

中高年齢者の長距離歩行中の生体反応

宮下 充正¹⁾、堀川 虎男²⁾、金子 香織³⁾、春山 知子⁴⁾

Physiological Responses to Long-Distance Walking (20km) in Elderly People

Mitsumasa MIYASHITA, Torao HORIKAWA, Kaori KANEKO
and Tomoko HARUYAMA

Summary

The purpose of this study was to investigate the physiological responses to long-distance (20km) walking (Test 1) and mountain climbing (640m in height, 18km in distance) (Test 2) in elderly people. Methods: Heart rate (HR), blood lactate (La) and blood glucose (Gl) were observed during walking 20km at their preferred speed in Test 1 and at the same speed in Test 2. Also the blood sample was analyzed before and after the 20km walk (Test 1). The subjects in Test 1 were eight male and seven female volunteers, aged 58 to 69 years, who were physically fit and participated in the walking events two to three times per month. The subjects in Test 2 were three male and two female volunteers, aged 62 to 70 years, who were physically fit and climbed the mountain two to three times per month. $\dot{V}O_{2max}$ and leg extension power were measured on all subjects before the Tests. All data are presented as means and standard deviations. The significance of differences between the repeated measured parameters was determined by a two-way analysis of variance (ANOVA). For all analysis, a $p < 0.05$ was accepted as significant.

Results: The $\dot{V}O_{2max}$ (mean; 35.3ml/kg/min for males and 29.3 ml/kg/min) and leg extension power (mean; 19.4 w/kg and 12.5 w/kg for females) of the present subjects were classified into the good or excellent categories of age-matched Japanese. Walking time in Test 1 ranged from 2 hours 45 minutes to 4 hours, and the walking time in test 2 was approximately 5 hours. HR in Test 1 ranged from 100 to 140 bpm, which were equivalent to 60~80 % HRmax. The values of La were under 4 mmol/l. Gl decreased significantly from 105.7 to 92.1mg/dl after walking, while free fat acid in the blood increased significantly from 0.32 to 1.21mg/dl. HR in Test 2 increased to 120~150 bpm during climbing and clearly decreased following a 20 minutes rest to 80~100 bpm, while HR remained almost constant at 80, 100 or 120 bpm during descent. The values of La increased over 4mmol/l dur-

*¹⁾ 放送大学教授 (生活と福祉)、*²⁾ 放送大学大学院教育開発プログラム、

*³⁾ 放送大学生生活と福祉、*⁴⁾ お茶の水女子大学大学院

ing climbing and remained under 3mmol/l during descending.

Conclusions: Experienced elderly walkers maintain excellent levels of physical fitness (aerobic power and leg extension power). They could walk 20km on a flat road at relatively high speed with aerobic metabolism. However, five subjects showed large inter-individual differences in HR and La during mountain climbing. It might be the results of climbing and descending at same speed. Therefore it may be recommended that elderly people should walk at their proper speed to avoid fatigue and take an adequate rest periodically.

要 旨

本研究の目的は、多くの中高齢者が健康・体力の保持増進のために実践しているウォーキングについて、その望ましい歩き方に資する知見を提示することであった。そこで、歩く習慣を有する人たちの間で人気の高い長距離（20km）歩行（テスト1）と登山（テスト2）（標高差620m、距離18km）を取り上げ、その間の生体反応を観察した。テスト1の対象者は58歳から69歳の男女15名、テスト2の対象者は62歳から70歳の5名の男女であった。すべての対象者は身体的に健康であり、定期的にウォーキングを実践していた。テストに先立ち、最大酸素摂取量と脚伸展パワーの測定を行った。テスト1および2では、心拍数を連続的に、そして血中乳酸濃度と血糖値を歩行前、中、後の計7回、測定した。また、テスト2では、歩行前後に採血し血液成分の分析を行った。

