

立山登山が呼吸・循環機能や脚筋力・パワーに与える影響

山地啓司, 仲村建一, 橋爪和夫, 堀田朋基, 布村忠弘 (富山大学教育学部)

北川鉄人 (北川内科クリニック)

I. 緒論

今日, 中高年者の高所でのスポーツ(スキー, ハイキング, 登山等)中の事故が後を絶たないことから, 登山中の運動強度, 気圧や温度・湿度等の環境条件等と疲労あるいは事故との関連性に関する研究の必要性が求められている(Burtscherら, 2001; Levineら, 1997)。わが国でも中高年者の登山中の事故が多発していることから, 事故防止のための基礎的研究が多く研究者によって報告されている。例えば, 長年の登山経験と医学的視点からの高齢者登山の安全に関する研究(小林, 1991), 至適なザックの重さやパッキングの方法を追求した研究(安保ら, 1998; 宮川ら, 1997), 体力や登山強度の相違からくる生理学的負荷強度に関する研究(福島ら, 1992; 小野寺ら, 1996; 堀井, 1992), 全国規模で行われた中高年登山者の実態調査(山本と山崎, 2000)等がある。さらに, 中高年者の登山中の至適な運動強度について, 血中乳酸濃度から評価した研究(福島ら, 1992), 中高年者登山ではRPEが16を越えるべきでないとの見解(宮下, 1989), 経験に基づいて最高心拍数の80%前後が上限とみなした見解(小林, 1991), ザックの重さは体重の10%以内が理想であるとする研究(安保ら, 1998)等がある。

山本と山崎(2000)が行った全国規模での中高年登山者の実態調査では, 中高年者の登山中に発生する身体的トラブルの多くが「筋肉痛」, 「下りで脚がガクガクになる」, 「膝関節痛」であり, それ

らは中高年者に起こり易い「下りでの転倒事故」の前駆症状である, とみなしている。また, 小野寺ら(1995)は標高差の大きい登り区間において, 膝関節伸展筋力の低い者ほどRPEに大きな変化があることを認めている。しかし, 登山による脚筋力の疲労に関する研究は見当たらない。また, 中高年者の登山中の事故原因には単に筋力の低下だけでなく, 複合的要因が十分考えられる。特に登山中の運動強度は荷物の重さや歩行速度だけでなく, 登山道の勾配や状態, 気圧・温度・湿度・風力等の気象条件等々で刻々変化する。その中で, 登山者の体力や体調によって個人が受ける生理学的強度も大きく変化してくる。それだけ, 登山中の事故防止のためには, 登山中の運動強度と対象者の体力や疲労等が総合的に検討されなければならない。

そこで本研究は中高年者と学生を対象に, 実験Ⅰでは10kgの荷物(ザック)を背負い, 異なった踏み台の高さとテンポでの昇降運動を1泊2日の立山登山(実験Ⅱ)前後に行い, 筋力・パワー及び呼吸・循環機能の疲労度を明らかにし, また実験Ⅱでは1泊2日の立山登山を実施し, 心拍数や主観的疲労度(POMS)から登山中の運動強度を明らかにすることによって, 登山事故防止に関する基礎的資料に資することを目的とした。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は、大学陸上部に所属している大学生(男性) 5名及び登山クラブに所属し定期的に登山を行っている中高年者(男性) 4名であった。学生3名は週3回～5回の陸上競技のトレーニングを実施していたが、残りの2名は陸上競技のトレーニングを7か月～10か月間中断している者であった。競技種目は短距離が2名、中長距離が3名であった。なお、被験者の身体的特徴は表1のごとくである。

表1 身体特徴

学生	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	体脂肪率(%)
A	21	164.7	59.6	10.1
B	21	168.0	52.4	11.2
C	23	168.7	65.1	25.9
D	24	172.0	57.6	11.6
E	23	181.8	78.3	13.8
平均値	22.4	171.0	62.6	14.52
SD	1.34	6.55	9.88	6.50

中高年者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	体脂肪率(%)
F	59	166.0	56.5	11.0
G	64	172.0	63.9	13.1
H	62	153.5	48.5	16.7
I	47	167.5	73.4	15.1
平均値	58.0	164.8	60.6	14.0
SD	7.62	7.92	10.61	2.47

2. 実験方法

1) 実験 I

実験 I の測定は立山登山 1泊2日(実験 II) の前後に富山県総合体育センターで行った。被験者はセンター到着後、身長、体重、皮下脂肪厚を測定した。さらに、皮下脂肪厚(上腕背部と肩甲骨下)から体脂肪率(%Fat)を推定した。

