

## 2015 年度 公益財団法人 ミズノスポーツ振興財団研究助成 報告書

## ポールの使い方の違いによる Nordic walking の生理的応答に関する研究

研究代表者：長谷川太一<sup>1</sup>共同研究者：竹田正樹<sup>2</sup>，藤田英二<sup>3</sup>，竹島伸生<sup>3</sup>

1)鹿屋体育大学大学院体育学研究科

2)同志社大学スポーツ健康科学部

3)鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

## 1. 緒言

内閣府が発表した平成 27 年度版高齢社会白書によると，我が国の 65 歳以上の高齢者人口は過去最高の 3300 万人となり，総人口に占める割合は 26.0%にのぼる．高齢者人口は今後さらに増加し続けるとみられ，虚弱な高齢者が増加するから医療費や介護費の急増が憂慮されている．このため高齢者に対する健康増進，健康づくりを積極的に取り組み，すべての人が自立した生活を営むための具体的な施策や方法を具現化することが肝要である．

加齢に伴う生理的機能の変化は，筋力と筋量，全身持久性，および柔軟性などの低下があげられている（日本体力医学会体力科学編集委員会監訳，2011）．筋力の加齢変化は，1%/年の低下率が示されている．この低下は筋の萎縮や筋量の加齢に伴う低下によるとみられているが，低下の度合いは身体部位によって異なり，特に下肢において著しい低下が示されている（福永，2013）．また，加齢に伴い動脈硬化が進み，全身持久性が低下するとともにすべての疾患による死因，とりわけ心血管疾患による早期死亡のリスクが高齢者で著しく増加する（日本体力医学会体力科学編集委員会監訳，2011）ことや加齢に伴い関節可動域および姿勢安定性の減少などが報告されている（Shephard，1984）．高齢者はこのように生理的機能が低下し，それに伴い日常生活動作能力（ADL: Activities of Daily Living）が低下することが明らかである．

この身体諸機能低下の遅延や ADL の維持には，身体運動が有効であり，その実践が求められている．具体的には，有酸素性運動，レジスタンス運動，柔軟性運動，およびバランス運動の 4 種類からなる複合型運動（well-rounded exercise）の実践が推奨されている．しかし，高齢者の生理機能や健康度は個人差が大きく，運動の普及には，安全に，かつ日常的に取り組むことができる運動のメニューを多く作成することが欠かせない．

近年，現在健康づくりのために実践するウォーキングの様式の一つとして，両手にポールを持ち，歩行するノルディックウォーキング（NW）が広く注目されている．NW は，クロスカントリースキー競技の夏季トレーニング方法として考案されたものであり，当初はアスリートが行う運動種目であった．NW は，踏み込んだ足とは対側の手に持ったポールを身体後方に向けて斜めに突く動作様式であり，Diagonal style（DIA）と呼ばれている．

この従来型の DIA 方式は，ポールを用いない一般歩行（OW）と同一条件で運動した際の生理的応答との比較では，上肢の筋活動水準が高く（Je-Myng et al., 2013; Sugiyama et al., 2013），下肢の筋活動水準が低い（Je-Myng et al., 2013），酸素摂取量およびエネルギー消費量が高い（Sugiyama et al., 2013）こと

が報告されている。また、特別な運動習慣がなかった健常な高齢者に対し 12 週間に亘る介入研究から上肢および下肢の筋力、全身持久性、そして上肢および下肢の柔軟性が改善したと報告（仙石ら, 2012; Takeshima et al., 2013）されており、NW は有酸素性運動とレジスタンス運動の双方の効果が得られ、複合運動様式として有効であるとみられている。このように OW と比較して NW は複合運動種目として有効なものと推奨されている。しかし、DIA 様式は、同一条件での OW と比べ、膝関節に働く圧縮力や剪断力といった力学的負荷が大きいという報告（小泉ら, 2009）があり、高齢者や虚弱者への適用には慎重を要するという指摘もある。また上述のように NW 時のエネルギー消費量が OW 時のそれより高い場合には、仮に歩数計や加速度計等によって計測する値が低く見積もられる可能性が生じ、この場合には補正等が必要とみられる。

