

〔論文〕

若年女性における60分間の ノルディックウォーキングとウォーキングの カロリー消費量と脂肪酸化量の差異

高橋 篤志
Atsushi Takahashi

大阪総合保育大学
児童保育学部

足立 哲司
Tetsuji Adachi

大阪体育大学
体育学部

池島 明子
Akiko Ikeshima

大阪体育大学
体育学部

藤田 将弘
Masahiro Fujita

大阪体育大学
教育学部

豊岡 示朗
Jiro Toyooka

大阪体育大学
教育学部

体力レベルの比較的高い若年女性9名を被験者として、トレッドミルの傾斜角度0%、分速100mの速度のウォーキング（以下W）とノルディックウォーキング（以下NW）を60分間実施して、両条件のカロリー消費量と脂肪酸化量を比較した。カロリー消費量（kcal/min）は、運動5分から終末まで、NWがWより0.6～0.7kcal/min上回り（ $p<0.05$ ）、60分間の累積カロリー消費量は、NW：313.4kcal、W：276.5kcalとなり両条件間に有意差が認められた。NWの強度は、ACSMの身体活動強度分類表では、「Light」であったが、60分間の運動時間では、ウェイトロスに必要なカロリー消費量に達した。脂肪酸化量（g/min）は、NWとWとも運動10分以後から漸増したが、NWがWを上回る状況は、運動20分以後、有意に60分まで続いた。運動終末時の脂肪酸化量は、NW：0.407g/min、W：0.311g/minであり、30.9%の差が生じた（ $p<0.05$ ）。運動による累積脂肪酸化量は、NWで19.5g、Wは14.8gとなり、両者間に有意差が認められた。この差の要因は、同速度であるものの、NWがWに比べ、 $\dot{V}O_2$ が約0.12l/min高く、RERで0.02～0.03低いことによると推察された。NWの脂肪酸化量は、運動45分以後、0.37g/min以上にまで増加し、各被験者の最大脂肪酸化量の平均値に達した。一定速度のNWは、脂肪からのカロリー供給が漸増していく運動様式であり、脂肪酸化量の変動からは、25分以上の持続時間が効果的と示唆された。

キーワード：ノルディックウォーキング、ウォーキング、カロリー消費量、脂肪酸化量、RER

I. 緒言

ノルディックウォーキング（以下NW）に関する研究論文は、Rodgersら（1995）、Porcariら（1997）の生理学的な反応を見た内容のものから報告されており、2011年以降は、毎年のようにNWの論文Reviewが発表されてきた（Morgulec-Adamowicz, 2011；Fritschi, 2012；Tschantcher, 2013；Pérez-Sorianoら, 2014）。その中味を大別すると、NW実施による身体の生理学的反応を見たもの、人々の健康改善を目的とした体力プログラムに

NWを用いたもの、バイオメカニカルな局面からNWの長所を把握したものなどに分けられる。これらの研究内容や2015年以降のNW研究に見られた状況は、各研究のNWの運動時間が5分から30分間であり、実際に行われているNWのトレーニング時間（45～90分：Hagnerら, 2009、Figard-Fabreら, 2010）に類似した研究が少ないこと、加えて、60分以上の長時間のNWの脂質代謝などに関する研究例は、池島ら（2016）の報告しかなく、今後の研究が待たれる状態にあった。NWは、同じ速度でのウォーキング（以下W）に比べると酸素摂取量が、約12

～23% 多くなることから、肥満解消に応用できる運動になることも示唆されている (Rodgers ら, 1995; Porcari ら, 1997; Hagner ら, 2009; 池島ら, 2016)。NW を用いたトレーニングにより、体重、体脂肪率や腰回りのサイズの減少、筋肉量の増加などを明らかにした報告も数多くみられる (寄本ら, 2007; Figard-Fabre ら, 2010; Mikalacki ら, 2012; Fritz ら, 2013)。一過性の長時間の NW におけるカロリー消費量と脂質代謝が明らかになると、トレーニングによる効果の要因も明確になると思われる。本研究の目的は、若年女性を対象に 60 分間の NW におけるカロリー消費量と脂肪酸化量の動態を明らかにし、W との応答の違いを比較検討することにある。

II. 方法

1. 被験者

被験者は、運動習慣のある比較的体力レベルの高い若年女性 9 名で、NW の講習を数回受けているが、NW の初心者であった。被験者の身体的特徴は表 1 に示した。NW の基本的な歩行指導 (ポールの握り方やポールを突く位置、タイミングなど) は、実験日の 2～3 日前にトレッドミル上で 0% の傾斜角度にて約 10 分間行った。実験で用いたポールは、ナイト工芸社製のツーポール 16 (重量約 225g/本) で、ポール長は身長×0.68 (cm) とした。被験者には、研究の目的と測定内容の説明を十分に言い、参加の同意を得た。本研究は、大阪体育大学においてヒトを対象とした研究に関する倫理審査委員会による承認を得て実施した (承認番号 15-25)。