対象者の体力（最大酸素摂取量、脚伸展パワー）は、同性、同年齢の日本人の標準値に比べると“優れている”と判定された。テスト1の20km歩行は、各自のペースで歩いたため、所要時間は2時間45分から4時間であった。その間の心拍数は、100拍/分から140拍/分であり、最高心拍数の60～80%に相当していた。血中乳酸濃度は、歩行中4 mmol/lを超えることはなかった。また、血糖値は105.7mg/dlから92.1mg/dlへと減少した。他方、遊離脂肪酸は、0.32mg/dlから1.21mg/dlへと増加し、歩行後半は脂質代謝の割合が増加していたことが推察された。テスト2の登山は、全員が同じスピードで歩いたが、途中5回の休憩（約20分間）をとった。上りの心拍数は120～150拍/分であり、下りは80～120拍/分であった。なお、休憩時には心拍数は減少し、80～100拍/分となっていた。また、上りでの血中乳酸濃度は、5名中3名が4 mmol/lを超えていたが、下りでは3 mmol/l以下であった。

これらの測定結果から、次のような結論が得られた；日常歩く習慣を有している中高年齢者は、同じ年齢層の日本人と比べ、高い水準の体力を保持している、また、20kmを無酸素的な代謝を伴わないで比較的速いスピードで歩き通せる歩行能力を有している、しかし、歩く習慣を有していても同じスピードで登山するときはかなりの個人差がみられる。

機械化が進行し省力化された環境によってもたらされる運動不足が、生活習慣病を誘発する原因の1つであることは周知の事実である。この因果関係を理解した多くの中高齢者が、運動しようと努力するようになったのである。そして、運動の中でもウォーキングが、身近に手軽にできるという点から、たくさんの人たちの間で人気を呼んでいる（宮下、2000）。

ウォーキングを実践するようになって歩くことに自信がつくと、各地で開催されるウォーキング・イベントに参加したくなる。ウォーキング・イベントでの歩行距離は、通常5km、10km、20km、30km、50kmとさまざまである。そして経験のある人たちの間では、20kmにたくさんの参加者が集まる。この距離を歩き通すとなると、気温、道の斜度などによって違いがあるが、体内のエネルギーを1000キロカロリー近くは消費することになる。このように多量のエネルギーを4～5時間ほどで消費するとなると、からだはかなり

の負担を負うことが推定される。

また別に、ウォーキングを実践して長く歩けるようになると、登山を試みる人もでてくる。登山は、通常500mから1000mの標高差を上り下りすることになる。この場合も、からだは相当の負担を負うことになる。

しかしながら、中高年齢者が長時間運動を続けるときの生理的な反応を調べた研究は少ない。日ごろからウォーキングを実践し、ウォーキング・イベントの長距離歩行を試みたり、登山に挑戦したりする中高年齢者に、運動生理学的知見にもとづいた適正な知識を提供することは、事故を未然に防ぐといった面からも重要であるといえる。

本研究の目的は、平生からウォーキングを実践している中高年齢者が、フラットな舗装道路を20km歩くととき、および、標高差640mの山へ上り下りするときの生理学的反応を調べることであった。

I. 研究方法

被験者：フラットな道での実験には、58～68歳の8名の男性、59～67歳の7名の女性が参加した（表1）。山登りの実験には66～70歳の3名の男性と62と65歳の2名の女性が参加した（表2）。いずれの被験者も日ごろからウォーキングを実践していて特に身体的異常はみられなかった。各被験者には、研究の目的、付随する危険についての説明をし、文書をもって被験者となることの同意を得た。

体力測定：実際の歩行実験の前に、被験者の体力水準を把握するため、漸増式トレッドミル負荷テストを実施した。被験者は電動式トレッドミル上を、スピード80m/分、

表1 歩行テストの被験者の身体特徴および運動負荷テスト結果

被験者	年齢 (歳)	身長 (cm)	身長 (kg)	BMI	最大酸素摂取量 (ml/kg/分)	最高心拍数 (拍/分)	脚伸展パワー (w/kg)
男性：8名	62.9	166.1	66.3	24.1	35.3	181.4	19.4
SD	3.8	5.1	4.0	1.3	3.0	7.3	2.8
女性：7名	64.3	153.2	56.1	23.9	29.3	176.1	12.5
SD	3.3	3.7	6.4	3.1	4.4	6.9	3.2

