

信州大学審査学位論文

有酸素性歩行運動と温熱刺激の併用効果に関する研究  
—温熱刺激が酸素消費と筋組織内循環動態に及ぼす影響について—

2012年3月

二瓶美智子

# 目 次

第 1 章 緒言	1
1.1. 研究の背景	2
1.2. 先行研究	3
1.3. 研究の意義	4
第 2 章	6
異なる 2 つの歩行速度における深部組織温度と 酸素摂取量の関係	
2.1. はじめに	7
2.2. 対象と方法	8
2.2.1. 対象	8
2.2.2. 運動強度の設定方法	8
2.2.3. 測定項目と使用機器	8
2.2.4. 実験手順	9
2.2.5. 統計解析	10
2.3. 結果	10
2.3.1. 各測定項目における統計解析の結果	10
2.3.2. 酸素摂取量の変化	10
2.3.3. 深部組織温度と皮膚表面温度の変化	13
2.4. 考察	15
2.4.1. 運動強度	15
2.4.2. 深部組織温度と皮膚表面温度の変化	16

**第 3 章** 18

**エネルギー消費量における有酸素性運動と  
温熱療法の併用効果**

3.1.	はじめに	19
3.2.	対象と方法	19
3.2.1.	対象	19
3.2.2.	使用機器と手順	20
3.2.3.	統計解析	21
3.3.	結果	23
3.3.1.	各測定項目の経時的変化	23
3.3.2.	下肢深部組織温度	25
3.3.3.	酸素摂取量	25
3.4.	考察	28

**第 4 章** 32

**下肢の筋組織内循環動態における有酸素性歩行運動と  
温熱刺激の併用効果**

4.1.	はじめに	33
4.2.	対象と方法	34
4.2.1.	倫理的配慮	34
4.2.2.	対象者	34
4.2.3.	実験手順	35
4.2.4.	測定項目	37
4.2.5.	統計解析	38
4.3.	結果	38
4.3.1.	運動強度	38
4.3.2.	皮膚表面温度	39
4.3.3.	下肢循環動態	40

4.4.	考察	43
4.4.1.	運動課題と温熱刺激	43
4.4.2.	皮膚表面温度に及ぼす影響	44
4.4.3.	下肢筋組織内の循環動態	45
4.4.4.	局所温熱刺激と歩行運動	46
4.5.	本研究の限界と課題	47
4.6.	結語	47
	結語	48
	参考文献	51
	論文リスト	57
	謝辞	58

## 第 1 章

### 緒 言

## 1.1. 研究の背景

生活習慣病の予防・改善策として、我々はメディアを通じて様々な情報に興味関心を抱き、日常生活にも取り入れる傾向が見られるようになった。近年では、メタボリックシンドロームに関する情報が多く、その予防・改善策として身体活動の量と質の改善を促し、エネルギー消費量の増大を促進し体組成を変容させることが重要であると言われている。このような働きをしなければならなくなったのは、過食・飽食・美食思考が高まり、食の欧米化が進む一方で、IT社会の進歩による運動不足が引き金となり、体内のエネルギー収支バランスが乱れたことに原因があると言える。メタボリックシンドロームとは、肥満、脂質異常症、糖尿病や耐糖能異常、高血圧などの動脈硬化危険因子が個人に集積した病態<sup>1,2)</sup>であり、これらの病気は独立した病気ではなく、肥満が原因で引き起こされるものとして考えられている。肥満とは、体重に占める体脂肪の割合（体脂肪率）が正常域を超えて、ある一定水準以上になった状態のことを指す<sup>3)</sup>。体脂肪はエネルギー源として体の働きに貢献し、人間が身体運動をするために不可欠の成分であるが、体内蓄積量が一定以上の限度を超えると、高脂血症・糖尿病・痛風・関節炎などを引き起こす原因ともなる。メタボリックシンドロームの概念は、動脈硬化などの循環器病をいかに予防するかというところにある。その対策として、日常生活の中での活動量を増やすことと、活発な運動を取り入れることによるエネルギー消費量の増大を促進している。ヒトの身体は、適度に動かすことにより、機能、構造的に維持・改善することができるが、使わないでいると退化し弱くなってしまふ。その逆に、使いすぎても老化や悪化の原因となってしまう。ここで“何を”“どの程度”実施すれば安全で効果的であるかという問題に直面する。これらに対して運動療法の現場においては、個々人の適切な範囲内で行うために、運動種目、運動強度、運動時間、運動頻度などを考慮した上で、運動処方を作成し運動指導を行っている<sup>4)</sup>。

運動療法は元来、整形外科領域の障がいを回復させるための治療手段（リハビリテーション）として広く活用されてきたが、現在では健康づくりの一手段としても捉えている。運動療法の第一の目的は、エネルギー消費量の増大に伴う体組成の変容である。ひと言に運動と言っても、その種類は多種多様である。運動は有酸素性運動と無酸素性運動に大別することができるが、生活習慣病の予防や改善のためには有酸素性運動を積極的に行うことが勧められている。有酸素性運動には、水泳、水中運動、エアロビックダンス、ウォーキング、ジョギングなどが含まれる。その中でもウォーキングは、特別な道具を必要とせず、日常生活にも取り入れやすいことから特に推奨されており、習慣的に実施している人も多く見られる。

## 1.2. 先行研究

体組成の変容には、運動のみに偏らず、食事療法による食生活の改善や、状況に応じて薬物療法との併用も効果的である。エネルギー消費量は運動強度と直線的な関係にあり、運動強度が増すごとにエネルギー消費量は増大する。また、有酸素性運動のみではなく、筋力や筋持久力を高めるレジスタンス運動を取り込むことによる効果も確認されている<sup>5,6)</sup>。このことは、レジスタンス運動を行うことにより筋組織温度を上昇させ、より多くのエネルギーを体外に放出する過程で生じる生体反応と考えられる。運動療法では、特別な道具を使用せず、自重負荷によるレジスタンス運動を勧めており、主に大筋群（腹筋や背筋、下肢筋群など）を使う運動を取り入れて行っている。しかし、対象者の健康状態や運動歴によっては、筋活動を円滑に行えず、また継続的な運動も困難な状況であることも考えられる。レジスタンス運動以外で体温や筋組織温度を上昇させる方法として、温熱療法を用いることを検討することもできる。温熱療法は、疼痛の軽減や循環動態の改善を目的としてリハビリテーションなどで利用されている<sup>7-10)</sup>。温熱療法には、ホットパックや温水、サウナ浴などの表在組織を加温する方法と、深部組織の加温が可能

である超短波療法や超音波療法などの透過加熱の方法などがある。温水やサウナ浴などは、環境温度の調節による温熱刺激の全身暴露であり、ストレスが大きくなることも考えられる。一方、超短波療法や超音波療法は、局所の加温が可能であるため、ストレスをかけずに深部組織を加温することが可能である。温熱療法の効果は、皮膚表面温度と深部組織温度で簡易的に評価することができ、皮膚表面温度が40℃以上に上昇すると、交感神経の働きが有意になり、循環動態は抑制されるといわれている。近年では、運動に温熱を併用することで代謝促進に有効的であると考えられているが、その有効性については明らかにされていない。先行研究より、運動に表在組織を加温する温水やサウナ浴を併用した際の効果に関する報告があるが、発汗量の増加に伴う一時的な体重減少は見られたが、エネルギー消費量の増加はわずかであった<sup>11)</sup>と報告されている。一方で、深部組織の加温が可能である超短波療法や超音波療法との併用効果に関する報告は見られない。

超短波療法や超音波療法は、皮膚や皮下組織の過剰な加熱なしに、3～5cm深部の組織を加熱することができる。超短波療法による温熱の効果は、疼痛の軽減や、筋血流量などの循環動態の増加<sup>12,13)</sup>などがあげられる。

### 1.3. 研究の意義

生活習慣病の予防や改善、健康維持や増進のために、習慣的な運動の実践が重要視されるようになった現在、運動療法の対象は健常人や有疾患者に限らず、低体力者や運動習慣を有さない者など、個人の身体状況が幅広いものとなった。運動療法を行っていく上では、個人のニーズに合わせた運動プログラムの作成を検討することも重要であるが、より安全で、より効果的な運動方法を検討していくことも重要な課題であると考えられる。運動種目や運動強度の検討、食事療法や薬物療法との併用効果に関する研究報告はなされているが、運動と温熱の併用効果に関する検討は少なく、更なる追求が必要で



あると考える。運動の効果は酸素消費を見ることで評価することが可能である。温熱の効果は、皮膚表面温度や深部組織温度、筋組織内の循環動態などを見ることで評価が可能である。しかしながら、運動と温熱の効果を同時に評価した報告は見られない。したがって、運動と温熱の併用効果について明確にするために、A.運動強度、B.酸素消費、C.運動と温熱の併用、D.皮膚表面温度・深部組織温度、E.筋組織内循環動態の5つの要因について以下の段階で検証を進める必要があると考えた。

- (1) A.運動強度、B.酸素消費、D.皮膚表面温度・深部組織温度の関連性
- (2) B.酸素消費、C.運動と温熱の併用、D.皮膚表面温度・深部組織温度の関連性
- (3) B.酸素消費、C.運動と温熱の併用、E.筋組織内循環動態の関連性

本論文では、日常生活中に取り入れやすい歩行運動に着目し、生活習慣病の予防や改善のための運動指導において、その効果と安全性を高めるための手段として、温熱との併用効果を明らかにすることを目的とした。また、運動中の皮膚表面温度・深部組織温度や筋組織内循環動態を測定し、酸素消費との関連について検討した。

## 第 2 章

異なる 2 つの歩行速度における  
深部組織温度と酸素摂取量の関係

## 2.1. はじめに

近年、性別、年齢を問わず生活習慣病の予防や改善のために食事内容の改善や習慣的な運動の実践に取り組むヒトが増加する傾向にある。健康維持・増進を考える上で、食事療法と運動療法は有効であると考えられる。しかし、食事療法だけに偏ると基礎代謝量の低下<sup>14)</sup>や除脂肪量の減少<sup>15)</sup>などが認められており、生理的機能を維持または向上しながら健康維持・増進を考える上では運動を習慣的に行うことは必要不可欠であると考えられる。先行研究によると、習慣的な運動の実践は、エネルギー消費量を増大させ、肥満、糖尿病、高血圧の予防と改善に効果的である<sup>16,17)</sup>と報告されている。習慣的に行える簡単な運動としてウォーキングが推奨されている。運動効果を得るためには適切な運動強度で行うことが重要である。森谷<sup>18)</sup>は、運動中の脂肪の利用率には運動強度が関与すると述べている。また、運動強度に比例して体温は上昇し、生体内温度が上昇することで代謝が亢進する<sup>19)</sup>と言われている。身体全体の体温上昇には、筋収縮による熱産生と循環動態の増加が関与する<sup>20)</sup>と考えられている。異なる環境温度下での運動とエネルギー消費量の関係に関する報告はあるが<sup>21,22)</sup>、運動による筋温の変化と酸素消費量の関係に関する報告はなされていない。

そこで、本章では、異なる歩行速度における下肢筋群の深部組織温度と酸素摂取量の違いを観察し、運動強度と下肢筋群の深部組織温度の変化、酸素摂取量との関係について明らかにすることを目的とした。

## 2.2. 対象と方法

### 2.2.1. 対象

実験前に口頭にて本実験の趣旨を説明した後、書面にて同意の得られたボランティアの中から、下肢に障害等の既往歴がなく、運動習慣を有さない健常成人男性 8 名を対象とした。被験者の年齢範囲は 19 - 20 歳、身体的特徴 ( mean  $\pm$  SD ) は、身長 169.9  $\pm$  3.4cm , 体重 62.8  $\pm$  7.5kg, 体脂肪率 21.3  $\pm$  3.7%, Body mass index ( BMI ) 21.7  $\pm$  2.4 であった。

### 2.2.2. 運動強度の設定方法

運動強度を決定するため、実験開始前に、被験者本人の最大歩行速度をトレッドミル ( フクダ電子社製, MAT - 2610 ) を使用して測定した後に、最大歩行速度の 60% ( 以下 60%WS ; 60% walking seed ) と 80% ( 以下 80%WS ; 80% walking seed ) の速度の歩行速度を算出した。最大歩行速度の測定は次の通りに行った。トレッドミル上にあらかじめ印をつけ、その印を被験者の歩行位置とした。被験者には速度表示が見えないようにして、速度の増加は検者が行った。最大歩行速度は以下の条件とした。( 1 ) 被験者が最大歩行速度と感じる主観的尺度, ( 2 ) 検者の目視によりトレッドミル上につけた印よりも後方に移動した時点の 2 条件のいずれかを満たした場合に、その速度を最大歩行速度とした。

### 2.2.3. 測定項目と使用機器

実験開始から終了までの酸素摂取量、皮膚表面温度 ( 以下 Tsk ; skin surface temperature ) および深部組織温度 ( 以下 Td ; deep tissue temperature ) を経時的に測定した。

Tsk および Td の測定には、熱流補償式深部温度計 ( TERUMO 社製, CM - 210 ) を使用した。熱流補償式深部温度計は、非侵襲的かつ連続的なモニタリングが可能である。測定部位は左大腿部前面と左下腿部後面とした。測定されたデータはパーソナルコンピュータに

10秒ごとに取り込んだ。酸素摂取量の測定には、携帯型呼気ガス代謝モニター（COLTEC社製、Meta Max 3b）を使用した。測定されたデータはTd、Tskと同様に、10秒間隔でパーソナルコンピュータに取り込んだ。

#### 2.2.4. 実験手順

実験は、室温22-24℃の屋内にて実施した。実験時の被験者の服装は、半そで半ズボン、運動用のシューズを着用した。

実験手順を図2-1に示す。被験者には60%WSと80%WSの2つの歩行速度でのトレッドミル歩行を実施するように指示をした。2つの歩行速度による運動負荷は1週間の間隔を空けてランダムに実施した。実験は10分間の安静椅坐位の後には20分間のトレッドミル歩行を行った。歩行後に再び10分間の安静椅坐位とした。