2. 実験内容

(1) 実験 I

O 体育大学人工気候室にて室温 21～23℃ の環境条件を設定し、トレッドミルを用いて傾斜角 0% で、NW と W を 3～6 日間空けて、ランダムにそれぞれ 60 分間実施した。被験者は、両実験とも、起床後、何も食わずに (水の補給のみ) 実験室に午前 8 時 30 分から 9 時に到着して測定に備えた。運動開始前に身長は自動身長計 (ヤガミ社製 YKH-230P)、体重および体脂肪率は身体組成計 (タニタ社製 BC-118E) を用いて測定した。どの実験条件とも、5 分間の安静時酸素摂取量と炭酸ガス排出量の測定後、約 2 分間のストレッチを実施して、運動を開始した。2 種類の実験条件の順序はランダムとした。NW と W の歩行速度は、池島 (2015) の報告と同様に 100m/分とした。酸素摂取量と炭酸ガス排出量の測定は、呼気ガス分析器 (ミナト医科学社製 AE-280 と MG-360) を用いた。呼気ガス分析器の較正は、実験直前に化学的方法

で予め分析された同濃度の標準ガスを用いて行った。酸素摂取量は運動中、毎分連続測定した。 $\% \dot{V}O_2\max$ は、得られた酸素摂取量を各被験者の最大酸素摂取量で除して (運動中の酸素摂取量 ÷ 最大酸素摂取量 × 100) 算出した。酸素摂取量のカロリー値への換算は、Zuntz による非タンパク RQ 別の酸素 1 ℓ 当たりの熱量等価表を用いて算出した (McArdle ら, 2001)。脂肪酸化量は、尿素窒素の排出量は無視できると仮定する Frayn (1983) の化学方程式 (脂肪酸化量 = $1.67 \times \dot{V}O_2 - 1.67 \times \dot{V}CO_2$) を用いて毎分ごとに算出した。なお、運動開始から 5 分までの脂肪酸化量の算出は、「二酸化炭素排出量が、運動開始時には酸素摂取量から期待される二酸化炭素の排出量より少なくなり、RER の一過性の低下を起こす」ことが報告されているので (矢野, 1998)、その時間帯の算出を取りやめ、運動 6 分以後からとした。心拍数は心拍計を手首に装着する光学式心拍計 (エプソン社製 PS-500B) を用いて記録した。主観的運動強度 (Rating of Perceived Exertion、以下 RPE で示す) は Borg scale の日本語訳である小野寺ら (1976) の方法を用い、両条件とも 5 分毎に表を提示して求めた。加えて、両条件とも、運動終了直後に指先より血液 0.3 μl を採血して、血中乳酸濃度をラクテート・プロ 2 (アークレイ社製 LT-1730) にて分析した。

(2) 実験 II

最大脂肪酸化量は、最大酸素摂取量も同時に測定できる Achten ら (2003) および Venables ら (2005) の方法に準じ、トレッドミルを用いて、一晩絶食の fasting 条件で得た。測定中、呼吸交換比が 0.99 以下の場合、各負荷とも 3 分間の運動時間のラスト 2 分間の酸素摂取量と炭酸ガス排出量を平均して、前述の Frayn の式より脂肪酸化量を求め、運動中に得られた脂肪酸化量の最大値を最大脂肪酸化量とした。呼吸交換比が 1.0 に達した場合、1 分毎に速度を 10m 増加する速度漸増負荷法にて被験者を疲労困憊に追い込み、得られた酸素摂取量の最大値を最大酸素摂取量とした。最大値の出現判断は、1) 運動強度が増加しても酸素摂取量が高まらない (2 ml/kg/min 以下)、2) 予測最大心拍数 (220 - 年齢) の 10 拍/分以内、3) 呼吸交換比が 1.05 以上という 3 項目のうち、2 つ以上が見られた場合とした。

3. 統計処理

各項目の測定値は、すべて平均値 ± 標準誤差で示した。統計解析には SPSS (Statistics version 21、IBM 社製) を用いた。時間経過に伴う 5 分毎の各測定項目の NW と W 間の相違は *t* 検定を用いて行った。いずれも、統計的有意水準は、*p* < 0.05 とした。

Ⅲ. 結果

被験者は、種々のスポーツ活動に取り組む若年女性9名(平均年齢21.7歳、21~25歳)(表1)であり、体脂肪率とBMI、最大酸素摂取量の平均値とその範囲は、それぞれ20.0%(11.8~23.7%)、20.3(18.3~22.2)、2.45ℓ/min(1.83~2.96ℓ/min)であった。最大脂肪酸化量は、0.27~0.55g/minの範囲にあり、平均0.37g/minであった。表2に60分間のWとNWの時間経過に伴う酸素摂取量、% $\dot{V}O_2$ max、呼吸交換比(以下、RER)、心拍数および主観的運動強度(以下、RPE)と血中乳酸濃度の変動を示した。酸素摂取量と% $\dot{V}O_2$ maxは、両条件の場合とも、運動5分からNWがWを上回り、15分以後は定常状態の傾向が見られた。運動終末時の酸素摂取量は、W:0.99ℓ/min、NW:1.11ℓ/min、% $\dot{V}O_2$ maxは、W:40.3%、NW:45.8%となり両条件間に有意差が認められた。RERは、運動10分以後からNWがWに比べて低い傾向となり、運動20分から両条件間に有意差が生じ始め、運動35分以後は、終末(W:0.81、NW:0.78)までNWとWの間に差が認められた($p<0.05$)。心拍数とRPEは運