① 脚伸展パワー(watts)

脚伸展パワーはLEG POWER(竹井機器 K.K.)を用いて測定した。脚伸展パワーは速いスピードの $1.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、続いて中速の $0.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、低速の $0.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ の順に数回ずつ測定した。各スピードの2番目と3番目の平均

値を各スピードでの脚伸展パワー値(watts)とした。

② 脚伸展力及び屈曲力(ft·lbs)

脚伸展力と屈曲力はBIODEX system 3 (BIODEX 社)を用いて、膝関節の屈伸角度を $60^\circ/\text{s}$ 、 $180^\circ/\text{s}$ 、 $300^\circ/\text{s}$ とし、この順に数回ずつ測定し、最高のトルクをその測定条件の値とした。

③ 踏み台昇降時の生理学的応答

高さを0cmから5cmおきに40cmまで変えられる可変性踏み台を作成し、この踏み台を用いて、背にザック(重量10kg)を背負い、学生は2秒に1回、中高年者は約2.7秒に1回の昇降テンポで、高さ10cm、20cm、30cm、40cmのそれぞれの高さで3分間の昇降運動を1分間の休息をはさみながら断続的に行った。続いて、山行のテンポをイメージした任意のテンポでの昇降運動を先のテンポ、すなわち、学生は2秒に1回、中高年者は約2.7秒に1回の昇降運動と同様な手順・方法で行った。

各高さでの3分間の昇降運動中、2分目と3分目の1分間の酸素摂取量(VO_2)とそれに同期した心拍数(HR)をそれぞれInnovision製自動代謝分析器(AMIS 1000SM)と日本電気三栄製テレメーター(NEC Bioview)を用いて測定した。さらに、3分間の昇降運動後と次の高さでの昇降運動間の休息の1分間に、被験者の左手薬指の指尖から採血を行い、ラクトートプロ(京都第一製薬製)を用いて血中乳酸濃度を測定し、作図法を用いて乳酸性作業閾値(LT)を求めた。

下山した翌日各被験者は登山前日と同様の測定項目・手順・方法で実験を行った。

3. 登山医学・生理学に関する調査研究

2) 実験Ⅱ

学生と中高年者は1泊2日の立山登山を、異なった日とルートで、しかも異なった歩行速度で行った。ただし、中高年者は2日目早朝出発前に豪雨にみまわれ、バスで下山せざるを得なかった。被験者は称名の滝第一駐車場から歩き始め、八郎坂-弘法-弥陀ヶ原-天狗平-室堂を經由し、中高年者は宿泊地のみくりが池温泉へ(所要時間7時間)、学生はそのまま雄山頂上に登りみくりが池温泉へ(所要時間10時間)行った。翌日学生は浄土山頂上へ登り、室堂を經由して前日のコースを

通り下山した(所要時間約8時間)。登山中24時間ホルダーとPCカードレコーダ(DR-C2)を用いて、胸部誘導から心拍数を連続的に測定した。主観的疲労度はPOMSを用いて学生は5回、中高年者は3回記録した。なお、初日出発直前の荷物の重さの平均は学生が7.9(5~10.5)kg、中高年者が7.9(3~13.5)kgであった。

Ⅲ. 結果

1. 脚伸展パワーと脚筋力

学生(表2-1)および中高年者(表2-2)の脚伸展パワーは登山後に $1.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ と $0.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ にお

表2-1 男子学生にみられる登山前後の脚伸展パワー(W)・膝関節伸展力及び屈曲力(ft·lbs)

		脚伸展パワー(W)			低速(60° /s)		中速(180° /s)		高速(300° /s)	
		1.0m/秒	0.6m/秒	0.2m/秒	伸展力	屈曲力	伸展力	屈曲力	伸展力	屈曲力
登山前	A	1125	851	349	127.1	74.5	93.6	70.9	59.7	65.5
	B	641	518	234	93.0	34.8	67.6	35.1	52.9	28.0
	C	634	616	305	128.4	46.8	74.6	45.7	60.3	31.5
	D	907	766	293	124.8	71.8	100.8	56.8	74.7	44.5
	E	1307	1046	513	201.9	129.3	135.1	111.4	112.1	95.9
	平均値	922.8	759.4	338.8	135.0	71.4	94.3	64.0	71.9	53.1
	SD	296.46	205.80	105.68	40.15	36.42	26.50	29.65	23.81	28.09
登山後	A	1130	927	414	113.6	90.6	91.5	73.0	71.5	66.0
	B	623	441	278	88.0	43.2	59.3	33.8	41.3	29.1
	C	677	645	300	122.3	54.8	75.8	39.6	58.4	29.5
	D	921	714	303	111.2	71.2	89.8	58.0	70.9	43.5
	E	1144	925	472	198.0	127.6	134.8	100.4	108.7	89.7
	平均値	899.0	730.4	353.4	126.6※	77.5	90.2	61.0	70.2	51.6
	SD	244.61	204.84	84.88	41.87	33.22	28.08	26.94	24.79	26.07