一方、最近本邦では、踏み込んだ足とは対側の手に持ったポールを身体前方で突く Defensive style (DEF) と呼ばれる NW が普及してきている。これは、身体前方でポールを突くことにより支持基底面積が広がることからより安定した歩行が可能と仮定するもので、高齢者や虚弱者に対する運動方法として提案されている。DEF 様式はポールウォーキングとも呼ばれている。DIA と DEF の生理的応答に関する比較研究は少ないが、歩行時の下肢の筋活動量を調べたところ、大腿二頭筋は DEF の筋活動量が有意に低いとの指摘（本間ら, 2012）がある。しかし、下肢筋群以外の上肢筋群、体幹筋群を含めて DIA と DEF の両様式で筋活動や生理的応答の比較等は行われていない。

これまでに行われてきた NW の生理的応答に関する研究は、多くが DIA 様式によるものである。DEF は日本で生まれた様式であり、世界的にみれば NW での歩行様式は DIA のみであることから、両歩行様式での筋活動水準、酸素摂取量といった生理的応答の相違を包括的に検討した研究はいまだ不十分であり、NW による有効かつ具体的な運動方法を例示することが急務といえる。

以上のことから、本研究の目的は、NW に慣れた被験者を対象に 2 種類（DIA と DEF）の歩行様式による生理的応答の違いを調べることで、および OW と 2 種類（DIA と DEF）の NW 時のエネルギー消費量の比較を試みた。

## 2. 方法

### 2.1. 被検者

研究計画当初は中高年者を対象とする予定であったが、運動負荷テストの回数や疲労などの憂慮およびテストの信頼性から NW に慣れており、かつトレッドミルでの DIA と DEF での歩行が可能な健常な大学生男性 15 名（年齢：19.5 ± 0.6 歳，身長：168.0 ± 5.5 cm，体重：64.6 ± 7.6 kg，最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2max}$ ）: 61.5 ± 5.5 ml/min/kg，最大心拍数（HRmax）: 198.0 ± 4.1 bpm）を対象とした。

### 2.2 実験手順

歩行課題はノルディックポールを使用した歩行が可能な多目的大型トレッドミル（2035 型，Force Link 社製）を用いて通常歩行および 2 種類の NW を行った。NW は、身体後方にポールを突く DIA および身体前方でポールを突く DEF 様式を用いた。歩行速度は、4 km/h および 6 km/h として、傾斜を -5%、0%、5% のそれぞれの条件で組み合わせて実施した。各条件での運動時間は 180 秒間とし、4 km/h での -5% 条件から開始し、0%、5%、6 km/h での -5%、0%、5% 条件の順で連続して行わせた（図 1）。

各運動課題の試行間には疲労の影響を排除するため、十分な休息を設けた。運動中の生理的強度の指標として酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ )、心拍数 (HR)および筋電図を測定した。

## 2.3 測定項目

### 筋電図(Electromyography : EMG)

多チャンネルテレメータシステム (web-7000, 日本光電工業社製) を用いて右肢の僧帽筋, 三角筋後部, 広背筋, 上腕二頭筋, 上腕三頭筋, (以上, 上肢筋群), 腹直筋, 脊柱起立筋 (以上, 体幹筋群), 大腿直筋, 大腿二頭筋長頭, 腓腹筋内側頭, 前脛骨筋 (以上, 下肢筋群) の 11 筋から双極誘導で表面筋電図を導出した。筋電図用電極を貼付する前に, 皮膚処理として剃毛および軽度の研磨を行い, アルコール綿で十分に拭いた。電極間距離 10mm のプリアンプ方式のアクティブ電極 (ZB-150H, 日本光電社製) を用い, 電極貼付位置は各筋の筋腹とした。

### 最大随意収縮 (MVC) 時の筋電図

徒手筋力検査法の肢位に則って MVC 時の筋電図を測定した。被検者には, 検者の合図によって力発揮を開始し, 力発揮をした 5 秒後に MVC に到達するように漸増的に力発揮をするように教示し, 最大随意収縮到達から最大随意収縮を 5 秒間維持させた。各筋での MVC 測定を歩行課題前に 2 回ずつ実施した。それぞれの試行の間には 2 分間以上の休憩を挟んだ。全ての被検筋の MVC 測定では, 被検者に練習を行なわせ, 肢位および収縮方法の確認後に筋電図測定を行った。

