

---



---

 研究報告
 

---



---

順天堂大学保健看護学部 順天堂保健看護研究 1  
P.26-33 (2012)

## 緩斜面登行における通常歩行とノルディックウォーキング との生理学変数の差異

### The Differences in a Physiological Factor between Field Nordic Pole Walking and Normal Walking on the Gentle Slope

辻川比呂斗<sup>1)2)</sup> 濱口真知子<sup>2)</sup> 佐々木史乃<sup>2)</sup> 岡田隆夫<sup>1)</sup>  
TSUJIKAWA Hiroto HAMAGUCHI Machiko SASAKI Shino OKADA Takao

#### 要旨

近年、健康の保持増進のみならずロコモティブシンドロームおよびメタボリックシンドロームの改善に運動が重要であることが報告されている。通常歩行と比較して、ノルディックウォーキング (Nordic walking: NW) は同一の歩行速度ながら高い酸素摂取量を示し、また上半身の筋を動員する全身運動のため、脂肪燃焼にも役立つことが示唆されている。我々はトレッキングなど健康志向の人が実施する現場に即した状況を想定し、緩い傾斜面 NW 中の運動強度と生理学変数との関係を検討した。健康的な男女を対象として、本実験に先立ち自転車エルゴメーターによる最大運動テストを実施し、その2週間後に NW もしくは通常歩行テストを実施した。低強度(乳酸閾値:LT)における NW 中の心拍数(Heart Rate: HR)および主観的運動強度(Rating of Perceived Exertion: RPE)は通常歩行と比較して、同一速度において高い傾向があった一方で、血中乳酸濃度(blood lactate accumulation: La)は低値であった。NW 中の HR-La 関係曲線は、通常歩行よりも右方シフトした。これらの結果は、NW が低速度における下肢の筋疲労をわずかに軽減していたにもかかわらず、心臓循環系に効果的な刺激で有ったことを示唆させる。

索引用語：ノルディックウォーキング、運動強度、屋外テスト、血中乳酸濃度

Key words : nordic walking, exercise intensity, field test, blood lactate accumulation

#### 1. 緒言

近年、健康の保持増進のみならず運動器疾患であるロコモティブシンドローム<sup>1)</sup>やメタボリックシンドロームの改善に運動が重要であることが報告されている<sup>2)</sup>。ウォーキングやトレッキングなど健康志向のアウトドアイベントなども盛んとなってきており、特

に最近、国内において利用人口が増えてきているのがノルディックウォーキング (NW) である。

NW とは、クロスカントリースキー選手のオフトレーニングとしてポールを利用して歩く、走るといった運動を元に北欧を中心に国際的に普及されつつある健康運動である。2000年よりフィンランドにて国際ノルディックウォーキング連盟 (INWA : International Nordic Walking Federation) が設立され、現在我が国においても INWA 公認団体である日本ノルディックフィットネス協会 (JNEFA : Japan Nordic

1) 順天堂大学医学部第二生理学講座

2) 順天堂大学保健看護学部

1) *Juntendo University School of Medicine Department of physiology II*

2) *Juntendo University School of Health Sciences and Nursing*

(March 1, 2012 原稿受付) (March 31, 2012 原稿受領)

Fitness Association) や日本ノルディックウォーキング協会 (JNWA)、全日本ノルディック・ウォーク連盟 (NWL) など幾つかの団体が設立され、全国各地での普及が進んでいる<sup>3)</sup>。

NW は、同一速度における通常歩行 (Walk) と比較して、上肢および上体の筋肉を動員させることで運動強度を増加させることが報告されている<sup>4)5)</sup>。例えば鍋倉<sup>4)</sup>はトレッドミルを用いた漸増負荷テストにおいて、RPE を上肢、下肢に分けて測定したところ、NW において上肢の値は顕著に高くなり、下肢は 100m/min 以上の平地で高値を示した。また杉山<sup>5)</sup>は、トレッドミルを用いた下り斜面の NW においても、Walk と比較して心拍数、% 酸素摂取量 (% $\dot{V}O_2$  max)、全身および上肢の部位別主観的運動強度において、有意に高値を示すことを報告した。

中川<sup>6)</sup>は、上りにおける NW 中の上腕二頭筋および三頭筋に顕著な EMG 放電量がみられる一方で、下肢筋群の EMG 放電量は低値であったことを報告している。これらの結果は、NW は上肢を積極的に動員することで、下肢への負担を軽減することを示している。