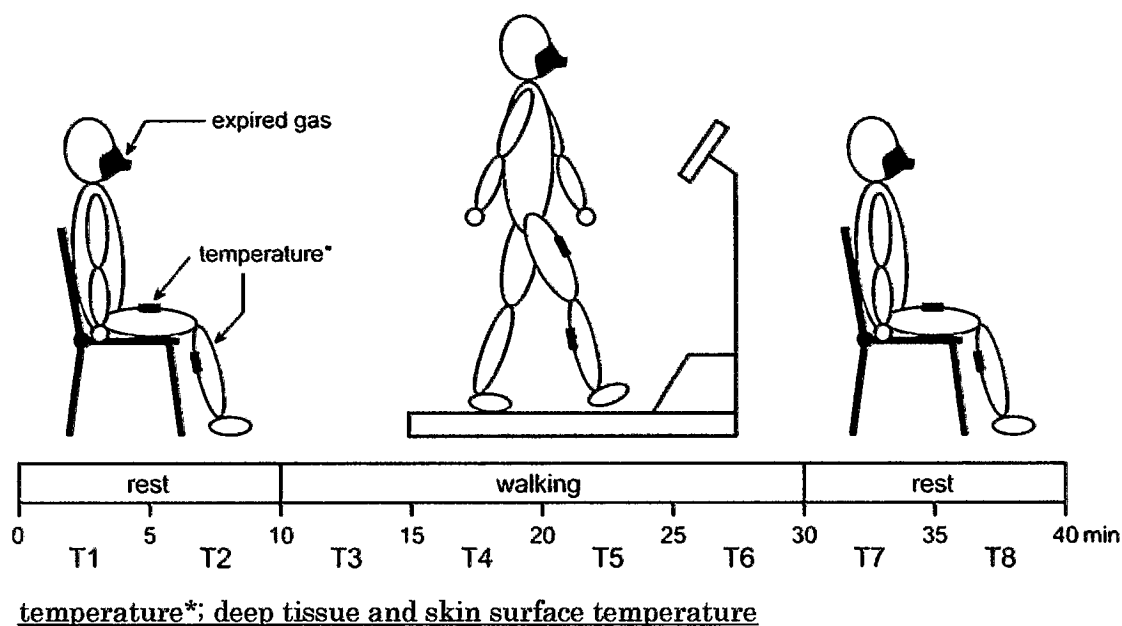


図2-1. 実験手順

### 2.2.5. 統計解析

実験時間40分間を5分間隔に区切り (T1-T8) それぞれの平均値を求めた。60%WSと80%WSで求められたT1-T8のデータの比較を行った。統計解析には、統計解析ソフト (SPSS ver.11.0J) を使用して、繰り返しのある2元配置分散分析 (two-way ANOVA) を行い、その後、多重比較検定 (Tukey's post-hoc) 検定を行った。また、T2-T8においてT1からの差分値を求めて多重比較検定 (Tukey's post-hoc 検定) を行った。

## 2.3. 結果

### 2.3.1. 各測定項目における統計解析の結果

各測定項目について、繰り返しのある二元配置分散分析を行った結果を表2-1.A)に示す。60%WSと80%WSの酸素摂取量 ( $F=17.206$ ,  $p<0.01$ ), 大腿部Td ( $F=5.788$ ,  $p<0.05$ ), 大腿部Tsk ( $F=11.159$ ,  $p<0.01$ ), 下腿部Tsk ( $F=7.203$ ,  $p<0.05$ ) において交互作用が認められた。また、各測定項目について、60%WSと80%WSの同区間におけるデータを用いて多重比較検定を行った結果を表2-1.B)に示す。酸素摂取量は、歩行運動20分間中 (T3-T6,  $p<0.01$ ), 大腿部Tdは歩行運動後半から歩行運動終了後5分間 (T5-T7,  $p<0.01$ ), 大腿部Tskと下腿部Tskは、それぞれ歩行運動終了後5分間 (T7,  $p<0.01$ ,  $p<0.05$ ) で、80%WSにおける増加が有意であった。

### 2.3.2. 酸素摂取量の変化

被験者の最大歩行速度の平均は、 $7.9 \pm 0.7$  km/hであった。60%WSの速度は $4.7 \pm 0.3$  km/h, 80%WSの速度は $6.3 \pm 0.5$  km/hであった。60%WSと80%WSの酸素摂取量の変化を図2-2に示す。歩行運動20分間中における酸素摂取量は60%WSよりも80%WSで有意に上昇した ( $p<0.01$ )。60%WSではT1と比較して、T4-T6の区間でそれぞれ6.2, 6.2, 6.4 ml/kg/min 上昇した ( $p<0.01$ )。80%WSではT1と比較して、T3-T6の区間でそれぞれ10.9, 13.5, 13.5, 13.6

ml/kg/min 上昇した ( $p < 0.01$ )。また、両群ともに、T1, T2と歩行後安静時 (T7-T8) 間では有意差は認められなかった。

表 2-1. 統計解析の結果

A) two way ANOVA	60%WS vs. 80%WS ** $p < 0.01$ , * $p < 0.05$	
	P-value	F-value
oxygen uptake	**	17.206
anterior thigh Td	*	5.788
posterior lower leg thigh Td	n.s.	2.469
anterior thigh Tsk	**	11.159
posterior lower leg thigh Tsk	*	7.203

B) post-hoc turkey-test	60%WS vs. 80%WS ** $p < 0.01$ , * $p < 0.05$							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
oxygen uptake			**	**	**	**		
anterior thigh Td					**	**	**	
posterior lower leg thigh Td								
anterior thigh Tsk							**	
posterior lower leg thigh Tsk								*

oxygen uptake ; 酸素摂取量, anterior thigh ; 大腿部

posterior lower leg thigh ; 下腿部

- A) 60%WSと80%WSにおいて、繰り返しのある二元配置分散分析の結果である。
- B) 60%WSと80%WSの同区間におけるデータを用いて、Tukey post-hoc検定による多重比較を行った結果である。

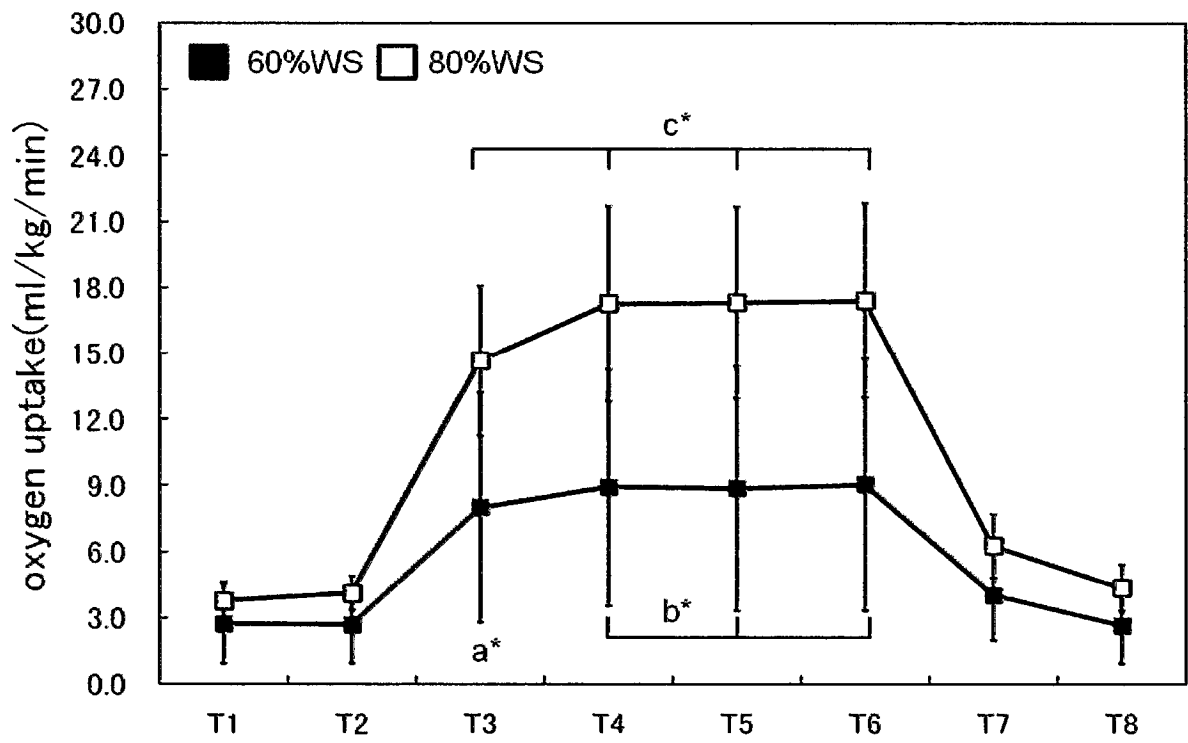


図 2-2. 酸素摂取量の変化

60%WSと80%WSの酸素摂取量の変化について繰り返しのある二元配置分散分析の結果である。



### 2.3.3. 深部組織温度と皮膚表面温度の変化

60%WSと80%WSのTdとTskの変化を図2-3(A~D)に示す。60%WSにおいては、大腿部および下腿部ともに歩行中のTdの有意な温度上昇は観察されなかった(A, C)。80%WSにおける大腿部のTd(A)は、T1と比較すると歩行後半から歩行後安静時(T5-T8)においてそれぞれ0.8℃, 1.3℃, 1.6℃, 1.7℃上昇した(p<0.01)。また、80%WSにおける大腿部のTsk(C)は、T7-T8の区間でそれぞれ1.5℃, 1.7℃上昇した(p<0.01)。60%WSにおける下腿部のTd(B)は、T1と比較して、T5-T8の区間でそれぞれ1.7℃, 2.3℃, 2.4℃, 2.5℃上昇した(p<0.01)。

60%WSにおける下腿部のTsk(D)は、T4と比較して、T7-T8の区間でそれぞれ1.6℃, 2.2℃(p<0.01)。80%WSにおける下腿部のTd(B)は、T1と比較するとT4-T8の区間でそれぞれ1.4℃, 2.5℃, 2.9℃, 3.0℃, 2.8℃上昇した(p<0.01)。また80%WSにおける下腿部のTsk(D)は、T5-T8の区間でそれぞれ0.9℃, 1.5℃, 2.4℃, 2.4℃上昇した(p<0.01)。

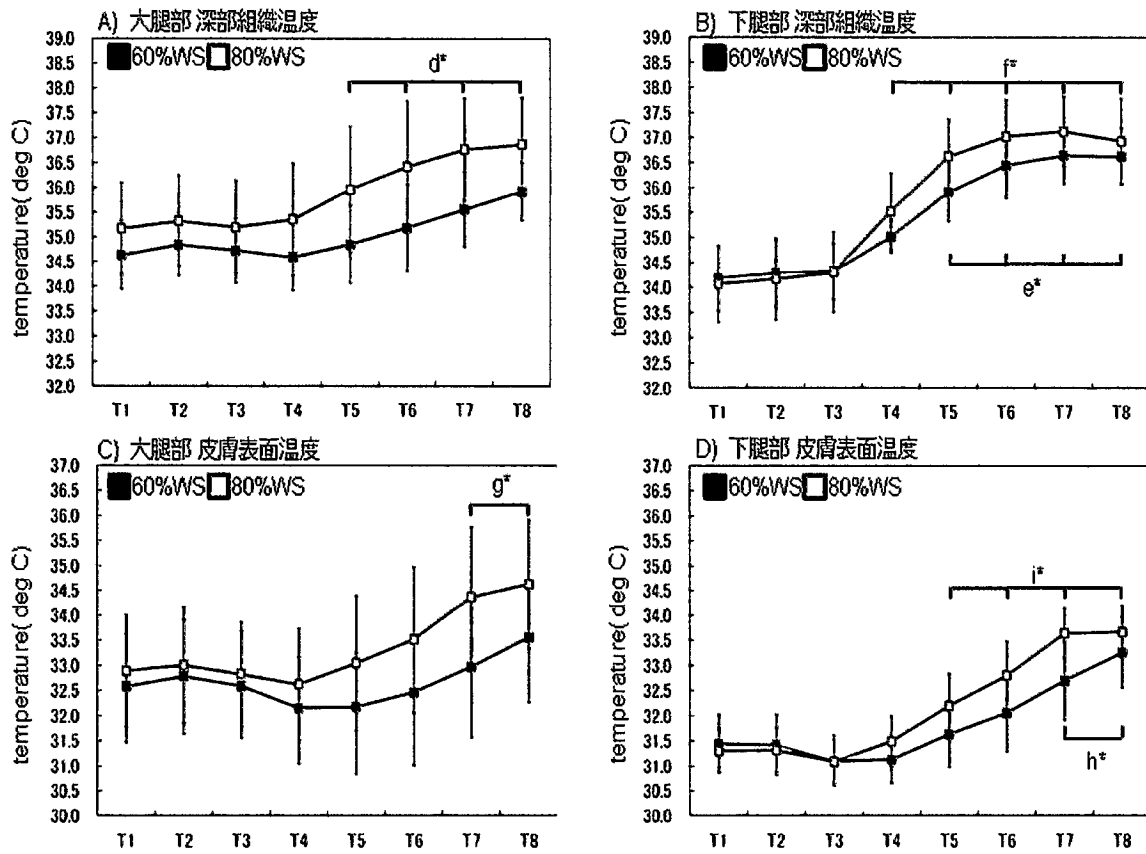


図 2-3. 皮膚表面温度および深部組織温度変化の多重比較結果

60%WSと80%WSの大腿部、下腿部の皮膚表面温度および深部組織温度の変化について、多重比較検定を行った結果である。

## 2.4. 考察

### 2.4.1. 運動強度

本章では、異なる2つの歩行速度における歩行運動中の酸素摂取量と下肢筋群のTdおよびTskの変化を観察した。本実験では歩行速度にて運動強度を設定しているため、60%WSと80%WSでの違いを明確にする必要がある。そこで、身体活動量の測定として広く用いられている間接法による熱量測定<sup>23,24)</sup>を行った。本章で測定された被験者の最大歩行速度の平均は、 $7.9 \pm 0.7 \text{ km/h}$ であった。猪飼ら<sup>25)</sup>は、20歳代の健常成人を対象とした10m歩行テストにて最大歩行速度の測定を実施し、 $181.4 \pm 23.4 \text{ m/min}$ であった事を報告している。この速度を、久保ら<sup>26)</sup>が報告したトレッドミル上速度への変換式を用いて計算すると $7.1 \pm 1.0 \text{ km/h}$ となり、本実験で得られた速度とほぼ同程度の速度であった。60%WSと80%WSの運動では歩行運動中の酸素摂取量に有意差が認められ( $p < 0.01$ )、速度による運動負荷量の違いが明らかとなった。田中ら<sup>27)</sup>は、 $6 \text{ km/h}$ のトレッドミル歩行は、同条件で行うジョギングと同様に高いレベルの運動負荷を与えることが可能であると述べている。本章における80%WSでの歩行速度は $6.3 \pm 0.5 \text{ km/h}$ であり、先行研究とほぼ同程度の速度であることから、ジョギングと同程度の運動量を得られたと考えられる。また、60%WSでの歩行速度は $4.7 \pm 0.3 \text{ km/h}$ であった。