動25分まで、両条件間で差が見られなかった。心拍数は運動30分以後、RPEは45分以後に、NWがWの値を上回り($p<0.05$)、終末時の値は、W:106拍/minと9.8(かなり楽に感じる)、NW:110拍/minと11.4(楽に感じる)となった。また、運動直後の血中乳酸濃度は、W:0.89±0.09mmol/ℓ、NW:0.96±0.08mmol/ℓとなり、両条件間に有意差は認められなかった。

図1にWとNWの時間経過に対する毎分当たりのカロリー消費量の変動を示した。両条件のカロリー消費量は、運動開始5分以後から、Wに比べNWが約0.6~0.7kcal/min高く、運動終末(W:4.62kcal/min、NW:5.25kcal/min)まで有意差が認められた。図2にWとNWの運動に伴う累積カロリー消費量を示した。NWは313.4kcal、Wの場合、276.5kcalとなり両者間に5%水準の有意差が認められ、その差異は36.9kcalであった。運動の時間経過に伴うWとNWの脂肪酸化量(g/min)の変動を図3に示した。両条件とも運動の時間経過に伴って脂肪酸化量は徐々に増加し、NWの場合、運動20分で0.32g/min、40分で0.37g/min、60分で0.41g/minへと増大した。Wの同時間では、それぞれ、0.23g/min、

表1. 被験者の身体的特徴

被験者	項目	年齢 (yrs)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	体脂肪率 (%)	$\dot{V}O_2$ max (ℓ/min)	$\dot{V}O_2$ max (ml/kg/min)	MFO* (g/min)
A		21	160	49.2	19.2	22.7	1.83	37.20	0.27
B		21	163	48.6	18.3	11.8	2.41	49.53	0.39
C		22	156	46.6	19.1	17.4	2.07	46.19	0.32
D		22	163	57.4	21.6	23.6	2.96	61.35	0.55
E		21	156	47.3	19.5	16.0	2.31	48.75	0.25
F		21	162	49.1	18.7	20.5	2.48	50.57	0.32
G		21	161	56.7	21.9	21.6	2.85	50.21	0.34
H		21	164	58.5	21.8	23.3	2.55	43.50	0.48
I		25	157	54.6	22.2	23.7	2.61	47.82	0.42
平均値		21.7	160.2	52.0	20.3	20.0	2.45	48.35	0.37
標準誤差		0.4	1.1	1.6	0.5	1.4	0.12	2.15	0.03

* MFO: 最大脂肪酸化量

表2. 運動時間に伴う各測定項目の変化

項目	運動時間 (分)												
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
酸素摂取量 (ℓ/分)	W	0.94±0.04*	0.97±0.05*	0.99±0.05*	0.98±0.05*	0.98±0.05*	0.99±0.05*	0.98±0.05*	1.00±0.05*	0.99±0.05*	0.99±0.05*	0.99±0.05*	0.99±0.05*
	NW	1.09±0.04	1.10±0.04	1.08±0.05	1.12±0.04	1.12±0.04	1.11±0.04	1.12±0.04	1.12±0.04	1.12±0.04	1.11±0.04	1.11±0.04	1.11±0.04
% $\dot{V}O_2$ max	W	38.3±1.8*	39.7±2.1*	40.1±2.0*	39.9±2.2*	40.1±2.0*	40.4±1.9*	40.0±2.0*	40.7±2.0*	40.3±2.1*	40.4±2.1*	40.3±2.0*	40.3±2.1*
	NW	43.5±1.8	43.9±2.1	44.0±2.5	45.6±1.9	45.6±2.0	45.3±1.9	45.6±1.9	45.6±1.8	45.7±1.9	45.3±1.8	45.3±1.8	45.8±2.0
呼吸交換比 (RER)	W		0.87±0.01	0.87±0.01	0.86±0.01*	0.84±0.01*	0.83±0.01	0.83±0.01*	0.82±0.01*	0.82±0.01*	0.81±0.01*	0.81±0.01*	0.81±0.01*
	NW		0.84±0.01	0.84±0.01	0.83±0.01	0.81±0.01	0.81±0.01	0.80±0.01	0.80±0.01	0.79±0.01	0.79±0.01	0.79±0.01	0.78±0.01
心拍数 (拍/分)	W	95±3	95±4	101±3	99±4	100±4	100±3*	102±4*	103±3*	103±4*	104±4*	107±5	106±5*
	NW	96±5	109±4	108±3	108±5	110±5	108±3	113±4	112±4	108±4	111±4	109±3	110±4
主観的運動強度 (RPE)	W	7.8±0.5	8.1±0.5	8.6±0.7	9.2±0.6	9.3±0.7	9.4±0.9	9.6±0.4	9.6±0.3	9.8±0.4*	9.8±0.8*	9.9±0.8*	9.8±1.0*
	NW	7.3±0.1	8.1±0.5	8.9±0.5	9.5±0.6	9.9±0.4	10.2±0.4	10.8±0.5	11.0±0.4	11.2±0.8	11.5±0.5	11.5±0.4	11.4±0.3
血中乳酸濃度 (mmol/ℓ)	W				0.89±0.06								0.89±0.09
	NW				0.95±0.05								0.96±0.08