NW における生理学的研究は、トレッドミルを用いた歩行実験が多い一方で、屋外フィールドにおける研究報告は数少なく、またフィールドテストでの血中乳酸濃度による運動強度を詳細にした研究はほとんど報告されていない。Kukkonen ら<sup>7)</sup>は中高年女性 121 人に対し、13 週間にわたる週当たり 4 日、40 分間の NW もしくは Walk のトレーニングを課した研究において、NW および Walk 共に心肺機能および神経筋協調能を改善したことを報告している。富田<sup>8)</sup>は日頃運動習慣のある中年男性を対象に 20 分間歩行中の心拍数、% $\dot{V}O_2$  max および La に及ぼすポールウォーキング (PW) の効果を検討し、PW 中の心拍数、% $\dot{V}O_2$  max が有意に高値を示し、また運動 3 分後の La の値が有意に高かったことを報告している。

本研究では、健康的な一般成人男女を対象として、トレッキングなどの現場において使用しうる緩やかな上り傾斜における NW 中の HR、La および RPE について、Walk と比較することを目的とする。

## II. 方法

### 1. 被験者

被験者は健康的な成人男性 (6 名) および成人女性 (2 名) の計 8 名であった。年齢、身長、体重および BMI の平均値 (mean  $\pm$  SE) は、33.6  $\pm$  3.8 歳、169.2  $\pm$  2.8 cm、68.2  $\pm$  4.0 kg、23.7  $\pm$  1.0 であった (表 1)。

実験実施にあたり、被験者には実験の意図、内容、安全性、いつでも離脱可能な旨について書類および口頭にて説明し、被験者としての参加の同意を書面にて得た。被験者は、実験実施前日の激しい運動、飲酒、多量のカフェイン摂取を控え、十分な睡眠を取るよう指示された。当日は少なくとも実験の 2 時間前より食事を済ませ、軽いジョギングやストレッチ体操など十分にウォーミングアップをした後に、安静状態を 20 分以上において実験を実施した。各被験者は NW のフォームチェックや練習を充分に行い、実験への影響を最小限に抑えるよう配慮した。

また、本研究は順天堂大学保健看護学部研究倫理委員会の承認を得た。

表 1 被験者の身体的特徴

被験者	性別	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI
A	男	38	167.0	77.0	27.6
B	女	45	159.0	60.5	23.9
C	男	19	172.8	64.0	21.4
D	女	19	161.4	66.4	25.5
E	男	27	170.0	59.5	20.6
F	男	38	183.0	87.0	26.0
G	男	38	165.0	53.0	19.5
H	男	45	175.0	78.0	25.5
	mean	33.6	169.2	68.2	23.7
	SE	3.8	2.8	4.0	1.0

## 2. 実験プロトコール

被験者は、屋外での歩行テストの実施に先がけ、最大運動テストを行った。歩行テストにおいて、被験者はノルディックポールを使用して歩行するNW、もしくは持たない歩行(Walk)を無作為に配置され最大運動テスト実施した1~2週間後にNWもしくはWalkどちらかの歩行テストから実施し、1~2週間後にもう一方の歩行テストを行った。

### 2.1 最大運動テスト

被験者はピーク酸素摂取量( $\dot{V}O_2$  peak)、乳酸閾値(Lactate threshold: LT)およびOnset of Blood Lactate accumulation (OBLA)を算出するために最大運動テストを実施した。実験1時間前に実験室に入室し、身長および体重を測定した後、十分なウォーミングアップを行った。その後、心拍数モニター(RS400、Polar、フィンランド)および呼気ガス分析装置(AT-1100、アニマ、日本)を装着し、安静座位を15分間保った。安静中の呼気ガス動態および心拍数(HR)が落ち着いていることを確認し、指尖より微量の血液を採取し簡易型乳酸測定器(ラクテートスカウト、EKF DIAGNOSTIC社、ドイツ)を用いて安静時のLaを測定した。運動負荷はパワーマックスV3(コンビウエルネス、日本)のオリジナルプロトコールを利用し、回転数60 rpmで無負荷(0W)から疲労困憊に至るまで3分毎に30Wずつ漸増した。各運動強度におけるLa、HRおよびRPEについては、負荷強度が増加する30秒前に測定した。