Richardの研究によると、20代の男性が快適に歩行できる平地歩行速度は $5.0 \pm 0.6 \text{ km/h}$ であった<sup>28)</sup>と報告している。60%WSの速度を、久保ら<sup>26)</sup>の変換式を用いて計算すると $3.3 \pm 0.4 \text{ km/h}$ となり、本実験における60%WSとほぼ同程度の速度になる。60%WS、80%WSの運動負荷の設定は、先行研究により、日常生活の身体活動量を反映していることが考えられる。本実験では19-20歳を対象としていたので、トレッドミル上での測定が可能であった。今後、中高年や低体力者を対象とする場合、トレッドミル上での最大歩行速度の測定は困難であることが考えられる。平地歩行での最大歩行速度測定には、6分間歩行テストや10m歩行テストも活用されている

<sup>29,30)</sup> ため、これらを応用することも可能であると考えられる。

#### 2.4.2 深部組織温度と皮膚表面温度の変化

本章では、歩行運動時の筋活動を観察するために大腿部と下腿部のT<sub>d</sub>とT<sub>sk</sub>の変化を観察した。T<sub>d</sub>は60%WSにおいて、大腿部T<sub>d</sub>では歩行前安静椅坐位(T1)と比較して、歩行中に温度上昇が認められなかった。60%WSにおける下腿部の温度変化では、歩行前安静椅坐位(T1)と比較して歩行15分から歩行後安静椅坐位(T5-T8)において有意にT<sub>d</sub>が上昇した。中村ら<sup>30)</sup>は、歩行時の下肢筋活動では、大腿筋群よりも下腿筋群の方の活動量が大きく、下腿筋群の中でも腓腹筋の活動量が大きいと述べている。本実験において、大腿部よりも下腿部においてT<sub>d</sub>の上昇開始時間が早かったのは、筋活動量が影響したと考えられる。

80%WSでは、歩行前安静椅坐位(T1)と比較して、大腿部では歩行15分から歩行後安静椅坐位(T5-T8)において有意にT<sub>d</sub>が上昇した。80%WSの下腿部の温度変化では歩行10分から歩行後安静椅坐位(T4-T8)において有意にT<sub>d</sub>が上昇した。下腿部のT<sub>d</sub>上昇開始時間が大腿部よりも早かったことは60%WSと同様のことが考えられる。体温は運動強度に比例して上昇すると言われており、筋活動に伴い筋温が上昇することで、筋血流量や皮膚血流量が増加し、対流により皮膚表面への熱移動が行われている<sup>20)</sup>。大腿部および下腿部のT<sub>d</sub>の上昇開始時間が60%WSよりも80%WSの方が早かったことは運動強度が影響を及ぼしたことが示唆される。

T<sub>sk</sub>の変化は、大腿部、下腿部ともに60%WS、80%WSのそれぞれで、歩行開始より一時的にT<sub>sk</sub>が低下する傾向が観察された。これは、歩行運動により生じる周囲の空気対流や一時的な循環動態の変化が関与したものと考えられる。

60%WSでは、大腿部、下腿部ともに歩行前安静状態(T1)と比較して歩行運動中の温度上昇は見られなかった。下腿部においては、歩行終了後(T7-T8)において有意に温度が上昇した。

80% WS では，歩行前安静状態 (T1) と比較すると，大腿部では歩行後安静状態 (T7-T8) において有意に温度が上昇した．下腿部では，歩行15分から歩行後安静状態 (T5-T8) において有意に温度が上昇した．60%WSよりも80%WSでTskの上昇点が早かったということは，運動負荷量が及ぼすTdへの影響が関与したものと考えられる．大腿部，下腿部ともに60%WSよりも80%WSにおけるTdの上昇開始時間が早かった．これらが影響し，体温を一定に保つために伝導により環境への熱移動が働きTskの上昇に関与したものと考えられる．歩行後におけるTdとTskの変化については，60%WSでは下腿部のみ，80%WSでは下腿部，大腿部ともに歩行前安静時 (T1) よりも有意に高かった．このことから，80%WSの方が歩行後における筋温上昇と対流，伝導による熱移動が広範囲において継続していることが考えられる．

本章の結果から，歩行速度の増加に伴い下肢筋群のTdと酸素摂取量が増加することが明らかとなった．また，運動強度の違いにより温度上昇までの時間が異なる．このことは，運動強度に比例して体温は上昇する<sup>10)</sup>と言われていることから推測すると，運動強度による筋活動量の違いが体温上昇までの反応時間にも影響を及ぼしたことが考えられる．また，Tdの変化も，筋活動に反映していることが明らかとなった．歩行後におけるTd変化から，最大歩行速度の60%よりも80%の速度で歩行運動を行った方が，歩行後においても何らかの効果が得られることが推察できる．循環応答から見ていくと，80%WS運動開始15分～20分は，その反応が起こっている途中であることが考えられる．そのため，歩行には20分以上の時間が必要であることが示唆された．

---

**Michiko Nihei, Hiroshi Karasuno, Takayuki Fujiwara and Koji Abe .**

**The relationship between the temperature of deep tissue and oxygen consumption, during walking at two speeds. Journal of Applied Bio-metrology. (1); 7-12. 2010 .**

## 第 3 章

### エネルギー消費量における 有酸素性運動と温熱療法の併用効果

### 3.1. はじめに

近年、肥満、高血圧、高血糖症などの生活習慣病が問題視されている。これらの予防や改善には、習慣的に有酸素性運動を行い、エネルギー消費量を増大させることが効果的である<sup>16)</sup>と報告されている。有酸素性運動は、糖代謝や血清脂質の改善、インスリン感受性の向上、降圧効果、呼吸循環機能改善など様々な生理学的変化を惹起し、虚血性心疾患や脳血管障害など動脈硬化性疾患の発病率低下に大きく貢献する<sup>32-35)</sup>。有酸素性運動の中でも、ウォーキングは骨関節系障がいや心疾患へのリスクが少なく、幅広い年齢層や様々な身体状況にある者にとって簡単に行える有酸素性運動である<sup>36)</sup>と評価されている。

運動におけるエネルギー消費のメカニズムは、活動した筋における酸素代謝と、酸素を運ぶ循環動態の増加が関与していると考えられており、運動時の脂肪の利用率には運動強度が関与する<sup>18)</sup>といわれている。McCarty<sup>37)</sup>は、有酸素性運動や食生活の改善に温熱療法を併用することは、代謝促進に有効的であると述べているが、その効果は明らかにはされていない。運動がエネルギー消費量を増加させることは明らかであるが、温熱療法との併用に関する報告は見られていない。

そこで本章では、有酸素性運動と温熱療法のコンビネーション療法がエネルギー消費量に与える影響を検討し、その効果を明らかにすることを目的とした。なお、この研究は、信州大学に設置されているヒトを対象とした研究に関する倫理委員会の承認を得ている。

### 3.2. 対象と方法

#### 3.2.1. 対象

口頭により本実験の趣旨を説明し、書面にて同意の得られたボランティアの中から、運動習慣がなく下肢に血行障害等の既往歴がない健常成人男性12名（年齢19-28歳）を対象とした。被験者の身体的特徴（平均±標準偏差）は以下の通りであった。身長、体重、体

脂肪率, body mass index (BMI) は, それぞれ  $169.3 \pm 3.3$  cm,  $63.5 \pm 7.5$  kg,  $20.3 \pm 4.1\%$ ,  $22.2 \pm 2.6$  であった.

### 3.2.2. 使用機器と手順

全ての対象者は, 有酸素性運動のみ (非温熱群) と有酸素性運動直前に温熱療法を併用 (温熱群) した 2 つの実験に参加した. また 2 つの実験は同一日に実施せず, 十分な期間を取った後に実施し, その組合せはランダムとした. 有酸素性運動には, トレッドミル (フクダ電子社製, MAT-2610) 上での歩行運動を利用した. 対象者の服装は, 半袖, 半ズボン, 運動用シューズを着用した. 2 つの実験開始前に, トレッドミル上にて対象者の最大歩行速度を測定し, 対象者毎の最大歩行速度の 80% を算出した. 有酸素性運動として, 最大歩行速度の 80% で 20 分間のトレッドミル上での歩行運動を行うことを対象者に指示した. 対象者の最大歩行速度と最大歩行速度の 80% 速度の平均  $\pm$  標準偏差は, それぞれ  $7.9 \pm 0.7$  km/h,  $6.3 \pm 0.5$  km/h であった.

温熱療法には, 27.12MHz の短波を利用した超短波治療器 (伊藤超短波社製, ひまわり SUN2 デュオ) を使用し, コイル導子 2 個を用いて, 交互発振のパルスモード (860Hz), ピーク出力 120W (平均出力 32W) で 20 分間照射した. 2 つの導子は腹部と背部に固定して照射した. 深部組織温度の測定には熱流補償式深部温度計 (テルモ社製, CM-210) を使用した. 深部温プローブは, 左大腿前面中央部と左下腿後面中央部の 2 箇所弾性テープを貼付して固定した. 使用した深部温度計のプローブのサイズは  $25 \times 8.5$  mm であった. 酸素摂取量の測定には, 無線式呼気ガス代謝モニター (COLTEC 社製, Meta Max 3b) を使用した. 実験環境は, 室温  $24-26^{\circ}\text{C}$ , 無風状態の室内にて可及的に一定になるように調整した.

実験手順は, 非温熱群は, 安静椅坐位 10 分, トレッドミル歩行 20 分, 安静椅坐位 10 分の計 40 分間を測定対象とした. 温熱群は, 安静椅坐位 10 分, 温熱療法 20 分, トレッドミル歩行 20 分, 安静椅坐位 10



分の計60分間を測定対象とした（図3-1）。両群ともに測定対象時間において、酸素摂取量、深部組織温度を経時的に測定した。測定された各データは10秒間隔でパーソナルコンピュータに記録した。

### 3.2.3. 統計解析

熱流補償式深部温度計により測定された左大腿部前面中央部と左下腿部後面中央部の2箇所の深部組織温度から平均値を算出して、その値を下肢深部組織温度とした。非温熱群は、安静時、歩行前半、歩行後半、歩行後の4区間（各10分間）、温熱群は、安静時、温熱前半、温熱後半、歩行前半、歩行後半、歩行後の6区間（各10分間）に分割した。下肢深部組織温度と酸素摂取量は各区間（各10分間）の平均値を求めた。さらに両群において、各区間の酸素摂取量と下肢深部組織温度から安静時の酸素摂取量と安静時の下肢深部組織温度の差分を算出して、その値を用いて統計処理を行った。統計処理は、統計解析ソフト（SPSS ver.11.0J）を使用して、student paired t-test を実施した。