※: P<0.05

表2-2 中高年者にみられる登山前後の脚伸展パワー(W)・膝関節伸展力及び屈曲力(ft·lbs)

		脚伸展パワー(W)			低速(60° /s)		中速(180° /s)		高速(300° /s)	
		1.0m/秒	0.6m/秒	0.2m/秒	伸展力	屈曲力	伸展力	屈曲力	伸展力	屈曲力
登山前	F	576	496	276	124.7	56.0	72.7	38.4	54.2	38.3
	G	559	402	201	119.4	57.2	69.9	36.2	48.4	31.9
	H	408	331	124	65.2	18.0	50.1	20.6	31.9	—
	I	951	714	313	121.5	57.9	79.2	52.6	56.6	30.4
	平均値	623.5	485.8	228.5	107.7	47.3	68.0	37.0	47.8	33.5
	SD	231.02	166.50	83.81	28.42	19.53	12.54	13.10	11.13	4.20
登山後	F	655	610	308	123.1	46.9	66.4	28.6	46.3	26.5
	G	568	518	266	116.9	53.7	54.4	39.1	47.0	37.1
	H	474	406	200	67.7	—	43.2	—	34.2	—
	I	643	368	191	119.0	46.1	78.3	44.9	51.7	35.3
	平均値	585.0	475.5	241.3	106.7	—	60.6	37.5	44.8	33.0
	SD	83.41	109.97	55.66	26.11	4.18	15.15	8.26	7.46	5.67

※: P<0.05

表3-1 学生(1回/2秒)及び中高年者(1回/約2.8秒)にみられる登山前後の生理学的応答

		VO ₂ (l・min ⁻¹)		VO ₂ (ml・kg ⁻¹ ・min ⁻¹)		HR(beats・min ⁻¹)		LA(mmol・min ⁻¹)	
		前	後	前	後	前	後	前	後
学生	10cm	1.24±0.11	1.29±0.14	21.30±0.86	22.20±0.73	100.5±8.7	105.0±12.5	-	-
	20cm	1.70±0.13	1.75±0.19	29.19±1.18	30.16±0.73	119.5±11.4	130.3±15.7※	-	2.9±0.1
	30cm	2.15±0.23	2.24±0.23	37.04±2.71	38.51±0.76	148.3±15.6	152.5±15.5	3.8±1.3	3.7±1.2
	40cm	2.66±0.26	2.67±0.24	45.68±2.62	46.02±2.05	175.3±14.4	178.5±12.7	6.8±2.0	6.5±1.7
中高年者	10cm	1.06±0.12	1.04±0.14	17.70±1.12	17.49±1.75	99.5±14.5	90.3±13.7※	-	-
	20cm	1.39±0.15	1.37±0.15	23.42±2.00	22.95±2.03	115.5±14.6	107.8±13.0※	2.9±0.1	2.1±0.0
	30cm	1.74±0.22	1.71±0.25	29.21±1.61	28.64±1.60	135.0±15.4	126.8±10.8※	4.3±1.2	4.0±0.8
	40cm	2.20±0.33	2.33±0.19	34.35±1.21	34.14±0.57	151.0±12.5	144.5±3.5	6.8±2.5	6.7±0.1