表2 登山テストの被験者の身体特徴

男性

	年齢	身長(cm)	体重(kg)	BMI	最大酸素接種量(ml/kg/分)
NY	70	161	54.1	20.9	33.5
KH	66	170	77.9	27.0	30.3
MM	66	164	65.0	24.2	29.0

女性

	年齢	身長(cm)	体重(kg)	BMI	最大酸素接種量(ml/kg/分)
HK	62	148	56.6	25.8	32.6
IK	65	150	56.2	25.0	29.4

100m/分で4分間ずつ、続いて110m/分、130m/分で3分間ずつ歩き、その後130m/分で3分間、それ以上は傾斜をつけて、できなくなるまで走った。その間、各スピードでの心拍数、酸素摂取量、血中乳酸濃度、主観的運動強度（RPE）を測定した。酸素摂取量の測定には、1分ごと呼気ガスをダグラスバッグに採集した。ガスマター（品川製作所製）で換気量を測定し、質量分析計（アルコシステム社製）を用いて、酸素と二酸化炭素の濃度を分析した。なお、酸素摂取量は、呼吸商が1.0以上、心拍数が220-年齢以上、RPEが17（かなりきつい）以上をもって最大とした。また別に、脚伸展パワー（アネロプレス、コンビ社製）を測定した。

20km歩行テスト：通常の朝食を取った後、午前9時から、各自の任意のスピードで20kmを歩いた。歩いたのは、コンクリート製の平坦な直線道路であった。歩行当日の天候は、1日目は曇り気温15.1℃湿度68%、2日目は小雨気温12.8℃湿度98%であった。途中水分は各自の希望に応じて随時摂取した。ただし、エネルギーの補給はしなかった。

歩行中は5kmごとにRPEを測定するとともに、R-R間隔測定器（AMX-720、日本光電社製）によって心拍変動を記録した。また、歩行前、歩行後6km地点、歩行後に指先より採血し、血中乳酸濃度（ラクテート・プロセッサ、アークレイ社製）、血糖値（デキスターゼZ、三共社製）を測定した。歩行前後に静脈血を採取し、成分（白血球数、赤血球数、ヘモグロビン、アドレナリン、ノルアドレナリン、抗利尿ホルモン、副腎皮質刺激ホルモン、インスリン、コルチゾール、血糖値、遊離脂肪酸）の分析を株式会社BMLに依頼した。

登山テスト：通常の朝食を取った後、午前9時30分から5名の被験者が同じスピードで、標高710m地点から1350m地点へ上り、下った。登山当日の天候は、曇り気温27℃であった。登山前、登山中5回、下山後、指先から採血し、血中乳酸濃度（ラクテート・プロセッサ、アークレイ社製）、血糖値（デキスターゼZ、三共社製）を測定した。登山中はR-R間隔記録器（AMX-720、日本光電社製）によって心拍変動を記録した。

II. 研究結果と考察

(1) 脱水状態にはならなかった

長距離歩行を続けるときのからだの反応としてまず注目したのは、連続した筋活動による発熱、それによる体温の上昇、それを抑えるための発汗、それによる脱水症状である。脱水は血液の濃縮をまねき、心筋梗塞や脳梗塞などの循環系機能に障害をもたらしかねない。さらに、体温の上昇を抑えられなくなり、熱中症にかかる危険が高まる（WilmoreとCostill, 1994）。このため、ウォーキング中は水を十分に摂取することがすすめられている。

今回の20km歩行テストでは、エネルギーをほとんど含まないイオン飲料ステビア（11Kcal/100ml、大塚製薬社製）などを、飲みたい量だけ飲むことにした。飲んだ量は、被験者によって0mlから500mlと大きな個人差があった。しかし、20km歩行ではヘマトクリット値の平均は、歩行前と歩行後を比べても有意な変化がみとめられなかった（表2）。したがって、血液は濃縮していなかったと推定される。これは、気温が比較的低温

