

## クロスカントリー選手のトレーニング期前後に おける 12 時間安静時代謝量の比較

山田 亜紀子 藤井 久雄

キーワード：安静時代謝量，トレーニング，ヒューマンカロリメーター

A study on twelve hours resting metabolic rate of cross-country skier: Comparison between pre-training and post-training

Akiko Yamada Hisao Fujii

### Abstract

According to the conventional study that effect of training on resting metabolic rate(RMR) was difference. This study was measurement RMR that used human calorimeter in comparison between pre-training and post-training on in the three cross-country skire. This results was not change the weight, fat mass and lean body mass(LBM) after training. But significantly change maximum oxygen intake( $56.2 \pm 2.5$  ml/kg/min vs.  $61.7 \pm 1.2$  ml/kg/min,  $p < 0.05$ ). Although, RMR showed a significant change at the sleeping. The difference between pre-training and post-training was  $3.9 \pm 2.1\%$  ( $p < 0.05$ ). It is supposed that RMR increased endurance-training.

Key words: resting metabolic rate, training, human calorimeter

### I. 緒言

#### 1. 安静時代謝量

1日の総エネルギー消費量 (total energy expenditure: TEE) は安静時代謝量 (resting metabolic rate: RMR) 60-75%, 活動に費やすエネルギー量 (thermic effect of activity: TEA) 15-30%, 食事による産熱効果 (thermic effect of food: TEF) 10% であらわされると Poehlman は述べている. RMR のうち「食後約 12 時間以上経過後の覚醒時に, 安静仰臥位で, 快適な室内環境のもと測定したエネルギー消費量」が基礎代謝量 (basal metabolic rate: BMR) であり, 生命維持に最低限必要なエネルギー代謝とされている. 日本人の食事摂取基準において BMR は睡眠時代謝量と同等と考えられて

おり, 本研究における RMR は睡眠時および BMR を含む安静時における代謝量とする.

RMR は体格や身体組成など内的要因と環境等による外的要因により決定される. Fukagawa ら (1990) は除脂肪体重 (lean body mass: LBM) が RMR の重要な因子であると報告している. LBM は体重から体脂肪量を除いた残りの重量であり活発なエネルギー代謝の場である. また Cunningham (1991) の体組成を LBM と体脂肪量に分けて測定し RMR との関係について検討した報告によると, 成人の RMR との関係が最も高い変数は LBM であり RMR の変動は 65-90% が LBM で説明されると述べている. このことから LBM が RMR の重要な因子であるといえる. また山村ら (2002) は早朝空腹時 RMR

(BMRを含む)の変動要因の47.7%が体重で説明され、次いで年齢、性別、外気温、身長、BMI(body mass index)および室温により全変動の77.9%が説明されると述べている。このことからRMRの測定には身体組成、さらに測定室の室温や外気温などの測定条件も考慮に入れる必要がある。

## 2. エネルギー代謝量の測定

エネルギー代謝量の測定には直接熱量測定法(direct calorimetry)と間接熱量測定法(indirect calorimetry)がある。直接熱量測定法はヒトのからだから放熱される熱を水や空気に吸着させて熱産生量を直接測定する方法であり、間接熱量測定法は呼気ガス中の酸素、二酸化炭素の変化量あるいは窒素排泄量を計測し、これらの値からエネルギー代謝量を計算する方法である。間接熱量測定法はさらに閉鎖回路系と開放回路系に分けられる。閉鎖回路系は閉じた回路内の酸素を再呼吸させ酸素減量を測定する方法であり、開放回路系は外気を吸入させ呼吸を採取し呼気中の成分と量を測定することで酸素摂取量、二酸化炭素排泄量を算出するものである。この測定原理に基づきエネルギー代謝を推定する方法がもっとも一般的である。開放回路系にはダグラスバッグ法やプレス-バイ-プレス法があり、間接熱量測定法によるヒューマンカロリメーターもこの開放回路系である。ダグラスバッグ法やプレス-バイ-プレス法はマスクやマウスピースを装着するため個々の活動について正確に測定することはできるが、装着により活動が制限されてしまう欠点を有する。一方、ヒューマンカロリメーターはホテルのシングルルームほどの部屋に被験者が滞在している間、室内の酸素濃度や二酸化炭素濃度から酸素摂取量と二酸化炭素排泄量を経時的に算出できる利点を有する。また、室内に限定されるが日常に近い状態で長時間のTEEが測定でき、マスクを装着しては難しい睡眠中や食事による産熱効果を測定できることも利点である。

## 3. ヒューマンカロリメーター

仙台大学・第3体育館1階に設置されたヒューマンカロリメーター(FCH-15S, 富士医科産業)は「チャンバシステム」、「高精度分析システム」および「エネルギー代謝システム」からなる。測定室は容積約18 m<sup>3</sup>ほどの広さがあり密閉である。室内環境は温度15-35℃、湿度50-70%、および流量50-150L/minの範囲で調節可能でコンピューター制御されている。測定室内にはベッド、トイレ、机、椅子、テレビ、DVDなど日常生活に必要なものが設置され、閉塞感を感じないよう窓が大きくとられている。分析システムは空気の入出を調節する管やポンプ、質量分析計(VG Prima δ B, Thermo社)、流量計、温度計、湿度計、気圧計等の分析装置からなる。空気は外から毎分70L取り入れられ、同量排出される。