### 酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ )

$\dot{V}O_2$  は, 自動呼気ガス分析器 (Oxycon Pro, Jaeger 社製) を用いて, Breath-By-Breath 法により安静時から運動課題終了時まで連続的に測定した。

### 3 軸式加速度活動量計

3 軸式加速度活動量計 (メディウオーク, テルモ社製) を用いて, すべての運動中の消費カロリーを測定した。なお, 中等強度運動は 3 METs 以上の運動とした。3 軸式加速度活動量計の装着部位は腰部とした。

## 2.4 分析方法

### 筋電図

各運動課題時間開始 60 秒から 120 秒の間で連続した 10 歩行周期を解析した。1 歩行周期は右足底に貼り付けたフットセンサー (DL-111, S&ME 社製) を用い, 右脚接地から次の右脚接地までと定義した。全ての結果は 10 歩行周期の平均値とした。等尺性最大随意筋力および筋電図データは, 16 bit の A/D コンバーター (PowerLab, ADInstrument 社製) を用いてデジタル変換し, サンプリング周波数 1 kHz でコンピュータに記録した。各筋の MVC 課題中の筋電図データは MVC の筋活動が安定した 1 秒間を採用した。運動課題中の筋活動は上述した解析区間の筋電図振幅値(Root Mean Square: RMS)を

算出し、各筋の MVC 時のそれらの値で正規化し、%EMGmax で表した。

#### 酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )とエネルギー消費

各運動課題で運動開始 90 秒から 150 秒までの 60 秒間を解析した。各運動課題でのエネルギー消費量は、 $\dot{V}O_2$  を 1 L あたり 5 kcal 相当として求めた (呼気ガス法)。また、3 軸式加速度活動量計によるエネルギー消費量の算出は、テルモ社による解析パッケージを用いた (加速度計法)。

#### 2-5 統計処理

測定値は、平均値  $\pm$  標準偏差で表した。2 変数間の関係は、ピアソンの相関分析および回帰式により検討した。筋電図、 $\dot{V}O_2$  のそれぞれで 4 km/h と 6 km/h の速度毎に、歩行様式 (DIA, DEF) と傾斜条件 (-5%, 0% および 5%) の 2 要因による二元配置分散分析を行った。なお、有意水準は  $P < 0.025$  とし、統計処理ソフト (IBM SPSS Statistics22, IBM 社製) を用いて検定を行った。

### 3. 結果

#### 3-1 DIA と DEF 筋活動水準の相違

歩行速度 4 km/h と 6 km/h での上肢筋群の筋活動水準の結果を示した (表 1-1)。上腕三頭筋および広背筋では交互作用 (歩行様式  $\times$  傾斜条件) に有意性が認められず、主効果 (歩行様式) のみに有意性が認められた ( $P < 0.025$ )。体幹筋群および下肢筋群では 4 km/h, 6 km/h の条件下でいずれの筋も主効果と交互作用に有意性が認められなかった (表 1-2, 表 1-3)。

表 1-1. 歩行速度 4 km/h, 6 km/h における上肢筋群の筋活動水準 (平均値 ± 標準偏差)