発汗量が少なかったからだともいえるが、今回の被験者が長距離ウォーキングに慣れていて、各自適切な水分補給をしていたからであろう。とにかく、気温が高いときには、さらにたくさんの水分を摂取することがすすめられる。

(2) エネルギーとして何が使われたか

次に注目したのは、消費するエネルギー源が十分であったかどうかという点である。運動に必要とされるエネルギーは、主として糖質と脂質の分解によって補給される。この糖質と脂質の分解の割合は、運動の強さと運動を継続する時間で違ってくる。

まず、運動の強さに関していえば、歩くなどゆっくりした弱い運動では糖質と脂質の使われる割合はほぼ半々であり、強くなってくると脂質の分解は少なくなる。さらに、疾走するといった強い運動では、糖質の分解だけによってエネルギーが補給される(Åstrand と Rodahl, 1986)。

次に、運動の継続時間に関していえば、比較的弱い運動の場合、運動の始めは糖質60%、脂質40%で、20分を過ぎるころにちょうど半々となり、さらに続けていくと60分目ぐらいから糖質が40%、脂質が60%と逆転する (Fox, 1979)。

表3 20km歩行前後の血液成分の変化 (平均値±SD)

		歩行前	歩行後	
白血球数 (μ)	男性	5634±1295	8572±1955	**
	女性	5588±1544	7425±1781	ns
赤血球数 (万/ μ)	男性	476±36	483±38	ns
	女性	475±53	480±51	ns
ヘモグロビン (g/d)	男性	15.5±1.0	15.9±1.1	ns
	女性	13.8±0.8	13.9±0.8	ns
ヘマトクリット (%)	男性	47.7±1.9	48.1±2.7	ns
	女性	44.3±2.8	44.4±3.1	ns
アドレナリン (ng/m)	男性	0.1 ±0.0	0.1 ±0.0	ns
	女性	0.08±0.1	0.08±0.1	ns
ノルアドレナリン (ng/m)	男性	0.73±0.2	1.62±0.5	*
	女性	0.73±0.2	1.26±0.5	ns
抗利尿ホルモン (pg/m)	男性	3.8±2.3	4.9±2.2	ns
	女性	3.4±1.9	3.7±1.7	ns
副腎皮質刺激ホルモン (pg/m)	男性	41.4±26.1	50.9±27.2	ns
	女性	46.5±26.9	44.7±21.8	ns
インスリン (μ U/m)	男性	11.7±5.3	2.1±0.9	*
	女性	15.2±5.3	4.5±3.0	**
コルチゾール (μ g/d)	男性	17.3±4.4	12.8±4.8	*
	女性	18.0±5.7	12.9±4.8	ns
血糖値 (mg/d)	男性	105±20	92±6	*
	女性	114±24	92±10	ns
遊離脂肪酸 (mEg/)	男性	0.32±0.2	1.21±0.3	**
	女性	0.48±0.3	1.49±0.5	**