平均値±標準誤差

W: Walking, NW: Nordic Walking

W vs. NW *:p<0.05

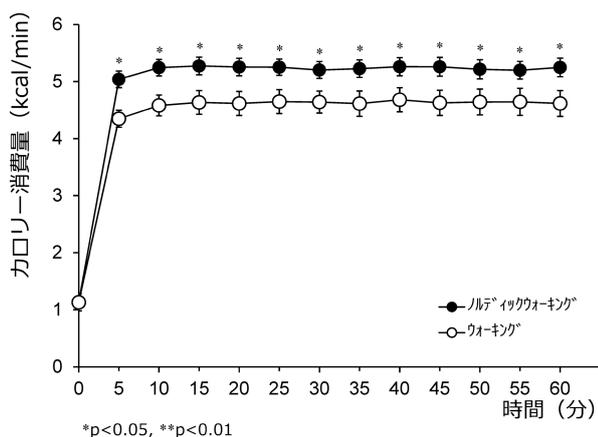


図1. 時間経過に伴う W と NW のカロリー消費量の変動

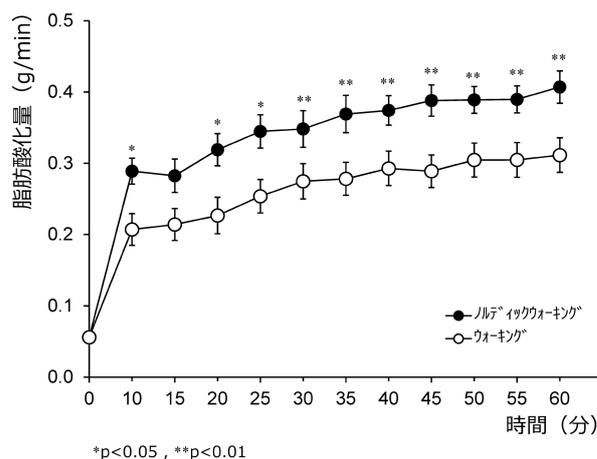


図3. 時間経過に伴う W と NW の脂肪酸化量の変動

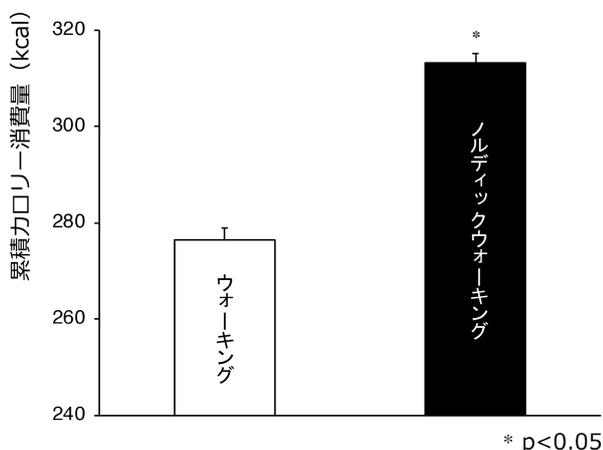


図2. W と NW の累積カロリー消費量

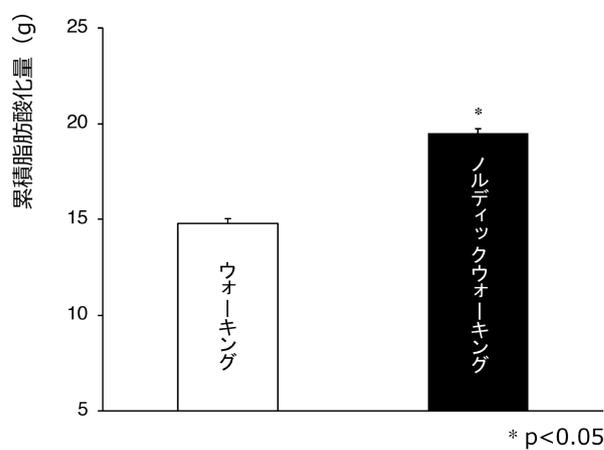


図4. W と NW の累積脂肪酸化量

0.29g/min、0.31g/min となり、各運動経過時間において NW の脂肪酸化量が W を上回り、有意差が認められた ($p<0.05$)。図4に両者の運動に伴う累積脂肪酸化量を示した。方法で述べたように運動開始後5分間の値を除いた累積脂肪酸化量は、W : 14.8g、NW : 19.5g と算出され、NW の累積脂肪酸化量は、W に比べて 4.7g 多くなり両条件間に有意差 ($p<0.05$) が認められた。

