，富山大学教育学部紀要，*第36号*:29-42, 1988.
- 28) 山地啓司，梅野克身，北川鉄人：減圧環境下の階段式トレッドミル歩行にみられる生理学的応答，*北陸体育学会紀要*，*第40号*:1-8,

2004A.

- 29) 山地啓司, 仲村建一, 橋爪和夫, 堀田朋基, 布村忠弘, 北川鉄人: 立山登山が呼吸・循環機能や脚筋力・パワーに与える影響, 登山研修, 19:121-130, 2004B.
- 30) 山地啓司, 吉尾薫恵: 階段昇降運動の運動処方への応用: 富山大学教育学部附属教育実践研究指導センター, 紀要第3号:15-20. 1988.