* : p<0.05 ** : 0.01 ns : 有意差なし

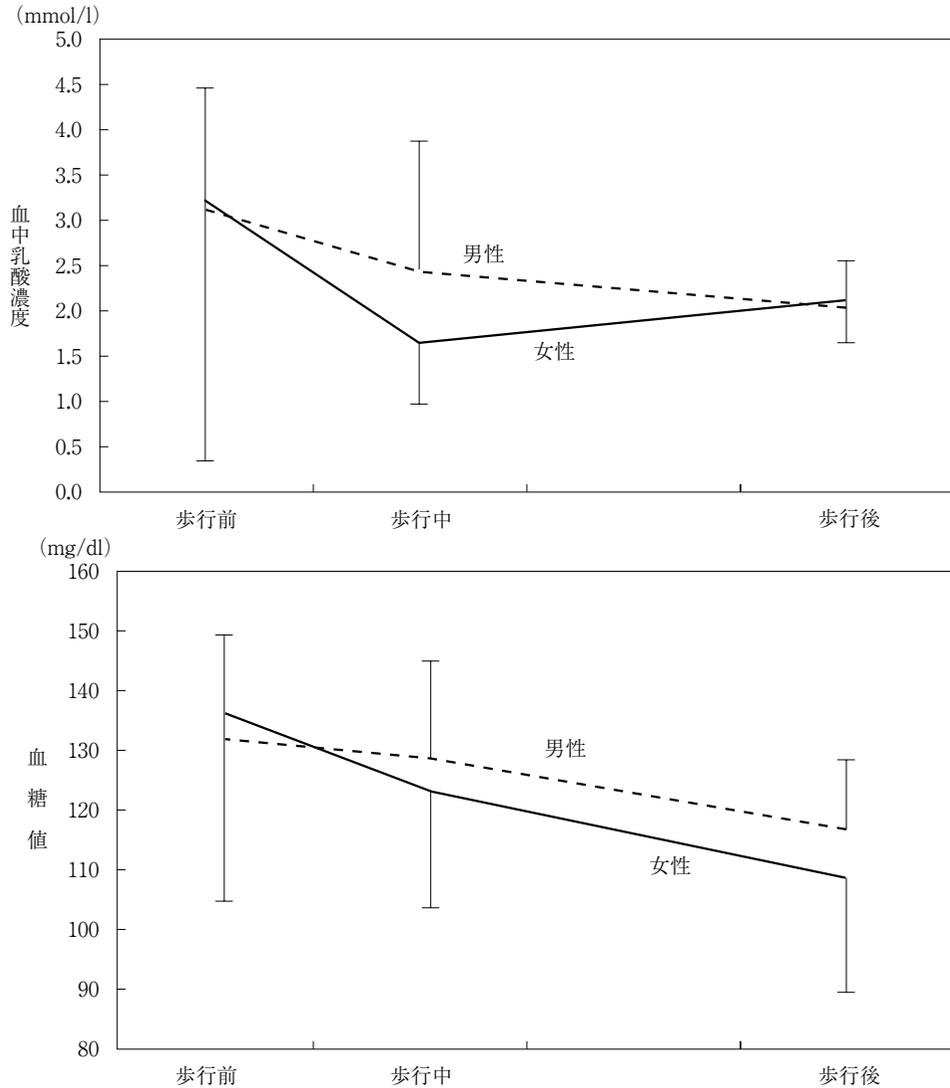


図1 20km歩行中の血中乳酸濃度および血糖値の変化

これまで長時間にわたる運動中のエネルギー代謝については、若い人を対象とした報告 (TabataとMiyashita,1983) があるが、中高年齢者についてはみられない。6名の若い人が運動の強さの弱い (50% $\dot{V}o_{2max}$) 自転車エルゴメーターこぎを、エネルギーの補給なしで疲労困憊になるまで行った。その結果によると、こぎ始めから1時間から2時間30分の間に、血糖値は60mg/dl以下となり運動が継続できなくなることがわかっている (TabataとMiyashita, 1983)。