IV. 考察

本研究の目的は、体力レベルの比較的高い成人女性が、毎分 100m という速歩に近い速度で W と NW を 60 分間実施した際のカロリー消費量と脂肪酸化量の動態を把握し、両条件の応答の違いを明らかにすることであった。出来るだけ実際のトレーニングと同じ内容条件を意図したからである。NW のカロリー消費量 (kcal/min) は、運動5分後から終末まで W に比べ、約 0.6~0.7kcal/min 高い定常状態を示し、13% 上回る結果となった。NW

のカロリー消費量が、W より 16~22% 高くなることを Rodgers ら (1995)、Porcari ら (1997) も報告している。本研究の速度は、それら研究の女性被験者の場合に比べ、毎分 1~11m/min 遅いものの、類似した結果となった。また、60 分間という比較的長い運動時間の累積カロリー消費量は、NW が 313.4kcal、W が 276.5kcal と算出された。アメリカスポーツ医学会 (以下、ACSM) の position stand (2001) によると、心肺持久力向上とウェイトロス をセットにして取り組む場合、1 日当たりの運動によるカロリー消費量として 300~400kcal の必要性を強調している。これを基にすると、本研究の毎分 100m の速度による NW の結果は、300kcal を目標にした場合、必要条件を満たしているように思われる。しかし、400kcal を目安にするとさらに約 20 分の時間を増すことが必要になろう。本研究の NW の運動強度の尺度は、心拍数で運動 10~60 分まで約 110 拍/分、主観的運動強度は運動 45 分以後で 11 (楽に感じる)、 $\% \dot{V}O_2 \text{max}$ では、運動 5 分後からは約 44~46% の定常状態、METs を求めると 4.4

METsとなった。これらの値をACSM(2006)の身体活動強度分類表で比べると、どの強度も「Light」のレベルに相当した。ACSMが推奨している有酸素運動の強度は、「Moderate」から「Vigorous」の範囲である。これを基にすると、本結果は、ウェイトロスの面からは効果的だが、心肺持久力を高めるという観点からは、強度的に軽負荷であることを示唆している。池島ら(2015)や高橋ら(2015)は、本研究と同じ速度のNWを体力レベルの高い男女学生で実施してその強度を報告している。それによると傾斜0%では、本結果と同様に「Light」レベルであった。若年女性にトレッドミルを用いてNWの処方をする場合、強度を高める処方手段として、本研究で用いた毎分100m以上の速度は、長く続けることが難しいので(宮下, 2006)、傾斜角を漸増する方法(高橋ら, 2015)が効果的になろう。加えて、ウェイトロスを意図したトレーニング手段としてNWを用いる場合、その運動時間が、20~30分ではカロリー消費量(約105~158kcal)から見て少なく、池島らの報告(2016)からも60分前後の時間が必要と思われる。一方、Wのカロリー消費量は、60分間でNWの88%であった。ウェイトロスに見合うカロリー消費量まで高めるには、本研究で用いた速度の場合、運動時間をさらに5~10分増加すると300kcalに達すると考えられる。Hansonら(2015)のウォーキングのメタ解析では、その実施によって幅広い範囲の健康への利点がエビデンスとして明らかにされている。

本研究では、WとNWの運動強度とカロリー消費量の測定に加え、長時間運動の時間経過に伴う脂肪酸化量の変動を比較することも目的の一つとしていた。WとNWの60分間の運動における脂肪酸化量は、運動開始10分の脂肪酸化量の変動幅が最大になり、W:0.207g/min、NW:0.289g/minにまで増加し、その後、運動40分まで漸増して、以後60分まで微増して行く傾向となった。NWの終末値は0.41g/min、Wは0.31g/minとなり、NWが約31%高くなった。両条件とも「Light」な強度であり、心拍数、カロリー消費量が定常状態の運動であったので、RERは徐々に低下して脂肪酸化量は、運動開始から20分でNWとWの間に有意差が生じた。運動20分でのカロリー消費量に対する脂肪からの供給%は、NWの56.2%に対しWは45.9%、運動60分では、それぞれ、74.5%と63.9%と推測された(McArdleら2001)。運動の時間経過に伴う脂肪からの供給%の増加は、両条件とも脂質代謝が徐々に高進されたことを示唆している。興味深いことは、NWの脂肪酸化量が、運動20分以後からWを約26~31%も上回った結果である。その要因は、腕で地面を押して歩く(歩幅の増加を生む)という