最大運動としてのクライテリアは、① $\dot{V}O_2$ が頭打ちになること、②心拍数が最大心拍数に達すること、③RPEが20になること、として実施した。

LTおよびOBLAはそれぞれ、Simonら<sup>9)</sup>およびSjodinとJacobs<sup>10)</sup>に従い算出した。すなわち、LTは漸増運動負荷に伴いLaが上昇し始める点を2本の近似直線の交点から算出し、OBLAは運動強度-血中乳酸濃度曲線よりLaが4 mMに相当する運動強度と

して算出した。

### 2.2 歩行テスト

歩行テストは広域運動公園内にある緩やかな坂道(300m、平均斜度7.2%)を利用して実施した。25m毎にマーカーを配置し、マーカー間を歩行速度に対応する通過時間毎に電子ホイッスルを約1秒間鳴らした。被験者にそのタイミングでマーカーを通過できるように速度を調整する指示を与えて歩行運動における速度を規定した。

歩行テスト前のウォーミングアップ後に心拍数モニターを装着し、10分間安静状態を保持させた。安静時のHRおよびLaを計測した後、被験者は6分間かけてスタート地点に移動し、歩行テストを開始した。歩行テスト中、200~250m間における歩行数を計測し、ゴール直後にHR、RPEおよびLaを計測した。Laの計測が終了し次第、被験者は再度6分間かけてスタート地点に移動し、分速50mより開始し、施行毎に歩行速度を10もしくは20m/minずつ増加させ、OBLA強度を超えるまで実施した。

## 3. ノルディックウォーキング

NWの際の注意事項は、ポールをタイミング後方に押し出すように付き、リズムは上肢のタイミングに合わせるようにして、「ナンバ歩行」にならないよう留意したフォームを指導した。使用したノルディックポール(ツーポール16、ナイト工芸、日本)は各自の身長に0.68を掛けた数値もしくは、肘が直角程度になる長さに調節して実施した。各施行について順序効果が相殺させるように配置された。

## 4. 統計処理

本研究で得られた測定結果は全て平均値および標準誤差で示した。各条件間の比較は対応のあるt検定により行った。統計的な有意水準は危険率5%未満とした。

### III. 結果

最大運動テストの結果、被験者のピーク  $\dot{V}O_2$  ( $\dot{V}O_{2\text{ peak}}$ )、ピーク HR ( $HR_{\text{peak}}$ )、乳酸閾値 (LT) における HR ( $HR_{\text{LT}}$ ) および OBLA 強度における HR ( $HR_{\text{OBLA}}$ ) は、それぞれ  $37.1 \pm 2.7\text{ml/min/kg}$ 、 $179.0 \pm 3.1\text{bpm}$ 、 $114.6 \pm 5.4\text{bpm}$ 、 $157.1 \pm 3.8\text{bpm}$  であった (表 2)。

表 2 最大運動テストで得られた被験者の呼吸循環応答

subjects	$\dot{V}O_{2\text{ peak}}$ (ml/min/kg)	$HR_{\text{peak}}$ (bpm)	$HR_{\text{LT}}$ (bpm)	$HR_{\text{OBLA}}$ (bpm)
A	22.3	179	100	150
B	35.5	174	130	160
C	37.4	191	125	158
D	33.3	177	115	156
E	44.2	190	100	165
F	34.5	180	92	176
G	44.8	163	125	140
H	44.8	178	130	152
mean	37.1	179.0	114.6	157.1
SE	2.7	3.1	5.4	3.8

ピーク酸素摂取量  $\dot{V}O_{2\text{ peak}}$ 、ピーク心拍数  $HR_{\text{peak}}$ 、  
乳酸閾値における心拍数  $HR_{\text{LT}}$ 、OBLA(4 mM La)における心拍数  $HR_{\text{OBLA}}$

歩行テストにおける各歩行速度に対する La、HR および RPE は、図 1 に示した。横軸は歩行速度であり、各項目共に速度依存的に数値が増大していることがわかる。La 動態について、NW は Walk と比較して同一速度において高値を示したものの、有意な差は無かった ( $p>0.05$ )。

また、HR についても NW は Walk と比較して、高値を示す傾向があり、80m/min においては有意であった (NW vs Walk、80m/min;  $125.0 \pm 7.0\text{ bpm}$  :  $118.1 \pm 5.8\text{ bpm}$ ;  $*p<0.01$ )。