	4km/h 上肢筋群			6km/h 上肢筋群		
		DIA	DEF		DIA	DEF
僧帽筋	-5%	6.3 ± 4.2	9.5 ± 10.2		8.3 ± 7.9	11.6 ± 16.1
	0%	7.4 ± 7.3	10.6 ± 11.0	n.s.	6.6 ± 4.7	10.9 ± 13.3
	5%	7.3 ± 7.0	8.9 ± 8.9		5.7 ± 4.7	8.9 ± 7.5
三角筋	-5%	13.0 ± 8.9	8.8 ± 6.2		14.8 ± 9.1	10.7 ± 8.5
	0%	13.5 ± 10.0	9.3 ± 6.8	n.s.	13.7 ± 9.2	12.2 ± 10.1
	5%	12.6 ± 8.2	9.9 ± 7.0		18.0 ± 12.5	13.3 ± 11.3
広背筋	-5%	8.0 ± 4.0	6.0 ± 3.0		9.8 ± 4.6	7.2 ± 4.5
	0%	8.0 ± 3.9	6.2 ± 3.4	*	9.5 ± 3.7	7.7 ± 4.5
	5%	8.3 ± 3.8	5.9 ± 3.1		11.8 ± 5.1	8.1 ± 4.8
上腕二頭筋	-5%	2.9 ± 1.2	2.9 ± 1.4		2.9 ± 1.1	3.2 ± 1.3
	0%	2.9 ± 1.2	3.1 ± 1.5	n.s.	2.9 ± 1.2	3.3 ± 1.4
	5%	3.0 ± 1.0	3.0 ± 1.4		2.9 ± 1.3	3.6 ± 1.5
上腕三頭筋	-5%	5.9 ± 3.5	3.0 ± 1.7		8.2 ± 4.0	4.4 ± 2.7
	0%	6.5 ± 5.3	3.7 ± 3.0	*	9.3 ± 4.9	5.0 ± 3.2
	5%	7.5 ± 4.2	4.4 ± 3.2		12.7 ± 5.9	5.3 ± 3.4

\*:  $P < 0.025$ , n.s.: 統計的有意差なし, 単位: %EMGmax

表 1-2. 歩行速度 4 km/h, 6 km/h における体幹筋群の筋活動水準 (平均値 ± 標準偏差)

	4km/h 体幹筋群			6km/h 体幹筋群		
		DIA	DEF		DIA	DEF
腹直筋	-5%	6.3 ± 6.4	7.1 ± 7.5		10.1 ± 16.0	6.5 ± 6.8
	0%	7.5 ± 9.2	7.1 ± 7.6	n.s.	10.3 ± 16.8	6.5 ± 6.7
	5%	7.5 ± 9.3	7.8 ± 9.0		8.7 ± 11.1	7.4 ± 8.1
脊柱起立筋	-5%	8.2 ± 3.3	10.1 ± 3.6		14.8 ± 13.0	13.7 ± 5.6
	0%	9.4 ± 6.0	9.9 ± 3.4	n.s.	15.1 ± 13.9	13.5 ± 6.4
	5%	10.0 ± 4.0	10.8 ± 3.3		14.6 ± 8.8	15.3 ± 5.7

\*:  $P < 0.025$ , n.s.: 統計的有意差なし, 単位: %EMGmax

表 1-3. 歩行速度 4 km/h, 6 km/h における下肢筋群の筋活動水準 (平均値 ± 標準偏差)

	4km/h 下肢筋群			6km/h 下肢筋群		
		DIA	DEF		DIA	DEF
大腿直筋	-5%	6.9 ± 3.2	6.9 ± 3.0		8.5 ± 3.5	8.9 ± 3.8
	0%	7.1 ± 4.2	6.7 ± 3.0	n.s.	7.9 ± 3.3	8.6 ± 3.6
	5%	7.2 ± 3.9	6.7 ± 2.8		10.4 ± 7.6	9.0 ± 3.7
大腿二頭筋	-5%	12.2 ± 9.2	15.2 ± 14.3		14.1 ± 8.2	18.4 ± 16.4
	0%	11.3 ± 7.2	16.5 ± 12.5	n.s.	15.2 ± 7.7	17.7 ± 11.7
	5%	11.7 ± 6.6	18.4 ± 15.5		18.1 ± 10.7	22.5 ± 16.9
腓腹筋	-5%	19.6 ± 8.9	22.1 ± 8.3		18.8 ± 6.7	21.1 ± 7.8
	0%	19.0 ± 7.5	23.1 ± 6.6	n.s.	20.7 ± 6.8	25.7 ± 8.6
	5%	22.7 ± 8.9	27.1 ± 9.4		26.5 ± 9.4	34.2 ± 11.0
前脛骨筋	-5%	15.0 ± 5.9	20.3 ± 7.6		20.3 ± 7.6	22.0 ± 9.2
	0%	13.8 ± 3.9	19.2 ± 7.2	n.s.	19.2 ± 7.2	22.3 ± 9.1
	5%	14.7 ± 4.6	21.0 ± 8.0		21.0 ± 8.0	23.9 ± 9.6