今回の20km歩行テストでは、通常の朝食を取ってから、スタートからゴールまでエネ

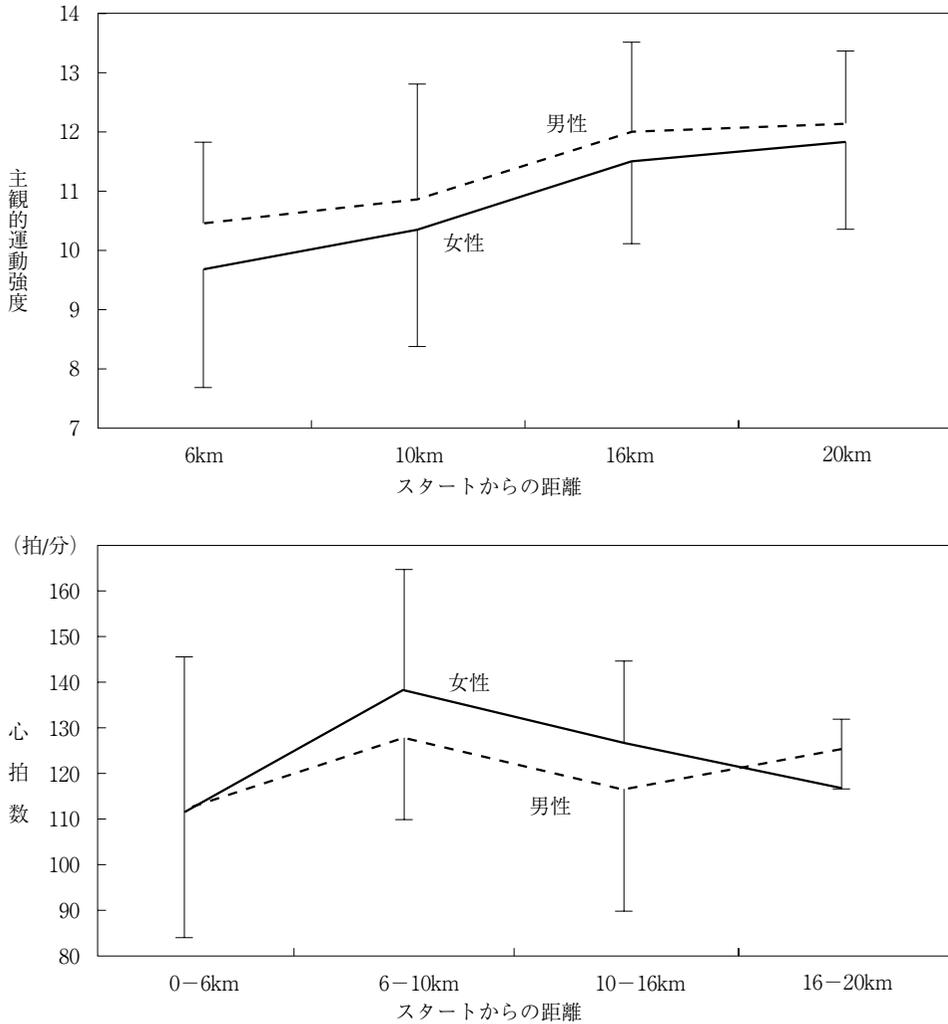


図2 20km歩行中の主観的運動強度と心拍数の変化

ルギーの摂取はひかえてもらった。その結果、20km歩行では血糖値は、最初の6kmで減り、その値が20kmまで続いた。しかし、低血糖という状態にまでは至らなかった(図1下)。歩行前後で比較すると、統計的に有意な差が認められたのは男性のみであり、歩行後の血糖値は男女とも90ml/dl以上であった(表3)。この血糖値の低下に付随して、血中インスリン濃度は有意に減少していた(表3)。対照的に、遊離脂肪酸は、歩行前後で男女とも3~4倍増加していた(表3)。

このような血糖値が減少し、遊離脂肪酸が増加するという変動傾向から、20km歩行中の主たるエネルギー源は、早い時間に炭水化物から脂肪へ変化したことが推定された。このことから、今回の被験者は長距離歩行に慣れていて、脂質の利用効率が高いと推定され

る。しかし、体脂肪量の少ない人では、長距離歩行時には歩行開始1時間後には糖分の補給をすべきであるといえよう。

(3) 20km歩行はどの程度の負担か

実際の歩行テストの前に、基礎的データを得るため、独立行政法人国立健康栄養研究所において、被験者はトレッドミル負荷テストを受けた(表1)。最大酸素摂取量は同じ年齢層の日本人の値と比べ、男性ではカテゴリー“Good”、女性では“Excellent”と評価された(小林, 1982)。他方、脚伸展パワーは、男性では“Very Good”、女性では“Good”と評価された(宮下, 1997)。なお、この最大負荷テストにおいて測定された最高心拍数の平均値は、男性で181.4拍/分、女性で176.1拍/分であった。この値は、これまで広く採用されてきた推定式「 $220 - \text{年齢}$ 」から得られる値よりも20拍/分近く高かった。このことは、呼吸循環系機能を高い水準で長時間活動させる習慣のある中高年齢者では、最高心拍数が高いことを示唆している。