※: P<0.05

表3-2 被験者の任意の昇降テンポにみられる登山前後の生理学的応答

		VO ₂ (l・min ⁻¹)		VO ₂ (ml・kg ⁻¹ ・min ⁻¹)		HR(beats・min ⁻¹)		LA(mmol・min ⁻¹)	
		前	後	前	後	前	後	前	後
学生	10cm	1.13±0.08	1.21±0.09	19.50±2.12	20.80±0.90	119.8±10.2	124.5±9.0	-	-
	20cm	1.39±0.11	1.50±0.14	24.08±3.11	25.76±1.16	124.8±6.1	131.8±11.7	-	-
	30cm	1.61±0.08	1.80±0.16	27.87±3.01	31.19±3.42	136.8±8.0	145.0±13.0	2.7±1.0	2.4±0.6
	40cm	1.87±0.13	2.04±0.27	32.46±4.28	35.40±5.75	150.3±10.2	154.3±19.6	3.0±0.4	2.8±0.7
中高年者	10cm	1.14±0.23	1.08±0.12	19.52±5.40	18.44±3.83	110.5±29.2	103.8±12.9	5.3±1.2	-
	20cm	1.41±0.28	1.37±0.21	23.96±6.14	23.56±5.97	123.8±31.9	115.5±17.3	4.4±2.4	2.9±0.7
	30cm	1.66±0.33	1.58±0.20	28.16±7.10	27.13±6.89	138.5±34.2	130.0±25.4	5.0±2.4	4.5±1.0
	40cm	1.37	1.69±0.19	21.61	24.99±5.27	98.0	118.5±17.7	1.6	3.9±0.0

いて、それぞれ2.6と3.8%、6.2%と2.1%の低下傾向が現れたが0.2m・s⁻¹では逆に4.3%と5.6%の増加傾向を示した。しかし、登山前・後にはいずれも有意な増減が認められなかった。

膝関節部の伸展力と屈曲力では、学生の低速時の屈曲力にのみ8.5%の増加を認めた以外は、学生の伸展力と屈曲力にそれぞれ2.4~6.2%、2.8~4.7%、中高年者の伸展力と屈曲力にそれぞれ0.9~10.9%、1.5~14.2%の低下傾向を認めた。両被験者とも中速(180°/s)には4.3と4.7%、10.9と11.6%と顕著な安定した一様な低下傾向を示した。しかし、有意な低下を示したのは学生の低速(60°/s)時の伸展力(6.2%)だけであった。

2. 生理学的応答

登山前後における生理学的応答の結果は表3のごとくであった。学生の1回/2秒のテンポでの踏み台昇降運動(表3-1)、また、任意の

テンポでの踏み台昇降運動(表3-2)における酸素摂取量(l・min⁻¹)及び体重当りの酸素摂取量(ml・kg⁻¹・min⁻¹)の平均値は登山前後のすべてのステップの高さ(10cm, 20cm, 30cm, 40cm)においてわずかではあるが増加傾向を示すものの、有意な差は認められなかった。また、学生のHRでは、1回/2秒及び任意のテンポの踏み台昇降運動のいずれの高さにおいても、3~10拍/分の増加傾向が認められ、1回/2秒での20cmの高さにおいてのみ有意な増加が認められた。一方、中高年者では、1回/2.7秒のテンポの踏み台昇降運動や任意のテンポでの踏み台昇降運動において、登山前後の酸素摂取量(ml・kg⁻¹・min⁻¹)及びHRにいずれの高さにおいても減少傾向が認められた。しかし、酸素摂取量に有意な低下が認められなかったにもかかわらず、10cm, 20cm, 30cmの高さのHRに有意な減少が認められた。LAについては、昇降テンポに関係

3. 登山医学・生理学に関する調査研究

なく学生・中高年者共に減少傾向が認められたが、有意な差は認められなかった。なお、任意のテンポでの踏み台昇降運動の昇降回数は、中高年者の20cmの高さ(-0.9%)を除き、学生と中高年者の登山後においてそれぞれ4.9~11.9%、1.3~2.3%の増加傾向を示した。さらに、増加率は踏み台が高くなるにつれ減少した。

3. 登山中の心拍数とPOMS

登山は同じ登山道であってもその日の天候、山行の歩行スピード、道の状況等によって、からだに受ける負担度が異なる。今回は学生と中高年者の登山日が異なること、登山のスピードや行程が異なるので、両者の比較を直接行うことは困難である。そこで、各個人の生理学的運動強度の指標である心拍数を用いて、両者の比較を行った。

学生の登山中の平均心拍数は150拍/分以下であったが、個人によって若干の差があった。行

程の中で最も傾斜が急な八郎坂と、一の越から雄山頂上までの上りでは130拍/分以上の平均心拍数を記録した。中でも早朝の最初の急な上りの八郎坂では、いずれの被験者の平均心拍数もその日の最高を示した。しかし、最高の心拍数でみると雄山の頂上近くの上りが最も高い値となった。その他の所では、天狗平近くの上りで平均心拍数と最高の心拍数が比較的高くなった。