\*:  $P < 0.025$ , n.s.: 統計的有意差なし, 単位: %EMGmax

### 3-2 OW, DIA と DEF のエネルギー消費量の相違

呼気ガス法による OW と 2 種類の NW (DIA および DEF) との関係を図 1 に示した. DIA と DEF は OW より有意に高かった. また, 呼気ガス法による DIA と DEF での全条件下でのエネルギー消費量を図 2 示した. DIA と DEF の間には高い正の相関( $r=0.97, P<0.05$ )が認められた. また, DIA および DEF での歩行速度 4 km/h, 6 km/h の条件下におけるエネルギー消費量はいずれも主効果 (歩行様式) と交互作用 (歩行様式×傾斜条件) に有意性が認められなかった.

次に呼気ガス法と活動量計法によって求めたエネルギー消費量を比較したところ, 活動量計法によって求めた DIA と DEF はいずれも有意に小さかった (図 3). また, すべてをプールした結果から DIA:  $y=2.545+0.886x, r=0.61$ , DEF:  $y=1.804+1.099x, r=0.67$ ,  $x$ = 活動量計で求めたエネルギー消費量により補正式が求められた.

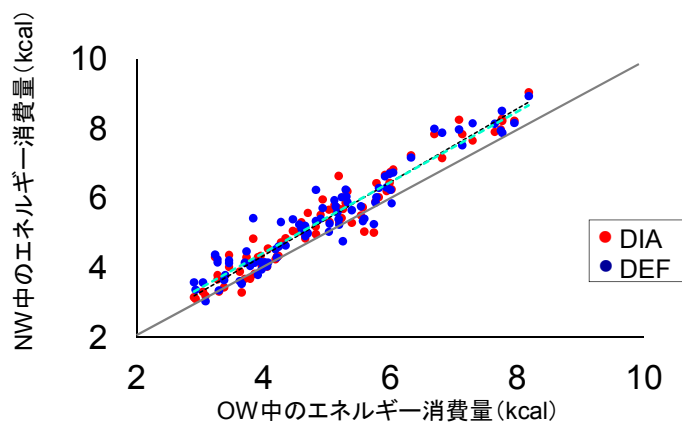


図 1. 呼気ガス法による OW と 2 種類の NW (DIA および DEF) との関係

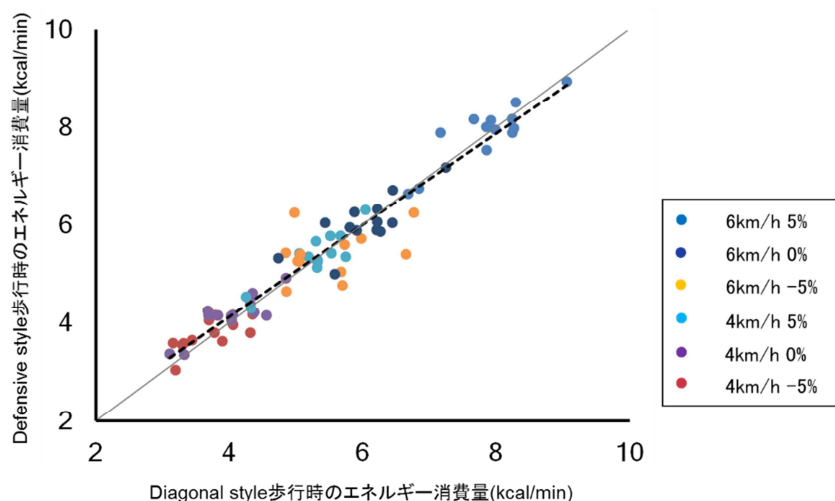
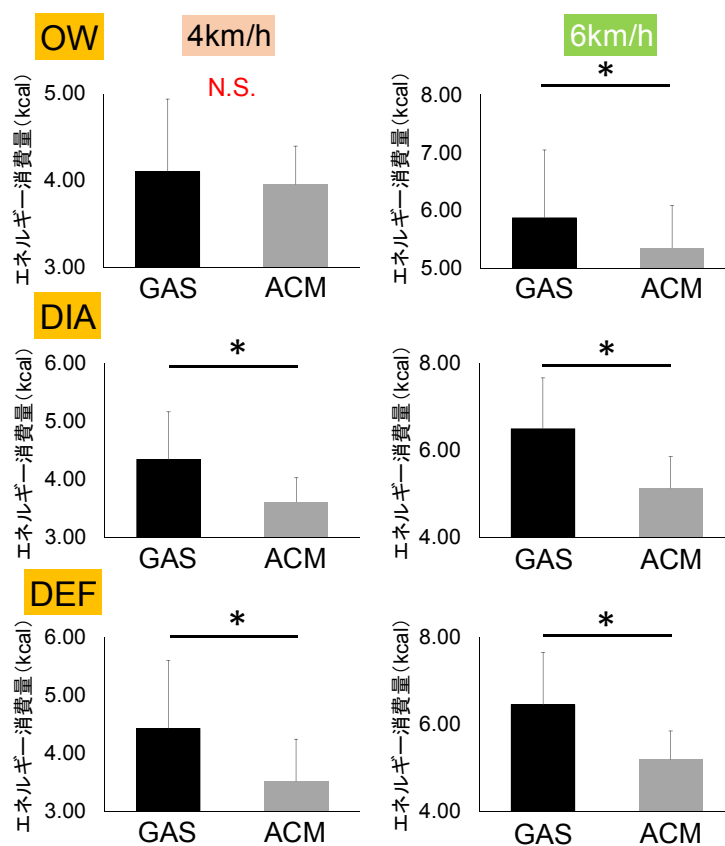