RPE に関しても、NW は Walk と比較して、低速度 (80m/min) において高値を示した (NW vs Walk、80m/min;  $12.4 \pm 0.7$  :  $10.5 \pm 0.7$ ;  $*p<0.05$ )。

個人間でのデータのばらつきが大きいため、NW および Walk 間における有意な差は少なかったが、個人内で比較すると差がある傾向があった。

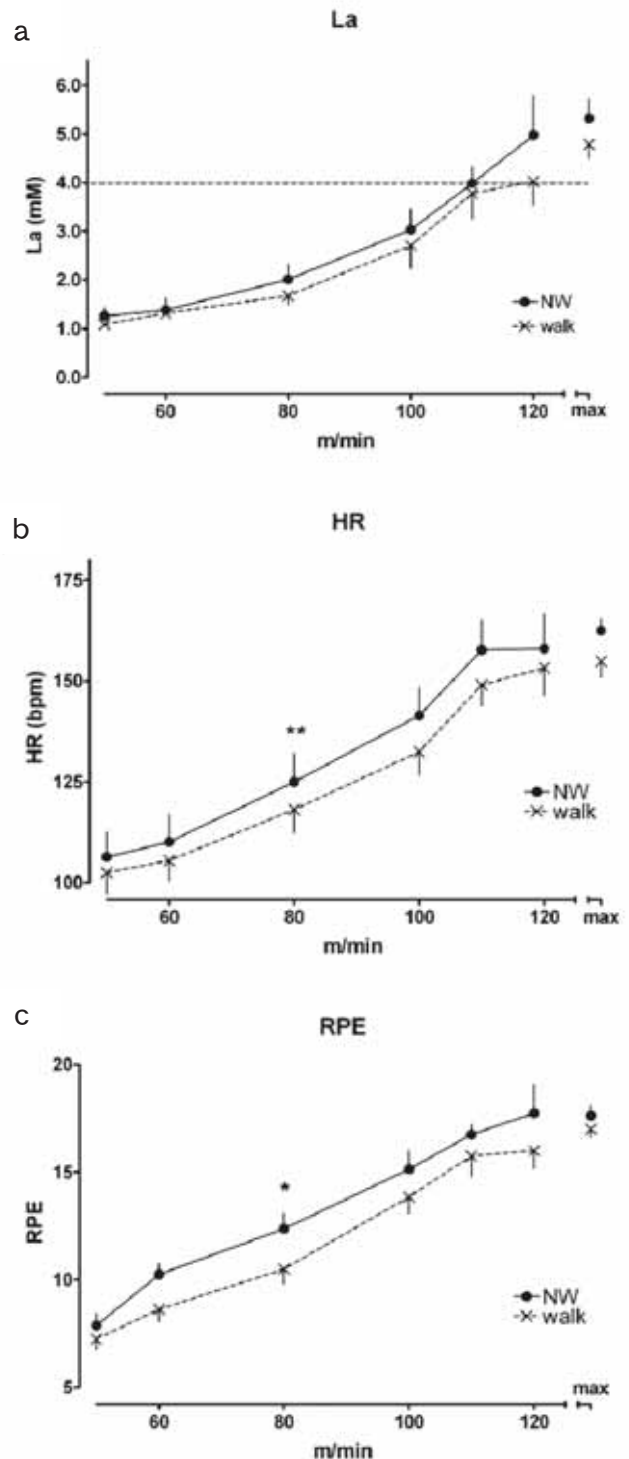


図 1 各歩行速度における血中乳酸濃度 (La/a)、心拍数 (HR/b) および主観的運動強度 (RPE/c)