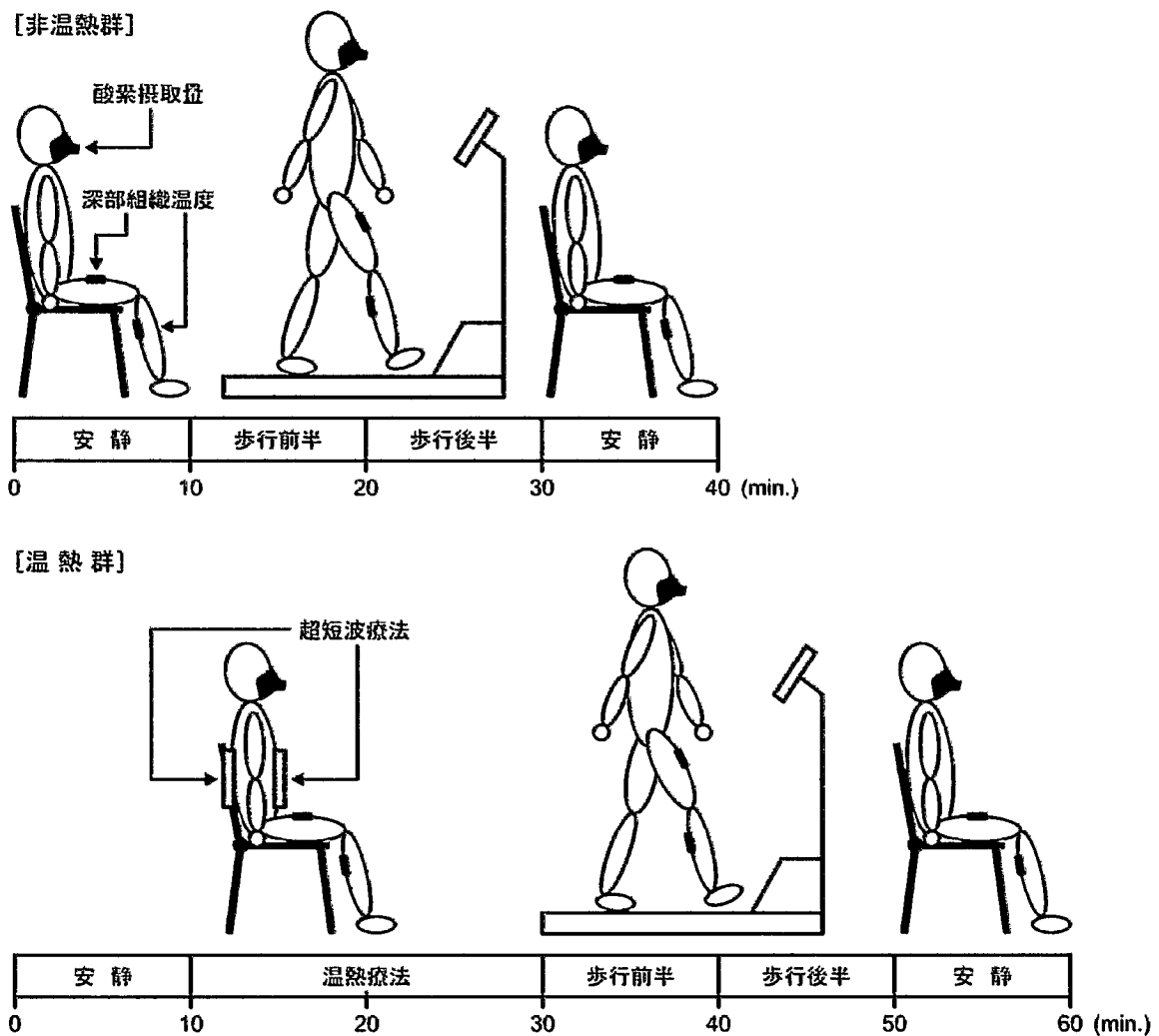


図 3-1. 実験の模式図と手順

実験の模式図を示した。

上図（非温熱群）：安静椅坐位10分，トレッドミル歩行20分，安静椅坐位10分の計40分間の測定。

下段（温熱群）：安静椅坐位10分，温熱療法20分，トレッドミル歩行20分，安静椅坐位10分の計60分間の測定。

### 3.3. 結果

#### 3.3.1. 各測定項目の経時的変化

両群の実験時間中における下肢深部組織温度変化の比率および酸素摂取量の経時的変化を図3-2, 図3-3に示す。また, 両群において, 安静時の下肢深部組織温度と安静時の酸素摂取量では有意差は認められなかった。

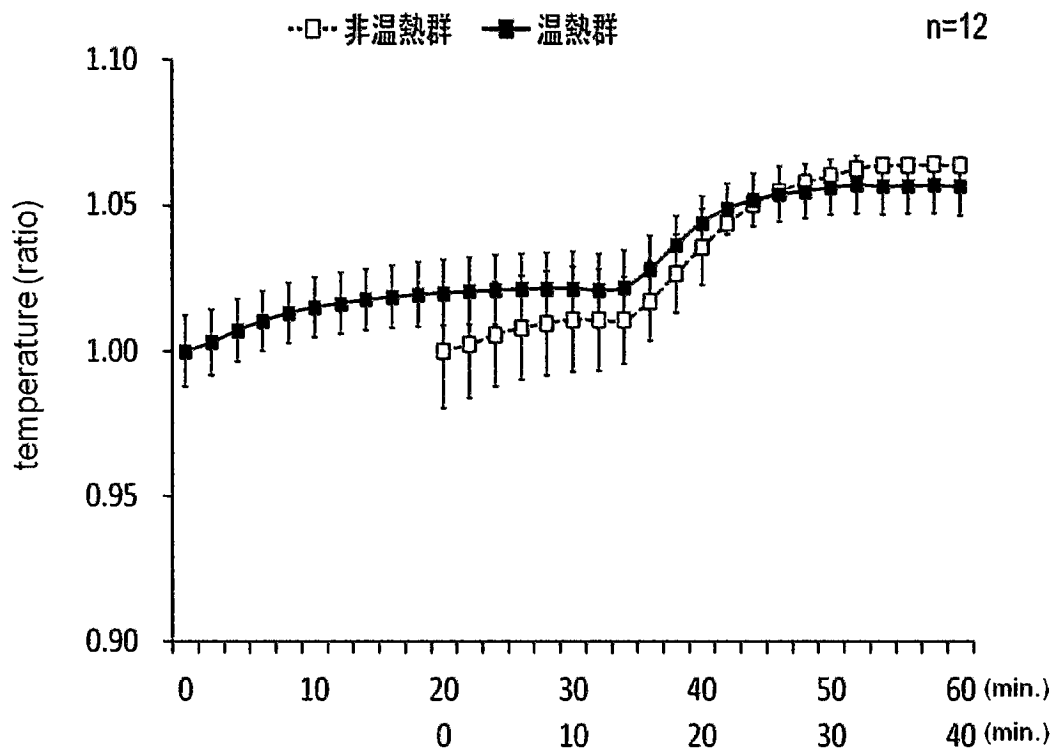


図 3-2. 下肢深部組織温度変化の比率

非温熱群と温熱群の下肢深部組織温度変化の比率を示している。各プロットは2分毎の平均値を求めた後, 各群の実験開始時を基準とした変化比率の平均値±標準偏差を示している。両群の歩行時間を合わせるため, 非温熱群は温熱群より20分遅れからプロットした。非温熱群は10-30分, 温熱群は30-50分の20分間に歩行運動を実施している。

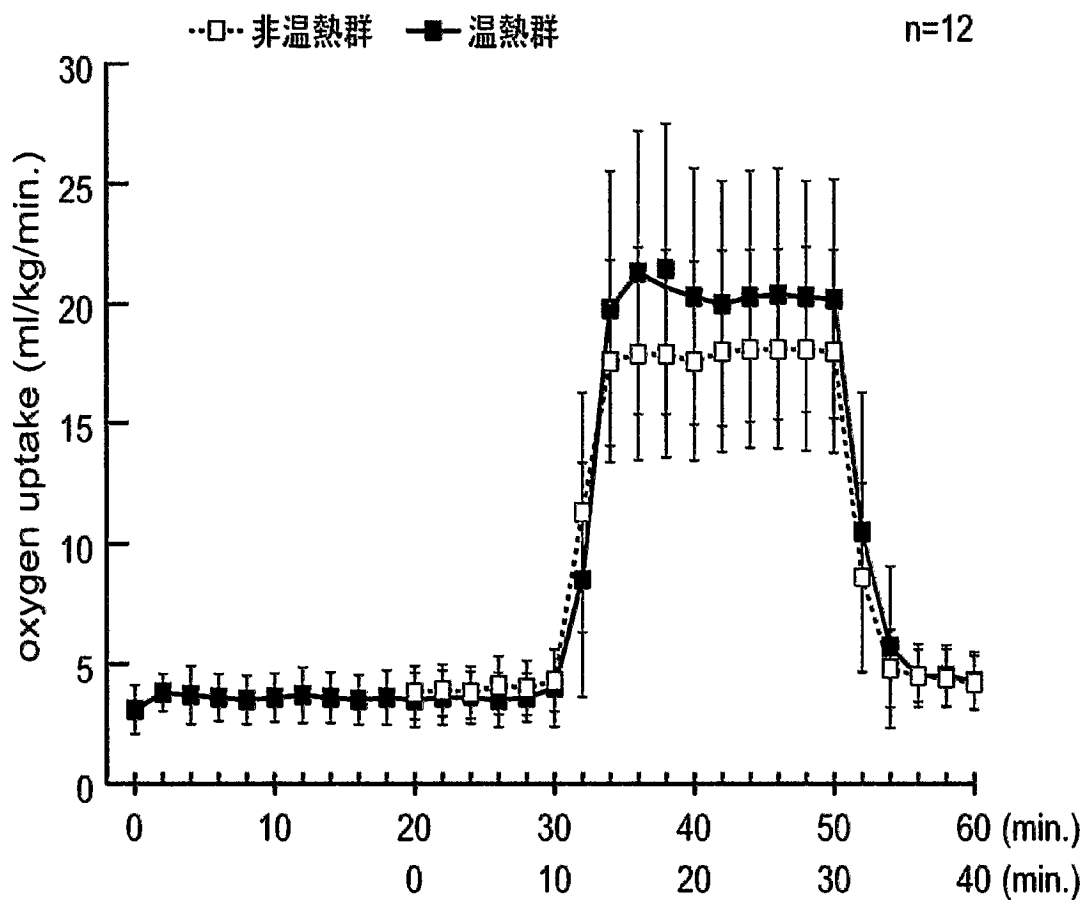


図 3-3. 酸素摂取量の経時的变化

非温熱群と温熱群の酸素摂取量の経時的变化を示している。各プロットは2分毎の平均値±標準偏差を示している。両群の歩行時間を合わせるため、非温熱群は温熱群より20分遅れからプロットした。非温熱群は10-30分、温熱群は30-50分の20分間に歩行運動を実施している。

### 3.3.2. 下肢深部組織温度

図3-4は、非温熱群と温熱群の歩行前半と歩行後半の区間における下肢深部組織温度の安静時からの差分値を示している。非温熱群の歩行前半、歩行後半の区間の下肢深部組織温度の差分値（平均値±標準偏差）は、 $0.4 \pm 0.2$  度、 $1.6 \pm 0.6$  度であった。温熱群の歩行前半、歩行後半区間の下肢深部組織温度の安静時からの差分値（平均値±標準偏差）は、 $0.7 \pm 0.2$  度、 $1.5 \pm 0.3$  度であった。歩行前半の区間では、非温熱群よりも温熱群の方が有意な増加を認めた（ $p<0.01$ ）。しかし、歩行後半の区間では両群に有意差は認められなかった。

### 3.3.3. 酸素摂取量

図3-5は、非温熱群と温熱群の歩行前半と歩行後半の区間における酸素摂取量の安静時からの差分値を示している。非温熱群の歩行前半と歩行後半の酸素摂取量の差分値（平均値±標準偏差）は、 $12.4 \pm 3.4$  ml/kg/min、 $14.0 \pm 3.8$  ml/kg/min であった。温熱群の歩行前半と歩行後半の酸素摂取量の差分値（平均値±標準偏差）は、 $14.5 \pm 4.4$  ml/kg/min、 $16.6 \pm 4.7$  ml/kg/min であった。歩行前半および歩行後半のそれぞれの区間において、非温熱群よりも温熱群の酸素摂取量が有意な増加を示した（ $p<0.05$ 、 $p<0.05$ ）。