動作フォームから起因すると思われるNWの酸素摂取量が、Wに比べ、運動開始時から終末まで約0.12ℓ/min多く、 $\dot{V}O_2\max$ にして約5.5%の増加を示し、RERは Δ 0.03低下したことに求められる。この結果を上述したFraynの方程式(1983)に酸素摂取量と炭酸ガス排出量(RERの低下)を代入すると、脂肪酸化量の増加が予測される。脂肪酸化量と $\dot{V}O_2\max$ の関係を調べた研究(Chenevièreら, 2010;高橋ら, 2011, 2012)によれば、本研究の40% $\dot{V}O_2\max$ (W)から45% $\dot{V}O_2\max$ (NW)の強度範囲では、5% $\dot{V}O_2\max$ の差で高い強度の方に、約6~8%多い脂肪酸化量を生むことが示されている。

通常、運動強度の増加により、RERは高進するが、20~50% $\dot{V}O_2\max$ の低強度の場合、RERの応答はほとんど変わらないことをÅstrandら(2003)は報告している。また、Astorino(2000)は、fasting条件で15分間のトレッドミル運動でのRERと% $\dot{V}O_2\text{peak}$ 、脂肪酸化量の関係を調べている。25% $\dot{V}O_2\text{peak}$ と40% $\dot{V}O_2\text{peak}$ のRERは、0.80の同値となり、この強度幅では、類似した脂肪代謝反応であったことを明らかにしている。これらの報告によれば、本研究のNWとWの強度では、RERの応答(終末時0.78と0.81)からみて、高いレベルの脂肪代謝で運動していたと示唆される。加えて、NWの場合、Wと同じ速度で運動して、酸素摂取量の高進が生じたのに、糖由来の血中乳酸濃度が1mmol/ℓ以下で代謝は有酸素的に推移していたと考えられ、全身の約90%の筋肉を使用する(Wikipedia)というNWの動作スタイルが、FFAの取り込みに加え、筋肉内トリグリセライドの利用増加(Romijnら, 1993)などを引き起こし、Wに比べて、より脂肪の酸化を高めたとも考えられる。

本研究と同様に一定の速度でNWとWを実施し、女性を被験者としてRERの変動を調べた研究(Rodgersら, 1995;Porcariら, 1997;Churchら, 2002)も報告されている。Porcariら(1997)とRodgersら(1995)の速度は、101~111m/minと本研究よりわずかに速い速度で、運動時間は20~30分であった。平均% $\dot{V}O_2\max$ は、44.6~45%であり本研究とほぼ同様であった。しかしながら、RERは両研究ともNWがWより高い値を示し、本結果と異なった。Churchら(2002)の研究は、200mトラックで1600mを各自の任意速度で歩く方法で、その平均速度は、本研究より毎分4m遅い96m/min、運動時間は16~17分であった。RERはNWの0.88に対しWは0.95となり、脂肪代謝高進の傾向を示したが、有意差は認められなかった。上述した3つの研究結果は、本研究と比べ、速度が異なること、脂肪酸化量の変動を主目的としていないこと(fasting条件でない)、RERの値は、Rodgersら(1995)以外は、トータルの運動時間の平均

で示していること、運動の実施時間が短いことなどから単純に比較することは難しい。

本研究では、fasting (一晩の絶食) 状態で被験者の最大脂肪酸化量 (以下:MFO、平均:0.37g/min) を測定した。NW の運動時間に伴う脂肪酸化量を MFO に対する % として比較すると、平均的には、運動 20 分で 86% レベル、40 分以後は 100% レベルに達した。また、ウォーキングの場合は、同時間で 61% と 79% レベルに相当した。このことは、両条件の運動時間が 20 分を越えてくると、各被験者の脂肪酸化量が、かなり高いレベルにまで達することを示唆している。Achten らは (2002)、MFO から 10% 以内の脂肪酸化量 (本研究では、0.333g/min) の生じる強度を Fat Max Zone と名付けている。ゾーン内の強度であれば、運動中、脂肪の酸化が高い状況にあることを意味する。20 歳代のアクティブな女性の Fat Max Zone を高橋ら (2012) の報告から予測すると、45~65% $\dot{V}O_2\text{max}$ の範囲に相当した。本研究の NW の強度は、運動 20 分以後、約 45% $\dot{V}O_2\text{max}$ であり、このゾーンの下限強度に相当した。また、運動時間に伴って MFO から 10% 以内の脂肪酸化量の出現した時間は、25 分以後となった。これらの結果から、若年女性が分速 100m の速度で 60 分間実施した NW は、各被験者の脂肪代謝の高いレベルに達する強度であり、時間条件としては、25 分以上必要であることが示唆された。なお、本実験の速度での W の場合は、Fat Max Zone の脂肪酸化量を生む強度に達せず、60 分の運動時間内でもそのレベルまで高まらなかった。得られたデータの範囲から NW と W の脂肪代謝を比較すると、NW の優位性が明らかになった。