図2. 呼気ガス法によって求めた DIA および DEF のエネルギー消費量の相違



\*:  $P < 0.05$ , n.s.: 統計的有意差なし

図3. 呼気ガス法と活動量計法によって求めたエネルギー消費量の相違

#### 4. 考察

本研究は、歩きに慣れた被検者（クロスカンントリー選手等）を対象にトレッドミルを用いて2種類のNWを行わせ、これらの生理的強度を比較検討した。11の被検筋の筋電図解析から、上腕三頭筋および広背筋を除き上肢筋群、体幹筋群および下肢筋群で両者の筋活動水準は総体的に類似していた。OWとDIAによるNWでの筋活動水準を比較した先行研究からは、DIAではOWに比べ上腕三頭筋および広背筋の筋活動水準が高いことが報告されている(Je-Myng et al., 2013)。しかし、今回両運動様式に大きな違いが示されなかった点は興味ある結果であった。

筋電図解析から両運動様式で異なった結果が示されたのは、DIAがDEFより上腕三頭筋、広背筋の筋活動水準が有意に高かった点である。DIAは歩行動作において身体後方でポールを強く突いた後に素早く前方へ振り上げるなどの腕の大きな振り（スイング）が求められるために肩、腕の大きい動作が求められる。この点がOWとの大きな違いともみられていた。一方、DEFは身体前方でポールを突くがDIAに比べて腕のスイングが小さいという特徴がみられる。すなわち、後方に大きくポールを動かす動作は不要といえる。このために両者の肩関節伸展および肘関節伸展の度合いに相違が生じる可能性が高いと考えられ、それらの動作の主働筋である広背筋、上腕三頭筋の筋活動の発揮水準に違いがみられたものと推察される。

一方、運動中のエネルギー消費量はDIA、DEFのいずれにおいても有意差が認められなかった。今回の2種類のNWは上肢の一部の筋活動水準が異なっていたものの、多くの部位では類似した筋活動水準であり、総体的には大差が認められなかった。これは、ヒトの骨格筋量は下肢の比率が高い（成人男性の上肢骨格筋量は全身の骨格筋量に占める割合が13%程度、下肢の骨格筋量は全身の骨格筋量に占める割合が48.6%程度）ことを踏まえると今回の2種類のNWにおける広背筋、上腕三頭筋の活動の違いは、全エネルギー消費量への大きな影響に至るまでの相違が認められなかったものと考えられる。しかし、本対象者は、NWに慣れており、かつトレッドミルでのDIAとDEFでの歩行が可能な被検者を対象に生理的応答を検証した。対象者が若く比較的体力の高い競技者であり運動量や負荷強度が低から中等度とみられた。そのため、本研究よりも高い運動強度を課した場合には両者の生理的応答が異なる可能性も考えられ、さらなる検討が求められる。