\*\* :  $p < 0.01$  , n.s. : no significant n=12

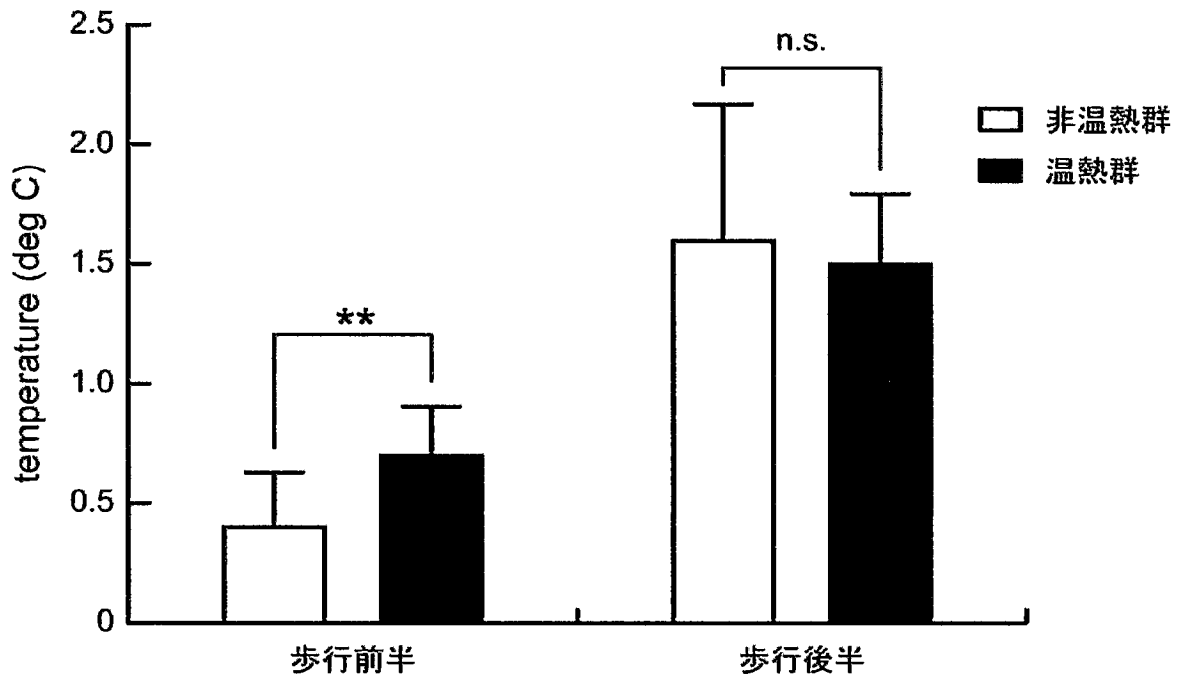


図 3-4. 歩行時の下肢深部組織温度の比較

非温熱群と温熱群における歩行前半と歩行後半の2区間での下肢深部組織温度の差分値(安静区間からの差分)の比較を示している。

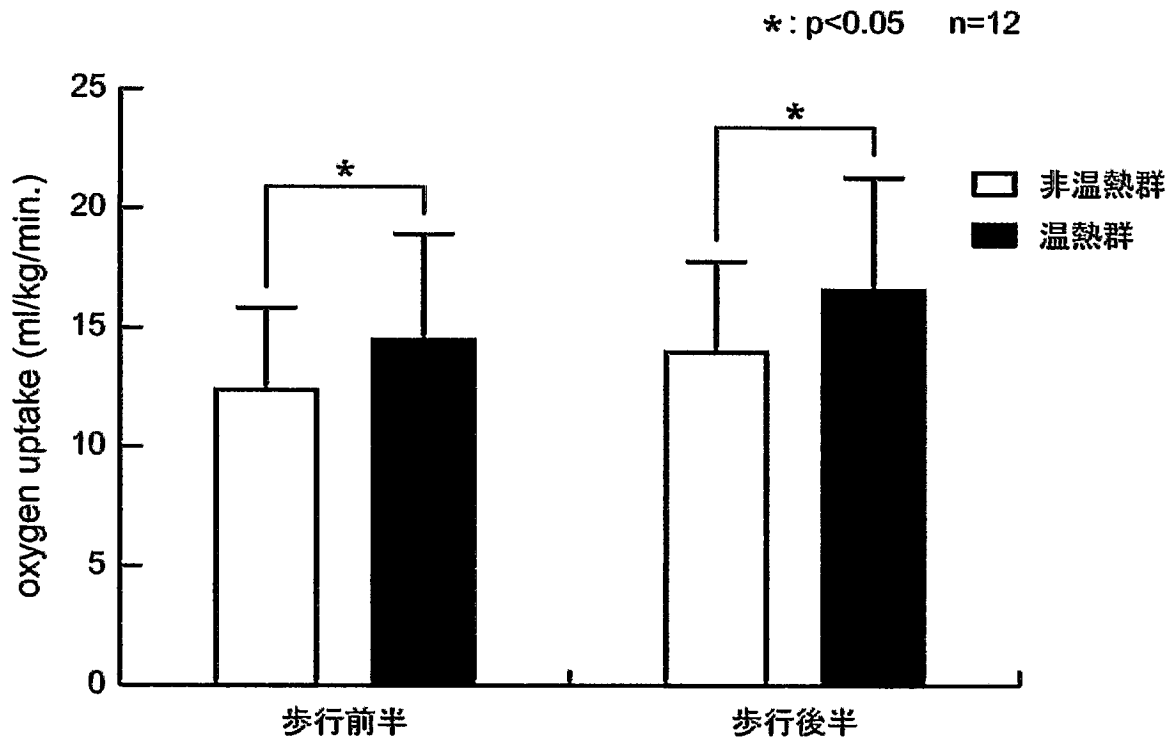


図 3-5. 酸素摂取量の比較

非温熱群と温熱群における歩行前半と歩行後半の2区間での酸素摂取量の差分値（安静区間からの差分）の比較を示している。

### 3.4. 考察

本章では、温熱療法が運動時エネルギー消費量に及ぼす影響について明らかにするため、クロスオーバーの研究デザインを用いた。同じ運動負荷量を与えた場合に、負荷前の温熱療法併用の有無がエネルギー消費量に及ぼす影響について検討した。本章での運動強度は、各対象者より実験前に測定したトレッドミル上での最大歩行速度の80%歩行速度による20分間の有酸素性運動を用いた。本方法による運動強度の設定は、我々の先行研究（第2章）において使用した方法である。先行研究において、最大歩行速度の60%歩行速度と80%歩行速度でトレッドミル歩行を20分間行わせた際、60%よりも80%歩行速度における歩行運動実施中の下肢深部組織温度と酸素摂取量が有意に増加することを認めた。したがって、本章での検証では80%歩行速度における20分間のトレッドミル歩行を運動負荷として採用した。

運動による生体内の温度上昇は代謝を促進する<sup>19)</sup>。また、ヒトの体内で発生されたエネルギーの約80%が筋肉で熱に変換され、運動時には体温上昇とともに、皮膚血流が増加して血液の再配分が起こる<sup>38)</sup>。運動実施時には筋血流が促進され、筋収縮のエネルギーである酸素供給が行われる。また、運動による筋収縮が効率よく行われることで筋組織温が上昇する<sup>39)</sup>と考えられている。この筋収縮による熱産生と循環動態の増加は、筋組織温の上昇に伴う身体全体の体温上昇を引き起こす<sup>39)</sup>ものと考えられる。

環境温度とエネルギー消費に関する研究では、美和ら<sup>11)</sup>は、入浴やサウナ浴中のエネルギー消費量について観察し、体温、発汗、血管拡張は有意に上昇するがエネルギー消費量の上昇はわずかであり、体重の減少効果は小さいと報告している。また、田中ら<sup>21)</sup>は、20-26℃範囲内の異なる環境温度下でのトレッドミル歩行中における深部組織温度と皮膚表面温度について、深部組織温度には影響を及ぼさないが、皮膚表面温度は影響を受けやすいと報告している。近年、末梢循環障害などの検査やリハビリテーションへの応用として、サ



一モグラフィーを活用した運動時の筋活動領域における皮膚表面温度の変化に関する研究について多くの報告がなされている<sup>22,40,41)</sup>。しかしながら、皮膚表面温度は環境温度の影響を受けやすく、深部組織である筋活動よりも皮膚血流の影響を受けやすいと考えられる。そのため、本章では皮膚表面温度よりも深部組織温度に着目した。

深部組織を加温して循環動態を賦活するために、エネルギー変換療法の一つである超短波療法を用いた。超短波治療器のコイル導子を腹部と背部に取り付け、20分間のパルス超短波照射を行った。超短波療法は皮膚や皮下組織の過剰な過熱なしに3～5cm深部の組織を加温することが可能である<sup>42)</sup>。温熱療法が循環動態に及ぼす影響に関して、烏野ら<sup>12)</sup>は、下腿部における超短波照射部位と対側同部位の循環動態の変化を報告している。Abramsonら<sup>43)</sup>とWessmanら<sup>44)</sup>は、超短波を腹部に照射した際の上肢と下肢の循環動態について報告している。また、Scott<sup>45)</sup>は、超短波の温熱効果として、照射により組織温度が上昇することで血流の増加を引き起こすと述べている。本章では、歩行で使用される筋組織を直接的に加温する方法ではなく、遠隔部位である腹部を加温することで全身の循環動態を促進する間接的な加温を行った。また、本章で使用したパルス超短波療法の平均出力は2つの導子を合わせて32Wと烏野ら<sup>12)</sup>が使用した連続モードの超短波80Wに比較して低い出力であるが、ピーク出力は120Wと高い超短波を照射した。パルス超短波療法を用いることで、連続モードの超短波療法よりも皮膚表面の加熱が少ない深部加温が行われたと考えられる。

図3-2において、両群ともに実験開始後0-10分において下肢深部組織温度がゆるやかに上昇したことは、周囲の環境への馴れが不十分であったことが考えられる。各群の歩行直前（非温熱群：10分、温熱群：30分）では、両群での有意差は認められなかったが、温熱群の方がやや高い値を示しているため、パルス超短波療法による温熱療法が何らかの影響を及ぼしたことが考えられた。恒温動物

であるヒトは、体温調節機構の働きにより体温を一定に保っている。運動、外界の環境変化により上昇した体温は、心拍数の上昇、皮膚血管への血流量を調節することにより放熱量を増加させている。歩行運動直後（非温熱群：30分、温熱群；50分）において両群でほぼ同様の値になったことは、体温調節機能の働きによるものと考えられる。歩行運動後では、非温熱群の下肢深部組織温度がやや高い傾向となったことは、非温熱群の熱放散過程が遅発的に起こったものと考えられる。

図3-4において、温熱群の歩行前半における下肢深部組織温度が、非温熱群より有意に上昇したことは、温熱療法が腹部や背部のみならず、遠隔部位である下肢の循環動態を促進し、下肢深部組織温度を上昇させたことを示唆している。また、温熱療法により下肢だけでなく全身の循環動態が賦活したことで、組織代謝率が促進されたと推測される。藤原ら<sup>46)</sup>は、1.4m/sの有風条件下での運動時の心拍数が、無風条件下に比べて低値を示したことを報告している。また、心拍数の上昇と酸素摂取量の増加には関連性がある。本実験では、藤原らの実験方法とは異なるが、図3-2の結果も合わせると、温熱療法を行うことで、歩行前半での下肢深部組織温度を上昇させ、運動中の体温調節機能の働きが促進されたことで、酸素摂取量の増加に繋がったと推察される。

両群における下肢深部組織温度と酸素摂取量の関係は、歩行前半では非温熱群に比べて温熱群の下肢深部組織温度と酸素摂取量の増加が認められた。歩行後半では、歩行運動により非温熱群の下肢深部組織温度の上昇に伴って酸素摂取量の増加が認められた。これらの結果から、下肢の深部組織温度の上昇が酸素摂取量の増加に影響を与えることが明らかとなった。歩行後半では温熱群と非温熱群の下肢の深部組織温度はほぼ同じ温度になったが、酸素摂取量においては両群間で有意差が認められた。本章では、歩行運動に主に利用される下肢の大腿四頭筋と下腿三頭筋上の2箇所<sup>47)</sup>の深部組織温度を下肢深部組織温度として扱ったが、下肢の他の部位についても同時

に測定した場合には、歩行後半の深部組織温度においても、両群間で差が得られた可能性があると考えられた。

運動は、生活習慣病の改善や予防に重要な役割を担っている。身体運動を効果的に行うために、運動時間や運動強度、運動頻度などを考慮することが望まれている。米国スポーツ医学会<sup>4)</sup>では、呼吸循環機能を向上させる運動処方として、少なくとも最大酸素摂取量の50～85%強度、20分間の有酸素性運動を週に3回、数ヶ月継続することを推奨している。しかし、体力の低下や、慢性的な運動不足などにより十分な有酸素性運動を行えない場合もある。また、運動習慣を有さない対象者の場合、筋組織での代謝能力が低下している可能性が考えられる。

本章の結果から、80%歩行速度にて20分間のトレッドミル歩行を実施する前に、温熱療法により身体を加温することで、エネルギー消費量が増加することが明らかとなった。本章では、20歳代の若年者を対象としたため、比較的高い運動強度を用いたが、温熱療法の併用による酸素代謝の増加が観察された。したがって、運動療法に温熱療法を併用することで、運動中の代謝効率の促進に繋がったと考えられた。また、温熱療法により組織の循環動態を促進しておくことは、筋組織における酸素代謝を効率的にし、筋損傷の予防にも役立つと考えられる。

今後は、加齢などにより代謝能力が低下している中高年者を対象として、本章で用いた運動負荷よりも低強度の運動負荷においても、同様の効果が得られるかについて検討を進めていきたい。

---

二瓶美智子，鳥野大，藤原孝之，阿部康次。

エネルギー消費量における有酸素性運動と温熱療法の併用効果。

日本物理療学会誌．Vol.16；23-27．2009．

## 第 4 章

下肢の筋組織内循環動態における有酸素性歩行運動と  
温熱刺激の併用効果

#### 4.1. はじめに

運動習慣や食習慣の見直しは、健康増進や生活習慣病の予防・改善に効果があることは周知の事実である。McCarty<sup>37)</sup>は生活習慣病の予防や改善には有酸素性運動が効果的であり、さらに温熱刺激との併用が有効であると述べているが、その効果は明らかにされていない。近年では、運動に温熱刺激を併用した際のエネルギー消費量への影響や減量効果についての報告がある<sup>11,21,48)</sup>。これらの報告は運動の環境を変化させることによる運動への影響を観察したものであり、特に減量効果に関してはエネルギー消費量よりも、発汗に伴う体重減少であると報告されている。運動時の代謝亢進には、運動強度の増加、生体内温度の上昇、筋収縮による熱産生と循環動態の増加が関与する<sup>19)</sup>と言われている。先行研究（第3章）において、温熱刺激後に有酸素性歩行運動を行い、酸素摂取量と下肢深部組織温度の変化を観察した。この結果、温熱群において酸素摂取量と下肢深部組織温度の有意な増加が認められた<sup>49)</sup>。この結果、温熱刺激が運動時酸素摂取量および筋活動に伴う筋温上昇に影響を与えたものと推察した。運動時の酸素摂取量には、運動条件や活動する筋での酸素消費、筋組織内の循環動態の増加が酸素運搬を促進する<sup>39)</sup>と考えられている。筋組織内の循環動態を評価する方法として近赤外線分光法（以下、NIRS；near infrared spectroscopy）を用いた研究報告がある<sup>50)</sup>。NIRSは酸素化ヘモグロビン（以下、oxy-Hb）と脱酸素化ヘモグロビン（以下、deoxy-Hb）の相対的な濃度変化を、近赤外線分光法により非侵襲的に測定する分析方法である。

NIRSによって得られるoxy-Hbとdeoxy-Hbの和である総ヘモグロビン（以下、total-Hb；oxy-Hb+deoxy-Hb=total-Hb）は、組織内の血液量や酸素量を反映する<sup>12,50-54)</sup>と考えられている。本章の目的は、有酸素性歩行運動（以下、歩行運動）と温熱刺激併用の有無が、下肢循環動態に与える影響を明らかにすることである。

## 4.2. 対象と方法

### 4.2.1. 倫理的配慮

本章における実験は、信州大学に設置されているヒトを対象とした研究に関する倫理委員会の承認を得ている（承認番号第13号）。本章における実験を実施するに際し、事前に対象者に研究の趣旨、内容、結果の取り扱い等について説明し同意を得た。

### 4.2.2. 対象者

本実験の同意が得られたボランティアの中から、週1回以上の運動習慣が無く下肢に循環障害等の既往歴がない健常成人男性16名（年齢24－36歳）を対象とした。女性は循環動態へ与えるホルモンバランスおよび運動機能などの性差の影響を取り除くために除外した。対象者の身体的特徴（平均±標準偏差）は以下の通りであった。身長、体重、体脂肪率、Body mass index（BMI）は、それぞれ $170.8 \pm 4.0$  cm、 $65.0 \pm 10.5$  kg、 $19.3 \pm 6.0$  %、 $22.3 \pm 3.4$ であった。対象者は、コントロール群（以下、C群）、温熱刺激群（以下、H群）、歩行運動群（以下、WN群）、歩行運動と温熱刺激併用群（以下、WH群）の4群の実験に参加し、4つの実験はランダムに実施した。実験期間は平成23年8月29日から9月25日までの4週間として、運動等による運動機能の変化をできる限り排除した。上記の期間に測定が可能であった対象は、それぞれC群11名、H群11名、WN群12名、WH群12名であった。また、同一対象者が複数の群の実験に参加する際は同一日に実施せず、1～3日間の期間を取った後に実施した。複数の群への参加者数は、4群4名、3群6名、2群6名であった。