V. まとめ

体力レベルの比較的高い若年女性を被験者として、トレッドミルの傾斜角度 0%、分速 100m の速度の W と NW を 60 分間実施して、両条件のカロリー消費量と脂肪酸化量を比較した。毎分当たりのカロリー消費量は、NW が W を 0.6~0.7kcal 上回り、60 分間の累積カロリー消費量では、NW が 313.4kcal、W が 276.5kcal になり、両群間に有意差が認められた。両条件の脂肪酸化量は、運動の時間経過に伴って漸増し、累積脂肪酸化量は、NW で 19.5g、W は 14.8g となり、両者間に有意差がみられた。この差異の要因は、両条件間の酸素摂取量と RER の違いにあると推察された。また、NW の脂肪酸化量は、運動 45 分以後、平均 0.37g/min にまで高まり、最大脂肪酸化量レベルにまで到達した。一定速度の NW は、脂肪からのカロリー供給が漸増的に高まる運動様式であると示唆された。

参考文献

- Achten, J., Gleeson, M., and Jeukendrup A. E. (2002). Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc*, 34(1), 92-97.
- Achten, J., Venables, M. C., and Jeukendrup, A. E. (2003) Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *Metabolism*, 52(6), 747-752.
- American College of Sports Medicine. (2006). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, Seventh edition. Lippincott Williams & Wilkins.
- American College of Sports Medicine; Jakicic, J. M., Clark, K., Coleman, E., Donnelly, J. E., Foreyt, J., Melanson, E., Volek, J., Volpe, S. L. (2001). American College of Sports Medicine position stand. Appropriate intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc*, 33(12), 2145-2156.
- Astorino, T. A. (2000). Is the ventilatory threshold coincident with maximal fat oxidation during submaximal exercise in women? *J Sports Med Phys Fitness*, 40(3), 209-216.
- Åstrand, P. O., Rodahl, K., Dahl, H. A., and Strömme, S. B. (2003). Chapter 12 Nutrition and physical performance, *Textbook of work physiology*, Fourth edition. Human Kinetics, pp.369-394.
- Chenevière, X., Malatesta, D., Gojanovic, B., and Borrani, F. (2010) Differences in whole-body fat oxidation kinetics between cycling and running. *Eur J Appl Physiol*, 109(6), 1037-1045.
- Church, T. S., Earnest, C. P., and Morss, G. M. (2002). Field testing of physiological responses associated with Nordic Walking. *Res Q Exerc Sport*, 73(3), 296-300.
- Figard-Fabre, H., Fabre, N., Leonardi, A., and Schena, F. (2010). Physiological and perceptual responses to Nordic walking in obese middle-aged women in comparison with the normal walk. *Eur J Appl Physiol*, 108(6), 1141-1151.
- Frayn, K. N. (1983). Calculations of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 55(2), 628-634.
- Fritschi, J. O., Brown, W. J., Laukkanen, R., and van Uffelen, J. G. Z. (2012). The effects of pole walking on health in adults: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports*, 22(5), e70-e78.
- Fritz, T., Caidahl, K., Krook, A., Lundström, P., Mashili, F., Osler, M., Szekeres, F. L., Östenson, C. G., Wändell, P., and Zierath, J. R. (2013). Effects of Nordic walking on cardiovascular risk factors in overweight individuals with type 2 diabetes, impaired or normal glucose tolerance. *Diabetes Metab Res Rev*, 29(1), 25-32.
- Hagner, W., Hagner-Derengowska, M., Wiacek, M., and Zubrzycki, I. Z. (2009). Changes in level of $\dot{V}O_2\text{max}$, blood lipids, and waist circumference in the response to moderate endurance training as a function of ovarian aging. *Menopause*, 16(5), 1009-1013.
- Hanson, S., and Jones, A. (2015). Is there evidence that walking groups have health benefits? A systematic review and meta-