そこで被験者全員の同一運動強度における HR に対応する La のプロットを図 2 に示した。NW のプロットに対する回帰曲線を実線で、Walk を破線で

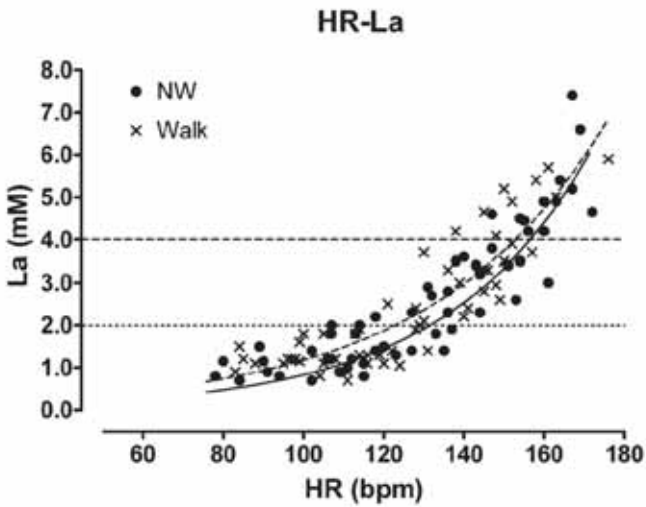


図2 NW および通常歩行における心拍数 (HR) - 血中乳酸濃度 (La) 関係

表した。OBLA 強度に向かって回帰曲線が重なる一方で、低強度においてはNW 群ではHR が高値であってもLa 値が低く抑えられている。このことから、NW は低強度におけるLT を右方にシフトさせていることが示唆されるため、各施行におけるLT およびOBLA を算出した。NW およびWalk 時のLT およびOBLA 強度でのHR の値は、それぞれと  $129.3 \pm 5.85 \text{ bpm}$  vs  $122.0 \pm 5.33 \text{ bpm}$  および  $152.9 \pm 2.73 \text{ bpm}$  vs  $148.6 \pm 2.91 \text{ bpm}$  となり、NW におけるHR の値は有意に高値を示した ( $p < 0.05$ )。

NW 中のLa を横軸、Walk 中のLa を縦軸にプロットしたものが図3 aである。回帰曲線は濃度依存的に破線より開いている ( $y = -8.863 \cdot \exp(-0.1075 \cdot x) + 9.084$ )。図3 bはNW 中のHR を横軸、Walk 中のHR を縦軸にプロットしている。HR についても破線に対して回帰曲線はわずかながら下にあり、同一の速度条件においてWalk よりもNW の方が高値を示した ( $y = 691.2 \cdot \exp(0.00141 \cdot x) + 699.3$ )。

図3 cはNW 中のRPE を横軸、Walk 中のRPE を縦軸にプロットした。RPE の回帰曲線は直線に近い指数関数であり、全体の70%以上(30/38個)のプロッ