中高年者では八郎坂及び天狗平近くの上りで平均心拍数と心拍数の最高値が記録された。平均心拍数と最高の心拍数からみる限り、中高年者の心拍数の高低の幅は大学生に比べて比較的安定した傾向が認められた(表4)。

2日目の心拍数は、学生AとCについては機器の操作ミスと電極のはがれで十分記録できなかった。2日目の朝の浄土山頂上への上りに各被験者とも最高の心拍数及び平均心拍数にその日の最高値を示した。しかし、その後はほとん

表4 中高年者の立山登山(初日)中のHR

被験者F	心拍数(拍/分)		
時間	最低値	平均値	最高値
6:00	72	92	123
7:00	88	117	139
8:00	87	113	136
9:00	92	114	129
10:00	91	116	135
11:00	93	111	138
12:00	98	121	147
13:00	94	116	141
14:00	1	71	104

被験者G	心拍数(拍/分)		
時間	最低値	平均値	最高値
6:00	64	90	126
7:00	90	126	147
8:00	87	122	147
9:00	90	115	134
10:00	84	114	136
11:00	84	118	143
12:00	91	117	145
13:00	87	111	137
14:00	46	92	120

7:00	八郎坂入り口
8:00	称名滝大展望台1410m
8:40	弘法着
9:44	追分手前1km
10:35	弥陀ヶ原着
11:35	天狗平旧道にて昼食
12:45	天狗平着
13:40	室堂着
14:00	みくりが池温泉着

被験者H	心拍数(拍/分)		
時間	最低値	平均値	最高値
6:00	80	102	139
7:00	105	137	154
8:00	105	128	151
9:00	102	122	140
10:00	105	126	149
11:00	103	126	148
12:00	100	130	155
13:00	105	130	155
14:00	87	112	138

被験者I	心拍数(拍/分)		
時間	最低値	平均値	最高値
6:00	59	81	118
7:00	79	110	131
8:00	75	102	128
9:00	76	101	116
10:00	79	106	132
11:00	89	109	138
12:00	101	121	148
13:00	82	103	141
14:00	61	63	80

表5 立山登山によるPOMSの変化(活動性及び疲労)

学生	活動性	疲労
登山初日発	16.8±2.95	8.2±6.83※
登山初日着	19.6±7.89※	13.8±5.26
2日目発	17.0±4.90	10.4±7.02☆
2日目着	11.6±5.46※,☆	19.2±5.02※,☆,○
登山後実験前	18.6±3.36☆	13.4±6.19○

※,☆,○:P<0.05

中高年者	活動性	疲労
登山初日発	18.5±1.29	2.8±4.27
登山初日着	22.3±4.99	4.5±3.11
登山後実験前	21.8±4.50	4.8±3.10

ど下りの山行となり、各被験者とも平均心拍数は100拍/分前後で推移した。

POMSは学生5回、中高年者3回の調査であった(表5)。POMSの6項目の中、活動性と疲労の項目についてみると、初日の上りについては学生及び中高年者とも有意な変化が認められなかったが、学生の2日目は活動性が低下(11.6±5.5)し疲労がピークに達した(19.2±5.0)。活動性では初日の宿舍到着時よりも有意に低下し、疲労では2日目の出発時に比べ有意に高まっていた。しかし、翌日の登山後の実験前には活動性も疲労も有意に改善していた。

IV. 考察

1. 心拍数からみた立山登山中の運動強度

登山中の運動強度は登山者の体力だけでなく、山行(歩行)スピード、山の高低や登山道の特性、気象条件(温度・湿度・風向・風力・気圧)等の諸条件によって異なってくる。しかも、登山者の体調や気象条件が刻々変化するので、登山者が受ける生理的な負荷強度も時間とともに変化してくる。そこで、登山者の生理学的負荷強度を明らかにするために、これまで多くの研究者によって種々の指標が用いられてきた。例えば、心拍数(HR)やそのHRの個人の最高値(HRmax)に対する割合(%HRmax)(福島ら,1992;堀井ら,1990;島岡,1976;山地ら,1978)、血圧(堀井,1992)、エネルギー消費量(VO_2)(中島,1995;山本と西谷,2002)、主観的運動強度(RPE)

(安保ら,1997;小野寺ら,1995)等が用いられている。それらの中でも心拍数は登山者の体力や体調、気象条件や物理的強度等を反映する客観的でしかも簡易な指標として広く用いられている。そのような観点から、本研究では立山登山中の心拍数を連続的に測定した。