### 4.2.3. 実験手順

4 群の各実験時間はそれぞれ60分間とした。安静時および温熱刺激実施時の姿勢は、3ヶ所可動式治療用ベッドを用い、両膝関節が伸展位、体幹50度屈曲位となるように固定し、被験者が安楽な半座位姿勢（以下、安静座位）が取れるように調整した。各群の実験手順は以下の通りとした（図4-1）。C群は安静座位による安静を60分間保持させた。H群は安静座位による安静を60分間保持した状態で、安静開始後10分後より20分間の温熱刺激を実施した。WN群は安静座位30分後より20分間の歩行運動を実施した。WH群は安静座位10分後より20分間の温熱刺激を実施し、終了後より20分間の歩行運動を実施した。C群とWN群には、H群とWH群の両群と同様に温熱治療器の導子を取り付けたが、温熱は実施しなかった。

温熱刺激には、超短波治療器（伊藤超短波社製、ひまわり SUN2 デュオ）を使用し、コイル導子2個を用いて交互発振のパルスモード（860Hz）、ピーク出力120W（平均出力32W）で20分間の照射を行った。2つのコイル導子は腹部と背部に固定した。歩行運動にはトレッドミル（フクダ電子社製、MAT-2610）を使用した。歩行運動を実施するWN群およびWH群においては、実験開始前にトレッドミル上にて対象者の最大歩行速度を測定し、最大歩行速度の80%を算出した（以下、80%WS）。WN群とWH群の歩行運動は80%WSを用いて実施した。

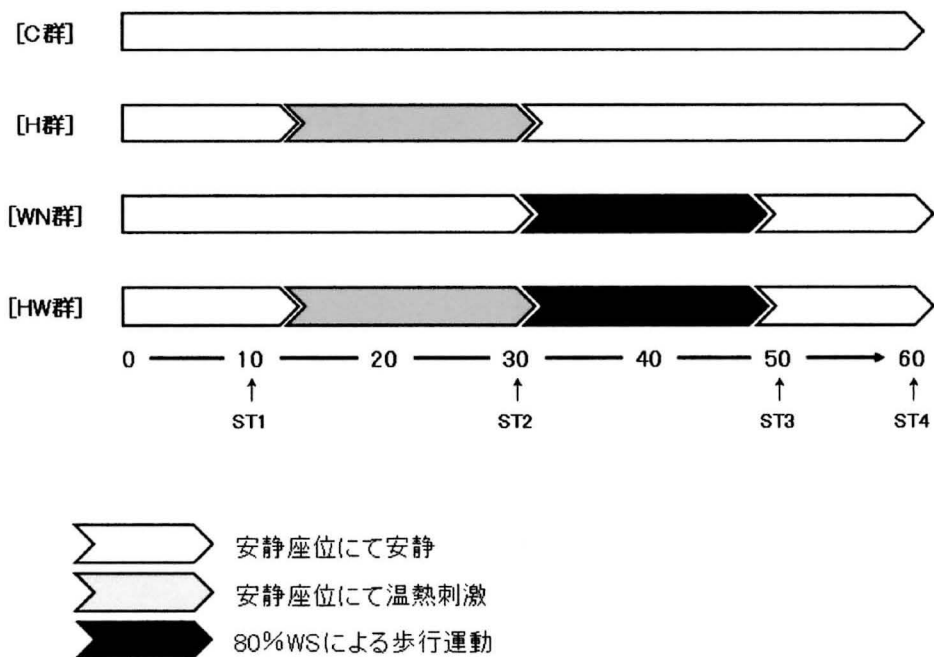


図4-1. 実験手順

安静時および温熱刺激時は安楽な半座位姿勢（安静座位）とし、歩行運動は80%WSにてトレッドミルを使用した。NIRSの測定データは10分間隔で6区間(T1-T6)に分割して解析した。STの測定は4回実施した（ST1-ST4）。



#### 4.2.4. 測定項目

測定項目は、皮膚表面温度（以下、ST）と下肢の循環動態の指標であるヘモグロビン濃度とした。実験中のSTの測定には、放射型スポット温度計（タスコジャパン社製、THI-700L）を用いて測定した。STの測定部位は、NIRSによる測定部位の隣接部とした。放射型スポット温度計は測定部位から1m離れた場所に三脚で固定して用いた。STの測定肢位は安静座位として、実験開始後10分後（ST1）、30分後（ST2）、50分後（ST3）、60分後（ST4）の計4回の測定を行った。

ヘモグロビン濃度の変化は近赤外線分光器（浜松ホトニクス社製、NIRO-200）を使用して、oxy-Hbとdeoxy-Hbを測定し、total-Hbを求めた。NIRSの発光部と受光部間距離は4cmとして、左下肢の大腿直筋と腓腹筋内側頭の筋腹中央の皮膚上に粘着テープで固定した（以下、大腿部、下腿部）。4群ともに実験開始時から終了時までの60分間の間、NIRSによりヘモグロビン濃度の相対的变化を経時的に測定した。NIRSにより得られたデータはサンプリング時間10秒で取り込まれた後に、パーソナルコンピュータにて解析した。NIRSのデータは任意の時点での測定値を0とした相対的变化を示している。したがって、任意時点で0補正した場合、それ以後のデータは、任意時点の値からの相対値となる。このような測定原理上の特徴を有している。このため、本実験においては、実験開始から5分後までの5分間データを用いてオフセット処理を実施した。オフセット処理は、5分間に得られたデータの平均値を0として、全てのデータの0補正をする処理方法である。このオフセット処理を実施することで、任意時点のみの影響を軽減できる。オフセット処理後、NIRSにより測定された60分間のデータを10分間隔で6区間（T1-T6）に分割して、各区間のoxy-Hb、deoxy-Hb、total-Hbについて区間積分値を求め、各区間の代表値とした。NIRSで測定される値は相対的な濃度変化を示しているため、その数値の単位には任意単位（AU：arbitrarily unit）を用いた。

実験環境は室温 25 – 26℃，無風状態の室内にて可及的に環境が一定になるように調整した。実験時の対象者の服装は半袖（Tシャツ），ハーフパンツ，運動用シューズ着用とした。

#### 4.2.5. 統計解析

歩行運動における 80%WS については，WN 群と WH 群において対応のない t 検定を用いて解析した。放射型スポット温度計により測定された ST1 – ST4 時点のデータを用いて統計解析を行った。統計解析は，歩行運動未実施群（C 群，H 群）と歩行運動実施群（WN 群，WH 群）に分けて，繰り返しのある二元配置分散分析を用いて解析した。その結果，歩行運動未実施群，歩行運動実施群において有意差が得られなかったため，多重比較検定は実施しなかった。

NIRS により測定された大腿部と下腿部の oxy – Hb，deoxy – Hb，total – Hb は，各区間の区間積分値を用いて統計解析を行った。統計解析は，歩行運動未実施群（C 群，H 群）と歩行運動実施群（WN 群，WH 群）に分けて，繰り返しのある二元配置分散分析を用いて解析した。その結果，有意差が得られた歩行運動実施群に対して，Tukey post – hoc 検定を用いて解析した。

### 4.3. 結果

#### 4.3.1. 運動強度

実験開始前に測定した最大歩行速度と 80% WS の平均値 ± 標準偏差は，それぞれ WN 群は  $7.8 \pm 0.3$  km/h， $6.2 \pm 0.2$  km/h であり，WH 群は  $7.7 \pm 0.2$  km/h， $6.1 \pm 0.2$  km/h であった。両群において有意差は認められなかった。

### 4.3.3. 下肢循環動態

歩行運動未実施群（C群，H群）の大腿部と下腿部の total - Hb の区間積分値を用いて，繰り返しのある二元配置分散分析を実施した．その結果，大腿部と下腿部ともにC群とH群において交互作用は認められなかった（図4-2．A，B）．歩行運動実施群（WN群，WH群）の大腿部と下腿部の oxy - Hb ， deoxy - Hb および total - Hb の区間積分値を用いて，繰り返しのある二元配置分散分析を実施した．下腿部の oxy - Hb の区間積分値は，WN群とWH群の経時的変化において交互作用が認められた（ $F=2.54, p<0.05$ ．図4-3．A）．大腿部と下腿部の deoxy - Hb の区間積分値は，WN群とWH群の経時的変化において交互作用が認められた（大腿部； $F=5.35, p<0.01$ ，下腿部 $F=2.61, p<0.05$ ．図4-3．B，D）．大腿部と下腿部の total-Hb の区間積分値は，WN群とWH群の経時的変化において交互作用が認められた（大腿部； $F=7.42, p<0.01$ ，下腿部； $F=4.64, p<0.01$ ，図4-2．C，D）．各区間（T1-T6）における total - Hb の積分値の変化を図4-2に示す．大腿部の total - Hb の積分値は，WN群に比較してWH群において有意な増加が認められた（T5； $p<0.01$ ）．下腿部の total - Hb の積分値は，WN群に比較してWH群において有意な増加が認められた（T4，T5； $p<0.01$ ）．各区間（T1-T6）においてWN群とWH群間で比較を行った結果を図4-3に示す．下腿部の oxy - Hb の積分値は，WH群において有意な増加が認められた（T4,T5； $p<0.05$ ）．大腿部と下腿部の deoxy - Hb の積分値は，WH群において両部位で有意な増加が認められた（大腿部T5； $p<0.01$ ，下腿部T5； $p<0.05$ ）．

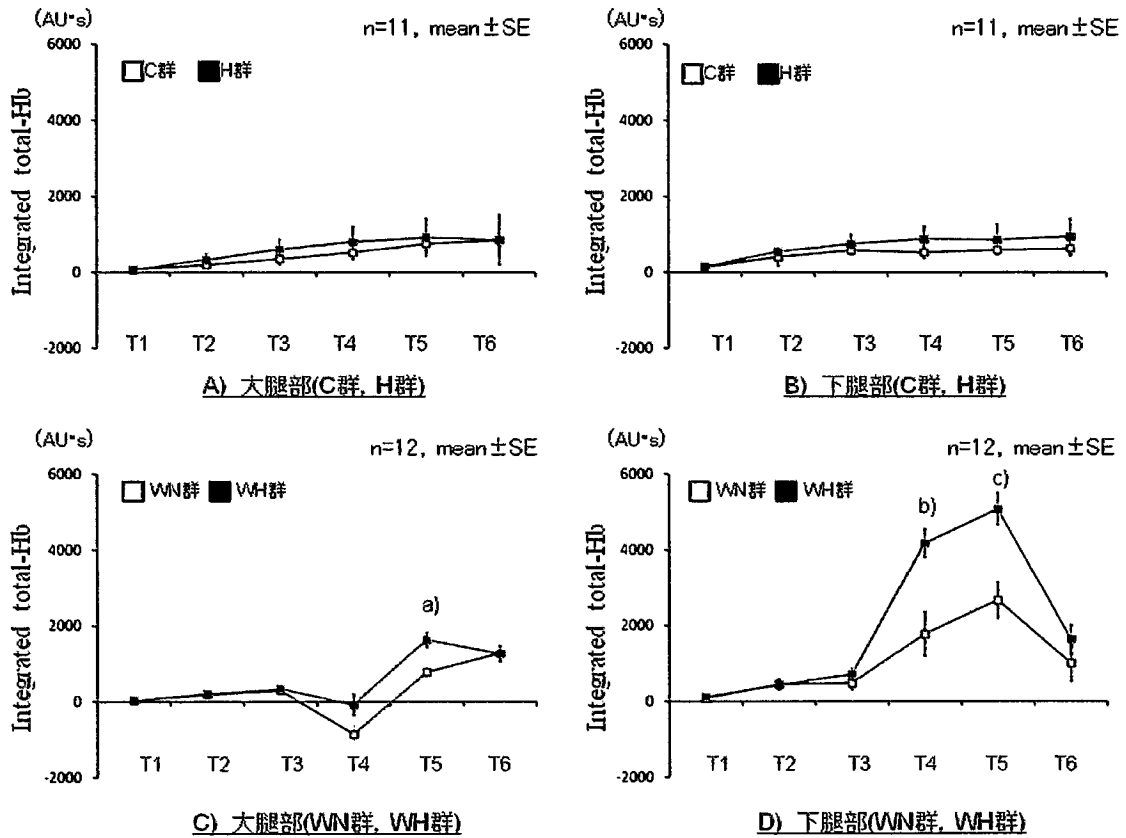


図 4-2. 各群の total-Hb の積分値

各群の大腿部と下腿部の total-Hb の積分値 (mean ± SE) について、歩行運動未実施群 (上段) と歩行運動実施群 (下段) のそれぞれで、繰り返しのある二元配置分散分析を行った結果を示す。

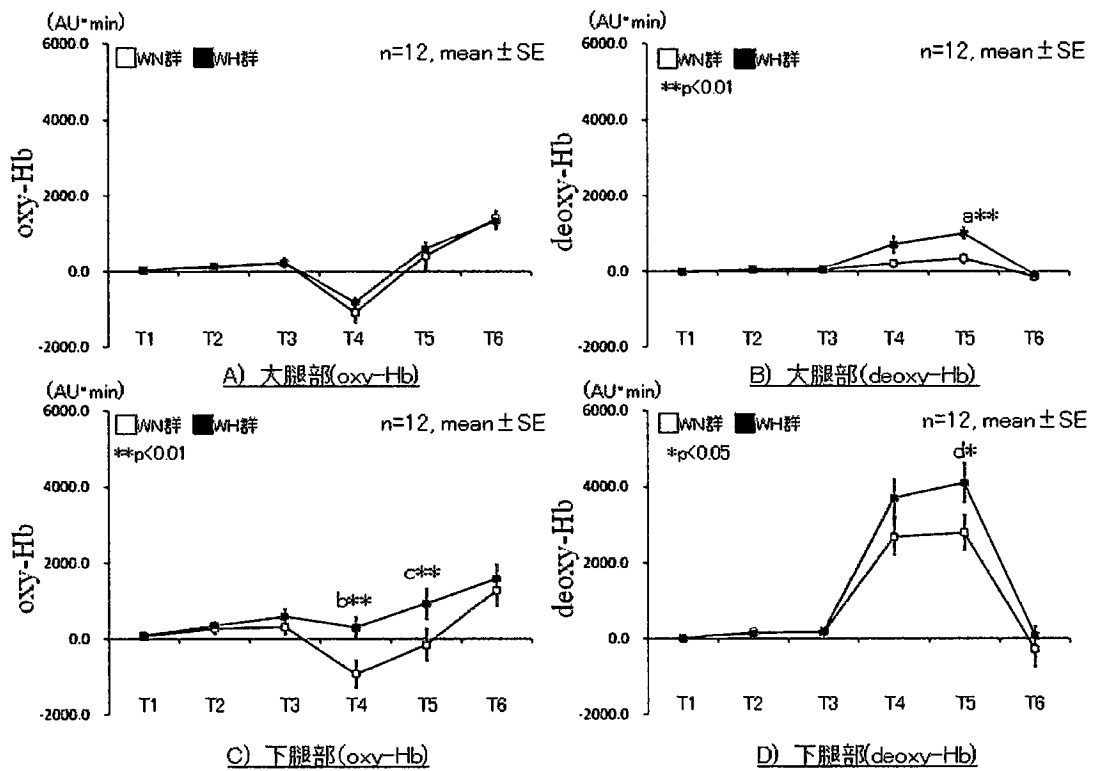


図 4-3. WN 群と WH 群における各ヘモグロビン濃度の積分値  
 WN 群, WH 群の大腿部と下腿部の oxy-Hb と deoxy-Hb 濃度の積分値 (mean  
 ± SE) について, 各区間の比較を行った結果を示す.