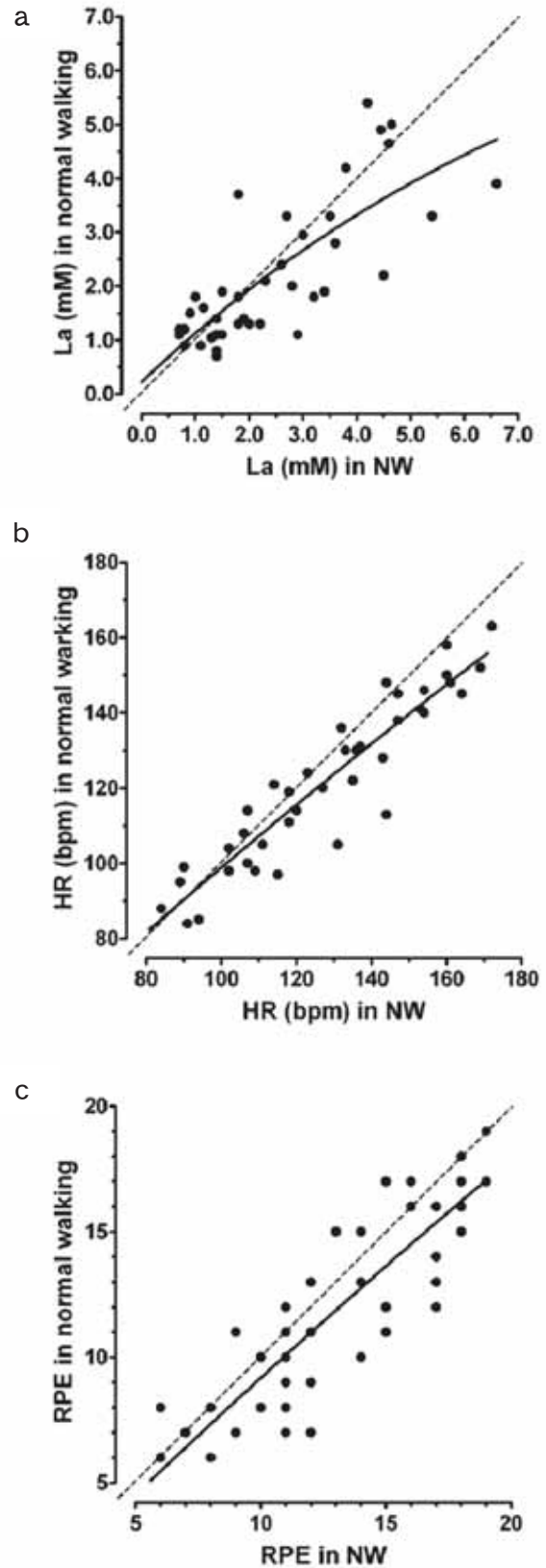


図3 同一強度(速度)におけるNW および通常歩行中のLa(a)、HR(b) およびRPE(c) の分布

トは破線以下となっており、同一強度でもNWの方が高い傾向が伺える ( $y = -109.3 * \exp(-0.009143 * x) + 108.9$ )。

#### IV. 考 察

本研究は、屋外緩斜面におけるNWおよびWalkの両条件における生理学的変数 (La, HR, RPE) を明らかにする事であった。本研究の最も興味深い結果として低強度におけるNWはWalkと比較して、HRおよびRPEが高いものの、Laは低く抑えられていることが挙げられる。

一般的に屋外でのNWとWalkを検討した研究では、心拍数から推定  $\dot{V}O_2 \max$  を算出するため、身体に掛かる負荷についての検討には制限があると示唆される。Rodger<sup>11)</sup>らは、トレッドミルを用いたWalkとPWとの比較において、PWではWalkよりも12%程度  $\dot{V}O_2$  が増大したことを報告している。Churchら<sup>12)</sup>によると、屋外フィールドにおける成人男女のWalkとNWとの比較において、NWでは約20%の有意な  $\dot{V}O_2$  の増加を報告している。本研究では、歩行中の  $\dot{V}O_2$  は測定していないものの、歩行中のHRは低速時にNWで有意に高い値であったことから、身体にかかる運動負荷が高いといえる。

NW中の血中乳酸能動を測定した実験としては、Kukkonenら<sup>7)</sup>およびSchifferら<sup>13)</sup>の報告がある。Kukkonenら<sup>7)</sup>のトレッドミルを用いた実験では、高強度 (80%  $\dot{V}O_2 \max$ ) においてNWとWalkよりも0.4-0.8 mM高値であったものの、低強度 (50%および65%  $\dot{V}O_2 \max$ ) においては差がなかったという報告をした。またSchifferらは400mトラックにおけるフィールドテストにおいて、NW群はWalk群と比較して有意にLaが高かったと報告した ( $p < 0.05$  at 1.8 m/s および  $p < 0.01$  at 2.1 and 2.4 m/s)。しかしながら、彼らが高いと評価した1.8 m/s以上の速度は本実験の110 m/min以上の速度に対応するため、

OBLAを超えてくる強度といえる。

本実験では、更に低速度を個人内でのLTおよびOBLAの算出を行い詳細に検討した結果、NWはWalkよりも高いLTおよびOBLA強度であることを見出した。すなわち、低速度において呼吸循環応答への負荷を維持したまま、下肢より発生する血中乳酸を上肢の筋においてエネルギーとして利用していることにより、心拍数当たりのLaが低下させたと示唆される。Laは蓄積するとアシドーシスを引き起こし、筋収縮を阻害するが、速筋線維において無氣的過程により産生される乳酸は、遅筋線維や心筋細胞において有氣的過程でATPの再合成を行うLactate shuttle<sup>14)</sup>によって、低強度でのLaの低下は説明できる。

高速度 (強度) となった場合、上肢の使用による推進力の増大は血中乳酸の増大につながるため、NWの方がより高い身体負荷をかけることが出来るといえる。

主観的運動強度 (RPE) については、簡易的に運動強度に対する評価ができるため、多くの研究で用いられている<sup>4)5)15)</sup>。富田ら<sup>15)</sup>の報告によると、至適速度によるPWとWalkとの比較では、RPEに差がなかったにもかかわらず、HRおよび  $\dot{V}O_2$  が約10%増加したことを報告している。PWにおいて至適速度が増加していることは著者らも指摘しているが、平地の歩行時であることも考慮にいれなければならない。杉山ら<sup>5)</sup>は、-16%という傾斜面歩行において、上肢を動員して体重を分散しつつ歩行するため、NWとダウンヒルNW (DNW) ではHRおよび  $\dot{V}O_2$  に差がないにもかかわらず、DNWはダウンヒルWalkおよびNWよりも全身および上肢の主観的運動強度 (Omni Scale) が有意に高くなることを報告している。このように運動実施条件によって、身体への負荷強度の掛かり方が異なるため、RPEの結果は一致していない。鍋倉ら<sup>4)</sup>によると、NWは下肢への負担を下