中高年者と大学生との比較は同じ登山道を経由した八郎坂から室堂ターミナルまで可能であるが、その山行スピードは後者(所要時間6時間)が前者(所要時間6時間40分)よりも約40分速いものであった。中高年者各個人の山行中の平均心拍数は10~20拍/分の幅で、また最高値も13~32拍/分の比較的狭い範囲の中で変動した。一方大学生の個人の平均心拍数は33~40拍/分、最高値は25~54拍/分の比較的大きな変動幅であった。すなわち、中高年者よりも大学生の方が各個人の山行中の心拍数にばらつきが大きいことを示唆していた。島岡(1976)は、1年間に約100日ほど山登りを行っている大学山岳部員が約20kgの荷物を背負い、夏の北アルプスの山行中(ブナタテ尾根)の心拍数が150~160拍/分、また同じ被験者が30kgの荷物を背負い、剣岳の早月尾根(標高1,800m付近)を上っている時の心拍数が同じく150~160拍/分であったことから、山のベテランでは山行中の地形条件や気象条件が絶えず変化しても、身体が受ける生理学的負荷強度はほぼ一定に保たれていることを指摘した。

3. 登山医学・生理学に関する調査研究

心拍数は年齢の影響を受ける。学生の年齢から推定(220-心拍数)できる最高心拍数(HRmax)は約198拍/分であるのに対し、中高年者のそれは約162拍/分である。すなわち、両者の最高心拍数の差は年齢差の36拍/分であった。八郎坂の上りの心拍数の平均値と最高値を%HRmaxで表すと、学生は67.9~75.1%, 77.9~86.3%, 中高年者は63.6~86.7%, 75.7~97.5%と、学生に比べ中高年者の生理学的負荷強度に幅があり、しかも平均心拍数が80%HRmaxを越す者の数が中高年者に2人いた。その2人は60歳を越える者であり、年齢的なものが微妙に影響したのかもしれない。さらに、一時的な最高心拍数では学生と中高年者各3人ずつが80%HRmaxを越えた。小林(1991)は自らの登山の経験から最高心拍数の80%を上限として歩くことを提唱している。本研究の立山登山では全体的には80%HRmaxを下回っているものの、途中一時的にはあるが急な坂道ではそれを越える者がいたことは、歩行速度をより遅くして80%HRmaxを越えないように努めることが必要であろう。

また小野寺ら(1993)は学生を対象にした鳥居峠(標高1360m)を出発点とした、的岩をへて四阿山(標高2332m)に至る登山中のRPEから推定した%VO₂maxが、個人によって37~56%VO₂maxから高い者では59~76%VO₂maxに維持されていることから、個人によって身体が受ける負荷強度に大きな差があることを指摘している。したがって、グループ登山を行う場合には最も体力的に劣る者を考慮した山行速度が設定されなければならない。

大学生の2日目の山行では、朝の浄土山への上りの平均心拍数は126拍/分が最高であるが、

最高値は3人の被験者全員が160拍/分を越え、80%HRmaxを一時的にはあるが越えている。しかし、その後の下山途中の心拍数は最高値で約140拍/分であり、心拍数でみる限りほぼ適切なペースで下山していたものといえる。

2. 乳酸性作業閾値(LT)からみた立山登山の運動強度

Brody(1945)は、長時間労働の作業強度が最大酸素摂取量の50%(50%VO₂max)を越えてはならないとしている。最近ではPalとSinha(1994)は8時間労働の許容限界が30~40%VO₂maxとしている。一方、Nagら(1978)は、3660mの高所住民を対象にした実験から25~30kgの荷物を背負い、連日登山に従事する際の至適な強度を30~40%VO₂maxとみなした。これらの強度は一般人であっても乳酸性作業閾値(LT)を越えない強度である。本研究ではLT点を4mmol·l⁻¹(OBLA)とし、登山前の踏み台昇降運動中に求めた。その結果、学生のLT点の心拍数は145~175拍/分であり、それは年齢より推定されたHRmaxの73.9~88.8%に相当した。一方中高年者は137~141拍/分と80.9~90.4%HRmaxであった。したがって、初日の登山中の平均心拍数からみる限り、学生及び中高年者がLT点を越えることはなかったが、最高の心拍数からみると、学生及び中高年者全員が一時的ではあるが、初日の八郎坂と天狗平手前の急坂の上りでLT点を越えていたものと推定できる。さらに学生は初日の一の越から雄山への上りや2日目の浄土山への上りで一時的にLT点を越えた。山地ら(2004)の減圧室で行った階段式トレッドミル(一段の高さ20cm)歩行実験では、被験者が10kgの荷物を背負い標高1500mから任意のテンポで歩行を開始し、垂直方向へ200m上る度に