20kmの歩行中の平均心拍数は、最初の5km地点でやや上昇したものの、その後はほぼ一定の値であった(図2下)。そして、歩行中心拍数は、最高心拍数の60~80%に相当していた。またRPEは10~12へと漸増傾向がみられたが(図2上)、心理的にみて過大な負担となっていなかったと推定できた。実際、疲労の指標(4 mmol/l以上)となる歩行中の血中乳酸濃度は、ほとんど変化がなく2.4~1.3mmol/lであった(図1上)。

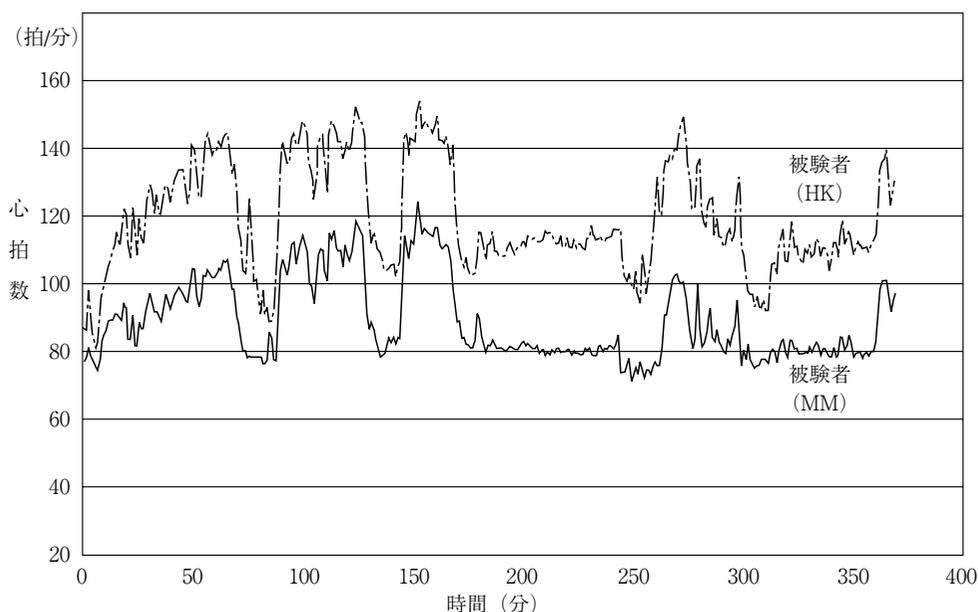


図3 登山中の心拍数の変化(2名の代表例)

(4) 登山はどの程度の負担か

エスカレーターを逆に上り下りしたときのエネルギー消費量(酸素消費量)と心拍数が比較されている(大道, 1990)。それによると、上るときは、歩くスピードが上昇すると酸素消費量と心拍数は直線的に増加する。ところが、下るときは、スピードが上昇しても、酸素消費量も心拍数もそれほど増加しない。すなわち、下りるときは速く歩いても、呼吸循環系機能に大きな負担をかけないのである。

他方で、同じ酸素消費量となるように平地と上り坂を走ったときの下肢筋群のグリコーゲン消費量が比べられている(Costill, 1974)。それによると、上り坂の走行では、平地での走行に比べ、特に大腿の外側広筋のグリコーゲンは3倍以上も多く消費されている。これらの研究報告から、登山の上りでは血中乳酸濃度の上昇がみられると推察される。

今回の登山では、5名中3名の被験者で、上りで血中乳酸濃度が4.2、5.3、8.6mmol/lまで上昇した。もちろん、下りでは全員が3mmol/l以下であった。これは、今回の登山の場合全員が同じスピードで歩いたため、個人差が出たものと推察される。心拍数について、もっとも低かった被験者ともっとも高かった被験者という代表的な例を図3に示した。登山中の5回の採血時(約20分間)には、心拍数は明らかに低下している。そして、上りでは高い被験者で140拍/分を超え、下りでは120拍/分であった。一方、低い被験者は上りでも120拍/分程度であり、下りでは100拍/分以下であった。このように、同じ山登りでも、同じスピードであれば生体に対する負荷に大きな個人差がみられた。したがって、登山は体力水準の同じ者同士で行くか、体力水準の異なる集団で行く場合は低い水準の人に合わせて上り下りすることが安全であるといえる。