次に、エアロビクス運動や歩行では肥満解消などの目的も含まれ、エネルギー消費量を測定することが多い。一般には測定が簡便な歩数計や加速度計が用いられ、携帯電話などを使った利用も増えている。最近では、加速度計は1軸式から3軸式などへと人の動きをより評価することを狙いとして様々な方法が試みられている。本研究で使用した機器も新しく開発されたものである。しかし、市販のもの多くは歩行またはジョギングなどの動きを想定したものであり、今回のNWのように上肢の筋活動が亢進する運動についての測定は過小評価することが想定される。本結果からはその点が明らかとなった。このために加速度計を装着してNWを行った場合には、エネルギー消費量を補正する必要がある。今回の実験はトレッドミル上で時速が4kmと6km、斜度が-5%から5%の範囲のNWであり、使用範囲に限界が生ずるが、およそ一般人が日頃歩いている歩行ではこの範囲での動きとみられ、エネルギー消費量の推定には有効なものといえよう。さらに実際の丘陵地等フィールドでの測定を重ねることが今後必要である。

本研究は2種類のNWの生理的応答をトレッドミルでおこない、DIAとDEFの相違を比較したが、健康づくりのための運動方法を例示するためには生理的応答の検討に留まらず、実際に中高齢者が長時間に運動をおこなった場合の運動効果を今後検証する必要がある。しかし、本研究からは、DIA



と DEF 様式が特別に異なる生理的応答を示すことはなく、歩き方を限定することよりも目的や歩くコースなどによって選択することが妥当とみられ、一層の普及が期待される。なお、研究期間内では官僚ができなかったために報告書に記載できなかったが、中高年者を対象とした NW の介入研究を重ねており、本研究の延長上で運動効果の比較も試み、NW の安全で効果的な歩き方についてはさらに検討を重ねる予定である。

#### 謝辞

本研究に際しまして多大なご協力をいただきました対象者の皆様に心より感謝申し上げます。また、研究助成をいただいた公益財団法人ミズノスポーツ振興財団に心より御礼申し上げます。

#### 5. 参考文献

1. 福永哲夫.(2013) 「生活フィットネス」の性年齢別変化. 体力科学, 52: 9-16
2. 本間大介, 地神裕史, 佐藤成登志.(2012) ノルディックウォーキングにおける歩行様式の違いによる筋活動の検討. 新潟医療福祉学会誌, 12: 28
3. Je-Myng, S., Hae-Yeon, K., Ha-roo, K., Bo-in, K., and Ju-Hyeon, J. (2013) Comparison of the effects of the walking with and without Nordic pole on upper extremity muscle activation. *J. Phys. Ther. Sci.*, 25: 1553-1556
4. 小泉孝之, 辻内伸好, 藤倉僚平, 竹田正樹. (2009) ノルディックウォーキングの関節負荷特性評価. 日本機械学会 [No.9 - 45]シンポジウム講演論文集
5. 日本体力医学会体力科学編集委員会監訳.(2011) 運動処方指針 運動負荷試験と運動プログラム原著第8版. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 8th ed.*, 南江堂, pp70
6. 日本体力医学会体力科学編集委員会監訳.(2011) 運動処方指針 運動負荷試験と運動プログラム原著第8版. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription Eighth Edition.* 南江堂, pp196
7. 仙石直子, 小泉大亮, 竹島伸生.(2012) 機能的体力を指標とした高齢者に対するノルディックウォーキングの介入効果について. 体育学研究, 57: 449-454
8. Shephard, R. J. (1984) Management of exercise in the elderly. *Can. J. Appl. Sports. Sci.*, 9: 735-738
9. Sugiyama, K., Kawamura, M., Tomita, H., and Katamoto, S. (2013) Oxygen uptake, heart rate, perceived exertion, and integrated electromyogram of the lower and upper extremities during level and nordic walking on a treadmill. *J. Phys. Anth.*, 32: 2
10. Takeshima, N., Islam, M. M., Rogers, M. E., Rogers, N. L., Sengoku, N., Koizumi, D., Kitabayashi Y., Imai, A., and Naruse, A. (2013) Effects of nordic walking compared to conventional walking and band-based resistance exercise on fitness in older adults. *J. Sports Sci. Med.*, 12: 422-430