標高に合わせて気圧を下げると、標高1500mの階段歩行時の VO_2 とHRがそれぞれ $31.4\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 、151拍/分であったものが、2日目の標高3400mでは $34.2\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ と171拍/分まで高まった。この実験では、階段式トレッドミルの任意の歩行速度が標高1500mの時約 $20\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ であったものが、標高が高まるにつれて徐々に遅くなり、3400mでは $16\sim 18\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ まで速度が低下したにもかかわらず生理学的負荷強度が増加することを示唆している。本研究の学生が一の越から雄山山頂までの上りにその日の最高の心拍数を記録したのは、多分に気圧の影響があったものと推察される。

福島ら(1992)の中高年者を対象にした筑波山(標高876m)(距離4.3km)の集団登山に関する研究では、4人の中1人は測定した2か所のポイントでLT点を越えていることから、事故につながる危険性が内在しているとみなしている。本研究の集団登山でも一時的にはあるが学生では5人中3人が、中高年者では全員が小林(1991)がいう $80\%HR_{\max}$ を越えていることから、急坂では歩行スピードを遅くするとか、個人の体力等を考慮しながら $80\%HR_{\max}$ 以内の心拍数に抑えるよう努めるべきであろう。

3. 呼吸・循環機能と脚筋力・パワー等への影響

学生の登山後の酸素摂取量(VO_2)と心拍数(HR)は登山前に比べて一定昇降テンポと任意の昇降テンポのいずれにおいても増加傾向を示したのに対し、中高年者のそれは低下傾向を示した。特に中高年者の踏み台の10cm、20cm、30cmの高さにおける心拍数は有意な低下を示した。これらのことは学生では踏み台昇降運動の経済性に低下を、中高年者は逆に高まりを示唆するものであろう。この原因は中高年者が2日目天

候の都合でバスで下山したことが影響したのであろう。この推察は主観的疲労度を示すPOMSの成績において、中高年者では活動性や疲労の項目に登山前後に大きな変動が認められなかった。さらに下山後の血中乳酸濃度も低下したことなどからも裏付けられる。一方学生では、登山前後の VO_2 やHRに有意な変動が認められなかったものの、POMSでは下山直後に活動性や疲労に有意な低下と増加がみられた。しかし、一晩眠ることによってほぼ回復をみた。

脚伸展パワー、膝関節部の伸展力及び屈曲力は学生、中高年者がほぼ同様な傾向を示した。すなわち、平均脚伸展パワーでは $0.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ に増加が認められる以外は低下傾向が、膝関節部の伸展力及び屈曲力もまた、学生の屈曲力以外すべての項目において低下傾向が認められた。このことは、登山が膝屈曲力に比べ膝伸展力の疲労を高めることを示唆するものであった。また中高年者は初日の室堂までの上りの行程のみであったが、脚パワーあるいは脚筋力への影響が大きいことを示唆している。登山による脚筋力への影響についての報告は見当たらないが、小野寺ら(1995)は下肢の筋力が低い者ほど標高差の大きい上り区間にRPEが高くなることを報告している。したがって、学生に比べ脚パワーでは65~70%、膝関節部の伸展力は65~80%、屈曲力は58~66%しかない中高年者の脚への影響は大きいと考えられる。登山における脚疲労は転倒事故の大きな要因と考えられることから、今後より長期の山行による脚疲労について検討が必要であろう。

V. まとめにかえて

本研究は、1泊2日の立山登山が呼吸・循環機能、脚筋力・パワー及びPOMSに与える影響に

3. 登山医学・生理学に関する調査研究

ついて検討した。その結果、次のような知見が得られた。

1. 立山登山中の平均心拍数は急な坂道である八郎坂、天狗平手前あるいは一の越から雄山までの上りでは130拍/分を越えるが150拍/分を越えることはなかった。しかし、登山中の最高の心拍数は学生が74~89%, 中高年者が81~90%HRmaxとなり、80%HRmaxを越える者もいた。
2. 登山後の呼吸・循環機能に一様な疲労傾向は認められなかったが、脚筋力(伸展力と屈曲力)特に中・高速で疲労傾向が、また、脚パワーでも中・高速で疲労傾向を示した。中高年者が2日目の下りを実施できなかったことを考慮すると、中高年者の方が学生よりも脚の疲労が著しいものと推察される。
3. POMSでは学生の下山直後の活動性の低下と疲労の増加が顕著ではあるが、翌日にはほぼ回復した。中高年者では活動性及び疲労に顕著な変動が認められなかった。