#### 4.4. 考察

##### 4.4.1. 運動課題と温熱刺激

先行研究（第3章）において同型の超短波治療器を使用して20分間の温熱刺激後に、20分間のトレッドミル歩行運動を実施した。その際の酸素摂取量と下肢深部組織温度の変化を観察し報告した<sup>47)</sup>。その結果、温熱刺激未実施群に比べて温熱刺激実施群において、歩行運動中の酸素摂取量と下肢深部組織温度が有意に増加したことを観察した。そして、下肢深部組織温度が増加したことから下肢の血液量が増加したと考え、酸素摂取量の増加に下肢循環動態が関与していると推測した。本章では、局所への温熱刺激が歩行運動中の下肢循環動態に影響するかを検証することを目的として実施した。本章においても、先行研究（第3章）と同じ方法による局所温熱刺激と歩行運動を採用した。

局所温熱刺激に使用したパルス超短波療法は、皮膚や皮下組織の過剰な過熱なしに3～5cm深部の組織を加温することが可能である<sup>42)</sup>と報告されている。パルス超短波照射を行うことで、組織温度を上昇させ、血流増加が引き起こされる<sup>12,13,45)</sup>。また、腹部へのパルス超短波照射が、遠隔部位である上肢および下肢循環動態に影響を及ぼすことも報告されている<sup>43,44)</sup>。歩行運動強度としては、実験前に測定したトレッドミル上での最大歩行速度から算出した80%WSによる20分間の有酸素性運動とした。80%WSは、WN群では6.2 ± 0.2 km/h、WH群では6.1 ± 0.2 km/hであり、先行研究（第2、3章）の結果とほぼ同じ値であることから5～6 METsの運動強度であった<sup>55)</sup>と考えられる。歩行速度から見ても、一般の方の早足程度での持続運動と推測される。

#### 4.4.2. 皮膚表面温度に及ぼす影響

本章では、歩行運動で使用される筋組織を直接的に加温する方法ではなく、遠隔部位である腹部・背部を加温することで下肢の循環動態を間接的に加温する方法を実施した。皮膚表面温度は、末梢循環障がいなどの検査やリハビリテーションにおける温熱刺激の効果判定として利用される。また、生活習慣病の予防や改善のための運動処方を検討するために、異なる環境温度下での皮膚表面温度への影響やエネルギー消費量への影響に関する報告がなされている

2,41,56)。環境温度による皮膚表面温度への影響は、温熱刺激を全身に曝露する方法である。環境温度の調整による方法は、温熱刺激の全身曝露であり、対象者に対してのストレスも大きくなると考えられるため局所への温熱刺激を用いた。また、超短波療法は電磁波エネルギーを使用しており、そのエネルギーは水や血液などの水分に吸収される。吸収された電磁波エネルギーは分子運動を惹起することにより生体を加温する。腹部には循環動態へ影響を与える血管が多いことから、腹部と背部からのパルス超短波療法を用いて循環動態を促進する目的で実施した。

本実験で得られた ST の測定値では、局所温熱刺激による影響は見られなかった。ヒトの体温は、皮膚血流や発汗に伴う蒸発、熱の放射により一定に保たれている<sup>57,58)</sup>。運動を開始すると筋で熱が発生し、その熱は循環される血液により皮膚組織に運搬され、放射、伝導、対流および発汗による蒸発で大気中に放散される<sup>59)</sup>。皮膚表面温度は生体内での恒常性機能の影響や環境（温度、湿度など）の影響を受けやすい。歩行運動中の下肢は運動によって生じた空気の対流により熱の放散が起こったことも、全ての4群において ST 変化が見られなかった要因であると考えられる。

#### 4.4.3. 下肢筋組織内の循環動態

NIRS を使用し、局所温熱刺激の有無が安静時および歩行運動時の下肢の循環動態に及ぼす影響について検証を行った。NIRS は非侵襲的に筋組織内のヘモグロビン濃度変化を測定することにより、筋組織内の循環動態を推定することができる<sup>52-54)</sup>。NIRS を用いて左大腿部と左下腿部から得られた total - Hb の積分値は、C 群と H 群間において局所温熱刺激の有無によって変動パターンに差は認められなかった。本章で用いた局所温熱刺激には、パルス超短波療法を使用した。パルス超短波療法の設定は、ピーク出力は 120W と 100W を越えており高い値であるが、周波数 860Hz のパルス発振であり、平均出力としては 32W と比較的低い値である。ピーク出力は 120W と高い超短波を照射しているが、皮膚表面の過熱が少ない深部加温が行われたと考えられる。烏野ら<sup>12,13)</sup>が使用した連続モードの超短波 80W に比較すると平均出力としては半分以下の出力となる。このため、烏野らの報告にあるような皮膚温度や total - Hb の積分値の上昇が起らなかったと考えられる。したがって、本章で使用した局所温熱刺激のみでは、直接的に下肢の筋組織内の循環動態には影響を及ぼす出力では無かったと考えられる。しかし歩行運動を併用した際に、WN 群に比較して WH 群は、大腿部の T5 (歩行運動後半) および下腿部の T4 - T5 (歩行運動前半, 歩行運動後半) において、有意に total - Hb の積分値が高値を示す結果が得られた。歩行運動においては、大腿部よりも下腿部の下腿三頭筋の働きが大きいと考えられる。このため、大腿部よりも下腿部において循環動態が促進されると考えられるが、この循環動態の反応は、局所温熱刺激によりさらに促進されたと推定される。また、oxy - Hb の積分値においても有意な増加が認められたことから、血液による酸素供給が増加し、運動耐用能が高まっていたと推測される。本章では、安静 30 分後から歩行運動を開始しており、WN 群の大腿部の歩行前半における循環動態は、安静時よりも低下している結果が得られた。これは、座位姿勢から立位姿勢に姿勢を変化させたために、



重力の影響により一時的に大腿部の血液量が低下したものと考えられる。

#### 4.4.4. 局所温熱刺激と歩行運動

一般的に、運動を行うことにより、生体内において組織温度の上昇とともに代謝が促進される<sup>19)</sup>と言われている。生体内で発生したエネルギーの約80%は筋肉で熱に変換され、運動時には体温の上昇とともに皮膚血流が増加し、血液の再配分が起こる<sup>38)</sup>。また、筋収縮による熱産生と循環動態の増加は、筋組織温度の上昇に伴う身体全体の体温上昇を引き起こす<sup>39)</sup>と考えられている。本章では、局所温熱刺激の有無は安静時の下肢の筋組織内の循環動態には影響を及ぼさなかったが、歩行運動時にはその循環動態の応答特性に影響を及ぼすことが認められた。このことは、歩行運動時の筋収縮や循環動態の増加に、局所温熱刺激が効果的に働いたことを示唆している。第3章において、歩行運動に局所温熱刺激を併用することで、酸素摂取量および下腿部の深部組織内温度が増加することを報告した。本章では、酸素摂取量の増加に関連する循環動態の変動を明らかにするため、同様の局所温熱刺激と運動条件における下肢の筋組織内の循環動態についてNIRSを用いて検討を行った。歩行運動と局所温熱刺激の併用は、下肢筋組織内の循環動態の応答特性に影響を与え、その結果として酸素摂取量の増加に反映した1つの要因であることが、本章により示唆された。

生活習慣病の予防や改善のために、運動によるエネルギー消費量の増大や、体重・体脂肪率の減少は重要な役割を担っている。米国スポーツ医学会では、呼吸循環機能を向上させる運動処方として、最大酸素摂取量の50～85%強度、20分間の有酸素性運動を週に3回、数ヶ月継続することを推奨している<sup>47)</sup>。しかし、慢性的な運動不足や、低体力者、有疾患者などを対象とした場合、筋組織での代謝能力が低下している可能性が考えられるため、運動を実施する際には温熱刺激の併用をするなどの方法で、運動効果や運動効率を向上さ

せることは重要である。また、温熱刺激により組織の循環動態を促進することは、筋組織における酸素消費の効率化にも繋がり、筋損傷の予防にも役立つものと考えられる。健常人に限らず、低体力者や運動習慣を有さない者においても有酸素性運動と温熱刺激の併用は運動効果や運動リスクの低減に役立つものであると考えられる。

#### 4.5. 本研究の限界と課題

本章では、健常成人男性を対象として、最大歩行速度の80%速度における歩行運動と、パルス超短波療法による局所温熱刺激を併用して実験を実施した。本章により得られた結果は、対象の性や健康状態を限局したものであるため、低体力者や有疾患者への効果については、直接的な適応はできないものである。今後は異なる身体的特徴をもった者や中高年層および低体力者を対象としたため、さらなる検討が必要である。また、局所温熱刺激に使用したパルス超短波療法は特殊な機器を使用しているため、一般に普及しやすい温熱刺激による検討も同時に進めることが必要である。

#### 4.6. 結語

有酸素性歩行運動と温熱刺激の併用が下肢循環動態に与える影響を明らかにするため、近赤外線分光法を用いて下肢循環動態を観察した。その結果、歩行運動未実施群であるC群とH群においては有意な変化は認められなかった。しかし、歩行運動実施群であるWN群とWH群の比較において、温熱刺激を併用したWH群は下肢循環動態が有意に増加することが明らかとなった。本章の実験結果から、有酸素性歩行運動と温熱刺激の併用は、歩行運動中の下肢循環動態を促進する効果があることが示唆された。

---

二瓶美智子， 烏野大， 藤原孝之， 阿部康次。

下肢の筋組織内循環動態における有酸素性歩行運動と温熱刺激の併用効果。日本物理療法学会誌。Vol. 19（2012年6月発行 印刷中）

## 結 語

本論文では，生活習慣病の予防や改善を目的とした運動指導において，効果と安全性を高めるための手段として，温熱刺激との併用効果を明らかにするために，運動と温熱刺激の併用時における酸素摂取量，下肢深部組織温度や筋組織内循環動態の変化について観察し，その関係について述べてきた。

異なる歩行速度における酸素摂取量と下肢筋群の深部組織温度の違いの検討では，歩行速度の増加に伴い，歩行運動中の酸素摂取量と下肢筋群の深部組織温度が増加することが明らかとなった。運動強度と酸素摂取量の関係については明らかであるが，下肢筋群の深部組織温度との関係については報告が見られない。この結果より，下肢筋群の深部組織温度の変化は筋活動に反映していることが示唆された。

更に，温熱刺激併用の有無と，同一運動条件下での歩行運動中の酸素摂取量と下肢筋群の深部組織温度との関係について検討した結果，温熱刺激併用時における歩行運動中の酸素摂取量と下肢筋群の深部組織温度の増加が明らかとなった。この結果より，温熱刺激の併用が代謝効率の促進に繋がったと推測された。

また，温熱刺激併用の有無が，歩行運動中の下肢の筋組織内循環動態に及ぼす影響についての検討結果も含めると，歩行運動に温熱刺激を併用することは，下肢の筋組織内の循環動態や体温調節機能を促進し，その結果として，歩行運動中の下肢筋群の深部組織温度や酸素摂取量の増加に繋がったことが明らかとなった。温熱刺激により組織の循環動態を促進することは，筋組織における酸素消費の効率化にも繋がり，筋損傷の予防にも役立つと考えられることから，健常人に限らず，低体力者や運動習慣を有さない者においても運動効果や運動リスクの低減に役立つものと考えられた。

以上，全ての検討結果から，歩行運動と温熱刺激の併用効果について，酸素摂取量や下肢筋群の深部組織温度，下肢の筋組織内循環動態に及ぼす影響を検証し，いくつかの知見が得られた。これらの結果は，これまで運動療法での運動指導の中では用いることの無か

った指導方法であるため、生活習慣病の予防や改善、健康維持や増進を目的とした運動指導のための一助になると考えられる。

しかし、本論文で述べた結果は、健常成人男性のみを対象として行ったものであり、性別や運動能力、健康状態などが限局されていることから、有疾患者や中高年者、低体力者や運動習慣を有さない者への効果は、直接的に適応できないものと考えられる。今後においては、運動療法に温熱刺激の併用を積極的に取り入れていくためには、運動種目の選定や運動強度の設定方法についても更なる検証が必要であると考えられる。