- analysis. *Br J Sports Med*, 49(11), 710-715.
- 池島明子, 豊岡示朗 (2015). 傾斜角度の変化に伴うノルディックウォーキングの運動強度-運動習慣のある女子大学生を対象として- 大阪体育大学紀要, 46, 29-38.
- 池島明子, 豊岡示朗 (2016). 60分間のノルディックウォーキングにおけるカロリー消費量と脂肪酸化量-トレッドミル傾斜角度0%と角度変動処方との比較研究- 大阪体育大学紀要, 47, 43-53.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., and Katch, V. L. (2001). In *Essential of Exercise Physiology*, Fourth edition. Measurement of human energy expenditure. Lippincott Williams & Wilkins, 142-153.
- Mikalacki, M., Radjo, I., Cokorilo, N., Korovljević, D., and Smajic, M. (2012). Influence of Nordic walking on body composition of elderly women. *Health Med*, 6, 476-482.
- 宮下充正 (2006). ウォーキングブック-科学に基づいたウォーキング指導と実践- ブックハウス・エイチデイ
- Morgulec-Adamowicz, N., Marszałek, J., and Jagustyn, P. (2011). Nordic walking - a new form of adapted physical activity (a literature review). *Hum Mov*, 12, 124-132.
- 小野寺孝一, 宮下充正 (1976). 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性- Rating of perceived exertionの観点から- 体育学研究, 21(4), 191-203.
- Pérez-Soriano, P., Encarnación-Martínez, A., Aparicio-Aparicio, I., Giménez, J. V., and Llana-Belloch, S. (2014). Nordic walking: A systematic review. *Eur J Hum Mov*, 33, 26-45.
- Porcari, J. P., Hendrickson, T. L., Walter, P. R., Terry, L., and Walsko, G. (1997). The physiological responses to walking with and without power poles on treadmill exercise. *Res Q Exerc Sport*, 68(2), 161-166.
- Rodgers, C. D., VanHeest, J. L., and Schachter, C. L. (1995). Energy expenditure during submaximal walking with Exerstriders. *Med Sci Sports Exerc*, 27(4), 607-611.
- Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E., and Wolfe, R. R. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol*, 265, E380-391.
- 高橋篤志, 池島明子, 友金明香, 豊岡示朗 (2015). 傾斜角度の変化に伴うノルディックウォーキングの運動強度 大阪総合保育大学紀要, 9, 57-65.
- 高橋篤志, 中嶋南紀, 山崎大樹, 豊岡示朗 (2011). 漸増負荷運動での最大脂肪酸化量に対するFastingとFeedingの影響 大阪総合保育大学紀要, 5, 95-104.
- 高橋篤志, 山崎大樹, 豊岡示朗 (2012). 運動習慣のある女性の運動中の脂肪酸化量-20歳代と60歳代の比較- 大阪総合保育大学紀要, 6, 137-148.
- Tschentscher, M., Niederseer, D., and Niebauer, J. (2013). Health benefits of Nordic walking: a systematic review. *Am J Prev Med*, 44(1), 76-84.
- Venables, M. C., Achten, J., and Jeukendrup, A. E. (2005). Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J Appl Physiol*, 98(1), 160-167.
- ウィキペディア ノルディックウォーキング, フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』
<https://ja.wikipedia.org/wiki/ノルディックウォーキング>
(2018年9月5日)
- 矢野徳郎 (1998). 呼吸-運動に対する応答とトレーニング効果-第2章 肺におけるガス交換5. 運動と二酸化炭素貯蔵 宮村実晴, 古賀俊策, 安田好文 (編) ナップ pp.138-147.
- 寄本明, 坂手誠治, 分木ひとみ, 夏原善治, 布施治美 (2007). 6ヶ月間のストックウォーキングおよびノーマルウォーキングが血液性状・形態・機能に及ぼす影響 ウォーキング研究, 11, 133-141.

The Difference Between Calorie Expenditure and Fat Oxidation Rate in Young Females During 60-minute Nordic Walking and Walking

Atsushi Takahashi* Tetsuji Adachi** Akiko Ikeshima**
Masahiro Fujita** Jiro Toyooka**

* *Osaka University of Comprehensive Children Education*

** *Osaka University of Health and Sport Sciences*

Nine moderately active females were put to a treadmill test during 60 minutes of walking (hereinafter referred to as W) and Nordic walking (hereinafter referred to as NW) at an incline of 0% and velocity of 100m/min, and a comparison was made in calorie expenditure and fat oxidation rate under respective conditions. In calorie expenditure (kcal/min), NW surpassed W by 0.6~0.7kcal/min ($p<0.05$) from 5 minutes after start to the end of exercise, but in cumulative calorie expenditure for 60 minutes, NW scored 313.4kcal and W 276.5kcal, with a significant difference between the two conditions. The intensity of NW was defined as “light” according to the ACSM body activity intensity classification table, but it consumed enough calories to cause weight loss during the 60-minute exercise time. Fat oxidation rate (g/min) increased gradually in both NW and W after 10 minutes of exercise, with NW surpassing W significantly after 20 minutes from the start till the end of exercise. Fat oxidation rate at the ending time of exercise were 0.311g/min for W and 0.407g/min for NW respectively, showing a difference of 30.9% ($p<0.05$). The cumulative rate of fat oxidation by the exercise was 19.5g for Nordic walking and 14.8g for walking, with a significant difference between the two. The factor contributing to this difference was surmised that NW was higher in $\dot{V}O_2$ by 0.12 l /min and lower in RER by 0.02~0.03 than W. The fat oxidation rate by NW increased to over 0.37g/min after 45 minutes of exercise, reaching the average maximal fat oxidation rate of the subjects. NW is an exercise form in which calorie supply from fat increases gradually, and the exercise duration of more than 25 minutes was suggested to be effective from the change of fat oxidation rate.

Key words : nordic walking, walking, calorie expenditure, fat oxidation, RER