以上の結果から、今後登山と脚筋力・パワーへの影響について、山行の日程を2泊3日へと延長してさらに検討が必要と考える。

引用文献

- 1) 安保真一, 他8人. 大山夏山登山におけるザック重量の違いがRPEと心拍数に及ぼす影響(第2報). 登山医学. 18:89-96, 1998.
- 2) 安保真一, 山元健太, 小野寺昇. ザック重量の違いがトレッドミル歩行時の主観的運動強度と心拍数に及ぼす影響. 登山医学. 17:73-76, 1997.
- 3) Burtscher,M., Bachmann,O., Hatzl,T.,

Hotter,B., Likan,R., Philadelphia,M. and Nachbauer, W. Cardiopulmonary and metabolic responses in healthy elderly humans during a 1-week hiking programme at high altitude. Eur. J. Appl. Physiol. 84:379-386, 2001.

- 4) Brody,S., Bioenergetics and Growth. 1945. New York : Pheinhold Publisching Corp.p. 906.
- 5) Cymerman,A., Pandolf,K.B., Young,A.J. and Maher, J.T. Energy expenditure during load carriage at high altitude. J.Appl.Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol. 51:14-18, 1981.
- 6) 福島邦男, 飯田稔, 浅野勝巳, 井村仁. 中高年者の登山時の生理的応答. 登山医学. 12:67-72, 1992.
- 7) 堀井昌子. 高所登山と心拍数, 血圧の変化 登山研修. 7:124-129, 1992.
- 8) 堀井昌子, 忽滑谷和孝, 鈴木尚, 水腰英隆. 高所における5日間連続ホルター心電図記録の解析. 登山医学. 10:75-79, 1990.
- 9) 小林太刀夫. 高齢者登山について. 登山医学. 11:1-8, 1991.
- 10) Levine,B.D., Zuckermann,J.H., deFilippi, C.R. Effect of high altitude exposure in elderly. The tenth mountain division study. Cir. 96:1224-1232, 1997.
- 11) 宮川健ら. 背負いザックの重心の位置の違いが歩行中の姿勢及び地面反力に及ぼす影響. 登山医学. 17:125-134, 1997.
- 12) 宮下充正. 山歩きのサイエンスー中高年の健康と医学Q & A - . 東京新聞出版局. 1989.
- 13) 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, 1078.
- 14) 中島道朗. UIAA医療委員会公認基準
—その4, その5について—. 登山医学. 15
:175-178, 1995.
- 15) 小野寺昇, 多田広行, 中西真紀, 東原昌郎,
宮崎義憲. 夏山登山における自覚的運動強度
と心拍数の変化—登り降りの比較—.
登山医学. 13:59-62, 1993.
- 16) 小野寺昇, 矢野里佐, 矢野博巳. 中高年者
の山歩きと登山における主観的運動強度と心
拍数の関係. 登山医学. 16:25-32, 1996.
- 17) 小野寺昇, 米谷正造, 矢野博巳, 宮地元彦,
青山賢吾. 屋久島宮之浦岳登山時の自覚的運
動強度に及ぼす下肢筋力の影響. 登山医学.
15:51-56, 1995.
- 18) Pal,A.k. and Sinha,O.K. The energy cost
of metalliferous mining operations in
relation to the aerobic capacity of Indian
miners. Ergonomics. 37:1047-1054, 1994.
- 19) 島岡清. 夏山縦走における体力科学.
山と溪谷. 455号:156-161, 1976.
- 20) 山地啓司, 橋爪和夫, 西川友之, 福田明夫.
心拍数からみた登山中の運動強度. 体育の科
学. 28:648-656, 1978.
- 21) 山地啓司, 梅野克身, 北川鉄人. 減圧下の
階段式トレッドミル歩行にみられる生理学的
応答. 北陸体育学紀要. 第40号:1-8, 2004.
- 22) 山本正嘉, 西谷幸一. 携帯型呼吸代謝測定
装置による登山中のエネルギー消費量の直接
測定—心拍数による間接測定法との比較検討
—. 登山医学. 22:33-40, 2002.
- 23) 山本正嘉, 山崎利夫. 全国規模での中高年
者登山者の実態調査. 登山医学. 20:65-73,
2000.