また、本論文では、パルス超短波療法を用いた局所への温熱刺激を併用して行った結果を報告したが、この方法は特殊な機器を使用しているため、今後は一般にも普及しやすい温熱刺激による検討も進めていく必要があると考える。

今回、工学的な見地からも運動療法における身体反応の検討が可能となったことから、今後も更に多くの工学的手法を積極的に取り入れ、解明しなければならぬ生体反応と機序を少しでも解明し、この分野における発展に微力ながらも寄与していきたいと考える。

## 参考文献

- 1) Shizukiyo Ishikawa, Kazunori Kayaba, Tadao Gotoh, Yosikazu Nakamura, Eiji Kajii. : Metabolic Syndrome and C-Reactive Protein in the General Population -JMS Cohort Study-. Circ J 71 : 26-23 , 2007 .
- 2) Masahiko TOZAWA, Chiho ISEKI, Kaori TOKASHIKI, Saori CHINEN, Kentaro KOHAGURA, Kozen KINJO, Shuichi TAKISHITA, and Kunitoshi ISEKI : Metabolic Syndrom and Risk of Developing Chronic Kidney Disease in Japanese Adults . Hypertens Res 30(10) : 937-943, 2007 .
- 3) 大森 肇：運動生理学20講 第2版 勝田茂 編 16章 運動と生活習慣病：朝倉書店（東京）115-120，2007 .
- 4) 山本哲史，山崎元：運動処方 of 最近の考え方．慶應義塾大学スポーツ医学研究センター紀要：33-39，1999 .
- 5) 山之内国男：運動処方としての運動強度と歩行の有効性．プラクティス 18(2) . 126-128, 2001 .
- 6) 山之内国男：各論 運動療法指導の実際－運動処方の指導方法とその留意点－．臨床スポーツ医学22(2)：141-145，2005 .
- 7) 大重匡：43℃の前腕浴と43℃の下腿浴の身体反応について．理学療法31：238，2004 .
- 8) 竹内晃：全身ハイパーサーミアの治療と展開．日本ハイパーサーミア学会誌 21(1)：58-59，2005 .
- 9) バレンチナ・オスタペンコ：局所温熱で免疫増強効果も．環境と健康 16(2)：50-51，2003 .
- 10) 河野奈美：温熱効果を伴った下肢運動器による浮腫軽減の試み．理学療法学32：410，2005 .
- 11) 美和千尋，河原ゆう子，岩瀬敏，渡邊順子：全身入浴，半身浴，シャワー浴がエネルギー消費量に及ぼす影響．自律神経41(5)：495-501，2004 .
- 12) 烏野大，諸角一記，遠藤敏裕，黒岩千晴，千賀富士敏，藤原孝之，山本巖：超短波照射による照射側と非照射側の筋組織内の

- 循環動態の変化．理学療法22(8)：1133-1140，2005．
- 13) 烏野大，諸角一記，二瓶美智子，遠藤敏裕，千賀富士敏，藤原孝之，山本巖：超短波照射出力の違いによる筋組織内の循環動態の変化．物理療法学会誌第13号：24-28，2006．
  - 14) Young, CM., Ringler, I., and Greer, BJ. : Reducing and post-reducing maintenance on the moderate fat diet. *J Am. Dietet. A.*, 29: 890-896, 1953 .
  - 15) Keys, A. and Brozek, J. : Body fat in adult man. *Physiol. Jul* 33 : 245-325, 1953 .
  - 16) Sigal RJ, Kenny GP, Wasserman DH, et al. : Physical activity/exercise and Type2 diabetes. *Diabetes Care* 29(6) : 1433-1437, 2004 .
  - 17) Nicklas BJ, Rogus EM, Goldberq AP. : Exercise blunts declines in lipolysis and fat oxidation after dietary-induced weight loss in obese older women . *Am J Physiol* 273 : E149-55, 1997 .
  - 18) 森谷敏夫：生態エネルギー消費系と調節機構運動によるエネルギー代謝の変化．*日本臨牀*61(6)：277-280，2003．
  - 19) 入來正躬：体温生理学テキスト第1版，第2編 熱出納，II章 熱産生．文光堂（東京）：35-44，2003．
  - 20) 宮村実晴：最新運動生理学—身体パフォーマンスの科学的基礎—．真興交易（株）医書出版部：249-250，1997．
  - 21) 田中正敏，中村和利，高橋弘彦：トレッドミル運動時の各種気温条件下における体温，産熱量の変化．*Clinical Thermometry* 14 (1) : 48-55，1994．
  - 22) Fujishima K, Shimizu T : Body temperature, oxygen uptake and heart rate during walking in water and on land at an exercise intensity based on RPE in elderly men . *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 22(2) : 83-88, 2002 .
  - 23) Browning RC, Kram R : Energetic Cost and Preferred Speed of Walking in Obese vs. Normal Weight Women . *Obes Res* 13(5) : 891-899, 2005 .
  - 24) Sanada K, Kuchiki T, Miyachi M, et al. : Effects of age on ventilatory

- threshold and peak oxygen uptake normalised for regional skeletal muscle mass in Japanese men and women aged 20-80 years . *Eur J Appl Physiol* 99(5) : 475-483, 2007 .
- 25) 猪飼哲夫, 辰濃尚, 宮野佐年 : 歩行能力とバランス機能の関係 . *Jpn Rehabil Med*43(12) : 828-833, 2006 .
- 26) 久保晃, 丸山仁司, 松本徹 : 酸素摂取量から分析した松葉杖歩行と歩行器歩行に関する分析 . *理学療法学* 15(1) : 13-16 , 2000 .
- 27) 田中 淑子, 丸山 仁司, 西田 裕介 : 運動様態からみたエネルギー代謝の違い—歩行・ニューエクササイズウォーキング・ジョギングの比較—. *理学療法科学* 17(2) : 83-86 , 2001 .
- 28) Bohannon RW : Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20-79 years: reference values and determinants . *Age Ageing* 26(1) ; 15-19 , 1997 .
- 29) Steffen TM , Hacker TA, Mollinger L : Age- and gender-related test performance in community-dwelling elderly people : Six-Minute Walk Test, Berg Balance Scale , Timed Up & Go Test, and gait speeds . *Phys ther* 82(2) : 128-137, 2002 .
- 30) 牧迫 飛雄馬, 阿部 勉, 藤井 伸一, 住谷 久美子, 吉松 竜貴, 徳原 理恵, 小林 修二, 久保 晃 : 在宅での歩行評価指標の検討—1.5m歩行による歩行能力評価の可能性について—. *理学療法科学* 20(3) : 203-206, 2005 .
- 31) 中村隆一, 斎藤 宏, 長崎 浩 : 基礎運動学 第6版 . 医歯薬出版 (東京) : 361-419, 2006 .
- 32) Nicole A , Lynch , Barbara J , Nicklas : Reduction in visceral fat during weight loss and walking are associated with improvements in Vo2max . *J Appl Physiol* 90 : 99-104 , 2001 .
- 33) 浜田拓, 林達也, 森谷敏夫 : 筋電気刺激 (EMS) を利用した生活習慣病改善の可能性 . *BME* 16(11) : 35-41 , 2002 .
- 34) Sang-Kab Park , Jae-Hyun Park : The effect of combined aerobic and



- resistance exercise training on abdominal fat in obese middle-aged women . *Physiological Anthropology and Applied Human Science* : 129-135, 2003 .
- 35) 川中健太郎 : 身体トレーニングによる骨格筋 GLUT4 発現の機序 . *体力科学* 54 : 25-29 , 2005 .
- 36) 北川薫 : 歩行とエネルギー消費量 - 歩く習慣がつくと体脂肪が減る . *臨床スポーツ医学* 15(9) : 985-989, 1998 .
- 37) McCarty MF : Hepatothermic therapy of obesity: rationale and an inventory of resources , *Med Hypotheses* , Sep 57(3) : 324-336, 2001 .
- 38) 近藤徳彦, 西保岳 : 運動と体温調節 体温上昇と運動パフォーマンス . *体育の科学* 54(10) : 781-787, 2004 .
- 39) 彼末一之・他 : 運動と体温調節 体温調節のメカニズム, *体育の科学* 54(10) : 764-767, 2004 .
- 40) 蟹江良一 : 変形性股関節症へのサーモグラフィの応用 . *J. Joint Surgery*.10 : 1071-1081, 1991 .
- 41) 雪吹誠, 森昭雄, 小林悟, 岩館雅子, 重城哲, 瀬田良之 : サーモグラフィを用いた高齢者の歩行における下腿筋領域の皮膚温の変化 . *BIOMEDICAL THERMOLOGY* 20(3) ; 76-83 , 2000 .
- 42) Cole AJ, Eagleston RA : The benefit of deep heat. Ultrasound and electromagnetic diathermy . *Physician Sports med* 22(2) : 76-88 , 1994 .
- 43) Abramson DI, TUCK S Jr, CHU LS , et al. : Indirect vasodilation in thermotherapy. *Arch Phys Med Rehabil* 46 : 412-420, 1965 .
- 44) Wessman HC, Kottke FJ : The effect of indirect heating on peripheral blood flow, pulse rate, blood pressure and temperature . *Arch Phys Med Rehabil* 48 : 567-576, 1967 .
- 45) Scott S : Diathermy . In : *Electrotherapy. Evidence-Based Practice* . 11th ed., Kitchen S ed., 145-165 . Churchill Livingstone , 2002 .
- 46) 藤原孝之, 早川大吾 : 身体に対する環境の影響—気流の変化を

## 論文リスト

1. Michiko Nihei, Hiroshi Karasuno, Takayuki Fujiwara and Koji Abe .  
The relationship between the temperature of deep tissue and oxygen consumption, during walking at two speeds .  
Journal of Applied Bio-metrology . (1) ; 7-12 . 2010 .
2. 二瓶美智子, 烏野大, 藤原孝之, 阿部康次 .  
エネルギー消費量における有酸素性運動と温熱療法の併用効果 . 日本物理療法学会誌 . Vol.16 ; 23-27 . 2009 .
3. 二瓶美智子, 烏野大, 藤原孝之, 阿部康次 .  
下肢の筋組織内循環動態における有酸素性歩行運動と温熱刺激の併用効果 .  
日本物理療法学会誌 . Vol.19 (2012年6月発行 印刷中)

- 中心に一. 環境科学年報—信州大学—第11巻 : 98-104 , 1989 .
- 47) American college of sports Medicin : The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults . Med Sci Sports Exerc 22 : 265-274 , 1990 .
- 48) 加藤順一, 来栖昌朗, 宮地条治, 逢坂悟郎 : 肥満患者における運動および全身温熱(サウナ)負荷テストの生理学的影響について. 理学療法科学11(2) : 71-74 , 1996 .
- 49) 二瓶美智子, 烏野大, 藤原孝之, 阿部康次 : エネルギー消費量における有酸素性運動と温熱療法の併用効果. 日本物理療法学会誌 : 23-27 , 2009 .
- 50) Binzori T , Quaresima V , Ferrari M et al : Human calf microvascular compliance measured by near-infrared spectroscopy . J Appl physiol 88(2) : 369-372 , 2000 .
- 51) Ferrari M , Binzoni T , Quaresima V : Oxidative metabolism in muscle. Phil Trans R Soc Lond B Biol Sci 352 : 677-683 , 1997 .
- 52) McCully KK : Near infrared spectroscopy in the evaluation of skeletal muscle disease . Muscle Nerve 25(5) : 629-631 , 2002 .
- 53) Quaresima V , Lepanto R , Ferrari M : The use of near infrared spectroscopy in sports medicine . J Sports Med Phys Fitness 43(1) : 1-13 , 2003 .
- 54) Quaresima V , Homma S , Azuma K et al : Calf and shin muscle oxygenation patterns and femoral artery blood flow during dynamic planter flexion exercise in humans . Eur J Appl Physiol 84(5) : 387-394 , 2001 .
- 55) 横沢百合子, 宮下文江 : 心筋梗塞急性期患者の早期離床と日常生活動作の指導. 看護技術50(2) : 43 , 2004 .
- 56) Kazutaka Fujishima and Tomihiro Shimizu : Body temperature, Oxygen Uptake and Heart Rate during Walking in Water and on Land at an Exercise Intensity Based on RPE in Elderly Men . Physiological

- Anthropology (2) : 83-88 , 2003 .
- 57) Gonzalez-Alonso J , et al : Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged on the heat . J Appl Physiol 86 : 1032-1039 , 1999 .
- 58) EXERCISE PHYSIOLOGY : WILLIAMS&WILKINS – Exercise and Thermal Stress : 501-506 , 1995 .
- 59) Van Beekvelt MC , Borghuis MS , van Engelen BG et al : Adipose tissue thickness affects in vivo quantitative near-IR spectroscopy in human skeletal muscle . Clin Sci (Lond) 101(1) : 21-28 , 2001 .



## 謝辞

本稿を纏めるにあたり，終始暖かい激励とご指導，ご鞭撻を賜りました信州大学 繊維学部 化学・材料系 阿部康次教授，藤本哲也准教授，小駒喜郎准教授，信州大学 繊維学部 山本巖特任教授に深く感謝申し上げます。

信州大学大学院入学後，研究を進めるにあたり，多大なるご配慮とご援助を頂きました特定非営利活動法人 健康科学研究開発センター理事長ならびに郡山健康科学専門学校学校長 藤原孝之先生をはじめ，諸先輩の方々，またご協力いただいたスタッフの皆様にご心より御礼申し上げます。

また，物理療法機器を用いた研究を進めるにあたり，実験期間中において器材を快くご提供下さいました伊藤超短波株式会社様に心より感謝申し上げます。

2011.3.11 に発生した東日本大震災の復旧・復興の中，本研究を進めるにあたり，多くの皆様からの温かいご支援と激励を頂戴しましたこと，心より感謝申し上げます。

最後に，研究生活に理解と協力を惜しまずに支えてくれた夫 烏野大，幼いながらも笑顔で見守ってくれた長女 一華，陰ながら応援してくれた父 陽一，母 富士子，妹 絵美里，義父 烏野三千範様，義母 烏野弘子様にご深く感謝すると共にここに報告致します。

2012年3月