げる一方で、上肢への運動強度を増加させる効果があることを指摘していることから、本研究のように緩斜面登行においては、図 1c で見受けられるように NW は Walk より RPE が高く、負荷強度をきつく感じると考えられる。

本研究は緩やかな上り傾斜（平均 7.2%）NW 時における生理学的変数（HR、La および RPE）について明らかにすることを目的として、健康増進につながる有効的な知見を得ることができた。各歩行速度に対する HR が高いため、対応する La が相対的に低くなり、HR-La 関係曲線が右方にシフトすることが明らかになった。すなわち、低強度においては La を利用しながら運動を実施することができ、また下肢への負担は少ないまま、呼吸循環系への強い刺激を与えることができる。我々の知見により、一般的にニーズが高まりつつあるトレッキングなどのように登り傾斜を利用する際に、データに基づいた指導を行うことができる。

本実験における実験的限界として、男女が混在していることと、上肢の筋力についてのクラス分けを実施していないことが挙げられる。今後、上肢の筋力の把握やそれによるグループ分けを実施して、詳細な検討を加えていきたい。

## 引用文献

- 1) Nakamura K, Kawaguchi H.: Locomotive syndrome. *Nihon Rinsho*. 69(7) 1323-31, 2011
- 2) Koba S, Tanaka H, Maruyama C, et al.: Physical activity in the Japan population: association with blood lipid levels and effects in reducing cardiovascular and all-cause mortality. *J Atheroscler Thromb*. 18(10), 833-45, 2011
- 3) 中川喜直:中高齢者のストックウォーキングが糖・脂質代謝および健康関連体力に与える影響、ウォーキング科学 7、67-72、2003
- 4) 鍋倉賢治、高嶋渉、吉岡利貢：スポーツとしてのノルディック・ウォーキングの可能性、ウォーキング科学 5、69-73、2001
- 5) 杉山康司、川村真未、祝原 豊、他:下りノルディックウォーキングが酸素摂取量、心拍数および主観的運動強度に与える影響、日本生理人類学会誌 13(2)、85-92、2008
- 6) 中川喜直、服部正明、浅沼義英：ストックウォーキングの生理学的研究：傾斜変化による酸素摂取量と節電学的検討、臨床スポーツ医学 19(6)、689-694、2002
- 7) Kukkonen-Harjula K, Hiilloskorpi H, Mänttari A, et al.: Self-guided brisk walking training with or without poles: a randomized-controlled trial in middle-aged women. *Scand J Med Sci Sports*. 17, 316-23, 2007
- 8) 富田寿人、杉山康司、西村千尋、他：中年男性の呼吸循環系に及ぼすポール・ウォーキングの影響、静岡理工科大学紀要 8、179-187、2000
- 9) Simon J, Young JL, Gutin B, et al.: Lactate accumulation relative to the anaerobic and respiratory compensation thresholds. *J Appl Physiol*. 54(1), 13-7, 1983
- 10) Sjödin B, Jacobs I.: Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med*. 2(1), 23-26, 1981
- 11) Rodgers CD, VanHeest JL, Schachter CL.: Energy expenditure during submaximal walking with Exerstriders. *Med Sci Sports Exerc*. 27 (4) , 607-11, 1995
- 12) Church TS, Earnest CP, Morss GM.: Field testing of physiological responses associated with Nordic Walking. *Res Q Exerc Sport*. 73(3), 296-300, 2002
- 13) Schiffer T, Knicker A, Hoffman U, et al.: Physiological responses to nordic walking, walking and

- jogging. *Eur J Appl Physiol.* 98(1), 56-61, 2006
- 14) Brooks GA. Current concepts in lactate exchange. *Med Sci Sports Exerc.* 23(8) 895-906, 1991
- 15) 富田寿人、杉山康司、竹内宏一、他: ポール・ウォーキングが女性高齢者の心拍数、酸素摂取量および主観的運動強度に及ぼす影響、*ウォーキング科学* 4、83-87、2000