4. 結 語

多くの中高年齢者が、健康・体力の保持増進のためにと遂行しているウォーキングを取り上げ、20km平地歩行と登山中の生体反応を観察した。対象者は、20kmが歩き通せる、あるいは、登山ができるという能力が要求されるため、無差別に抽出するというわけにはいかず、経験のある50歳代後半から70歳までのボランティアであった。彼らの有酸素性体力(最大酸素摂取量)および無酸素性体力(脚伸展パワー)は、同性、同年齢の日本人に比べ優れているという水準にあった。したがって、ウォーキング習慣のある中高年齢者は、きわめて高い水準の体力を有してはいないが、ふつうの人たちよりは優れた体力を保持しているといえる。

平地歩行では、歩行スピードに個人差があるものの、心拍数は個人個人ではほぼ一定で最高心拍数の60~80%の範囲内にあり、主観的運動強度は10~13、血中乳酸濃度は3mmol/l以下と、有酸素性のエネルギー消費で歩いていた。すなわち、20kmを何度も歩いたことのある人では、余裕のあるスピードをそれぞれ選択し歩き続けられる能力を身につけているといえる。したがって、初めて20km歩行を試みようとする中高年齢者に対しては、主観的運動強度の“ややきつい”以下となるよう、そして、ときどき心拍数を測り150拍/分は超えていないことを確認しながら、歩くスピードを選択することをすすめるべきである。また、5kmを超えるころから血糖値が低下するため、体脂肪量の少ない人

には、糖分の摂取をすすめなければならない。

登山では、同じ歩行スピードで上るときは、経験者の間でも心拍数、血中乳酸濃度に大きな個人差がみられた。したがって、登山は体力水準が同じ仲間で行動するか、そうでなければ体力水準の低い人に合わせて行動すべきである。ただし、今回のように1時間に20分間の休憩をとることによって、心拍数は80~100拍/分へと低下することから、集団登山するときは適度な間隔で十分な休憩をとることは有効であることがわかった。ところで今回の頂上の標高は1350mであった。したがって、気圧の低さが意識される2000m、あるいは、それ以上の高所へ登山中に、中高年齢者がどのような生体反応を示すか不明であり、今後に残された課題といえる。

本研究は、平成14、15年度放送大学特別研究助成を受けて遂行されたものである。なお、体力水準の測定に際し、独立行政法人国立健康栄養研究所の田畑泉部長をはじめ所属する人たちに、また心拍変動については東洋英和女学院大学福崎千穂講師に、多大な協力を仰いだことに対し記して深謝する。

参考文献

1. Åstrand P-O, Rodahl K (1986) : Textbook of Work Physiology (3rd Ed). McGraw-Hill
2. Costill DL (1974) : Glycogen utilization in leg muscles of men during level and uphill running. Acta Physiol Scand 91 : 475-481
3. Fox EL (1984) : Sports Physiology (2nd Ed). Holt-Saunders International Editions
4. 小林寛道 (1982) : 日本人のエアロビック・パワー加齢による体力推移とトレーニングの影響一. 杏林書院
5. 宮下充正編著 (1997) : 体力を考えるーその定義・測定と応用ー. 杏林書院
6. 宮下充正 (2000) : ウォーキング・レッスン. 講談社
7. 大道等 (1990) : 階段登り降りのバイオメカニクス. Jpn J Sports Sci 9 : 544-551
8. Tabata I, Atomi Y, Miyashita M (1984) : Blood glucose concentration dependent ACTH and cortisol responses to prolonged exercise. Clinical Physiol 4 : 299-307
9. Wilmore JH, Costill DL (1994) : Physiology of Sport Exercise. Human Kinetics

(平成15年10月29日受理)