取り入れられた空気は室内で十分に攪拌され給気口に吸引される。吸引されたガスの一部がサンプリングされ質量分析計にてO<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>濃度が計測される。

ヒューマンカロリメーターの性能を最大限生かすためには精度確認は不可欠である。化学組成が既知である物質(アルコール等)を測定室内で燃焼させることにより測定したエネルギー消費量の確度と精度を確認することができる(二見ら, 2003)。アルコールが完全燃焼する際に3モルのO<sub>2</sub>が必要であり2モルのCO<sub>2</sub>を発生するという燃焼反応式図1より、酸素消費量と二酸化炭素産生量を算出し理論値とする。実測値は連続測定されたアルコール燃焼試験中の測定室内ガス濃度より算出する。計測されたO<sub>2</sub>濃度、CO<sub>2</sub>濃度、ガス排泄量などからBrownら(1984)の方法を用い酸素消費量と二酸化炭素産生量を算出する。実測値/理論値(回収率)を検討することにより精度が確認できる。

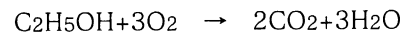


図1 燃焼反応式

## 4. 運動トレーニングとエネルギー代謝

トレーニングには持久性を高めるトレーニングと筋力を高めるトレーニング(レジスタンストレーニング)がある。持久性トレーニングは運動強度としては高くない全身運動を続けることにより有酸素的なエネルギー発生能と呼吸循環器機能の改善が見られる。その指標として最大酸素摂取量が用いられる。また、持久性トレーニングの効果としてLBMが維持されるかわずかながら増加しながら、体脂肪の減少により体重を減少させることが挙げられる。Poehlmanら(1992)は持久性トレーニングによりLBM当たりのエネルギー代謝を向上させる可能性があるという興味深い報告をした。この一因としては持久性トレーニングにより、運動の主組織である筋肉細胞内のエネルギー代謝能の亢進が考えられる。しかし、Wilmoreら(1998)により持久性トレーニングによるRMRの向上は一過性のものであり、トレーニング後24時間で消失してしまうことの指摘も報告された。

一方、レジスタンストレーニングの大きな効果としてはLBM(主に筋肉)を高めることが挙げられ、体脂肪に及ぼす影響は少ないながら、エネルギーを消費させる場を増大させることにより体重管理に効果があるといわれている。レジスタンストレーニングによるRMRへの影響についてはLemmerら(2001)の報告によると男性については増大が見られるが女性では見られないことから性差が見られるとされる。レジスタンストレーニングによるRMRの増大はLBMの増大によるものかどうかについては明らかにされていない。このように、運動トレーニングがTEEやRMRに及ぼす影響については十分な知

見が得られていないのが現状である。

## 5. 本研究の目的

運動トレーニング自体によるエネルギー消費量がTEEに占める割合はそれほど大きくない。しかしながらRMRが1日のTEE中、最も大きな割合を占めることを考え合わせると、持久性トレーニングやレジスタンストレーニングにかかわらずトレーニングによりRMRが影響を受ける可能性がある。そこで本研究では、ヒューマンカロリメーターを用いて、トレーニングを日常的に行っている男子学生を対象に安静の時間帯である夜間から朝にかけての代謝量を検討することを目的とした。

本研究では次の3つの実験によりを検討した。

- 実験1 ヒューマンカロリメーターの精度試験
- 実験2 安静時代謝量の再現性に関する検討
- 実験3 安静時代謝量に及ぼすトレーニング効果

## II. 研究方法

### 実験1 ヒューマンカロリメーターの精度試験

#### 1) 実験手順および環境条件

無人状態で運転されるヒューマンカロリメーターの測定室内でアルコール(エタノール99.5%, キンダ化学)を満たしたアルコールランプを燃焼させた。測定室内は温度25℃, 湿度50%, 排気流量70Lとした。燃焼時間前後でアルコールランプの重量を精密天秤(BJ600-10, サルトリス社)で計測し燃焼したアルコール重量を求め、化学反応式から燃焼熱量を求め理論値とした。一方、実測値はアルコール燃焼中の測定室内のガス濃度より酸素摂取量, 二酸化炭素産生量を算出した。これらの値からWeir(1949)の式によりエネルギー消費量(energy expenditure: EE)を求め実測値とした。実測値/理論値を求め検討した。

$$EE(kcal/min) = 3.9 \cdot Vo_2(L/min) + 1.1 \cdot Vco_2(L/min)$$

図2 WeirによるEE算出式

#### 2) 統計処理

統計処理は統計解析ソフトウェアSPSS ver.13.0 for Windowsを用いた。相関関係は回帰分析をおこないPearsonの相関係数を求めた。有意水準は5%とした。

### 実験2 安静時代謝量の再現性に関する検討

#### 1) 被験者

被験者はインフォームド・コンセントにより実験に関して同意を得られたS大学競技スキー部クロスカントリースキー選手男子5名とした。身体的特徴を表1に示した。

表1 被験者の身体的特徴(n=5)

		平均値 ± 標準偏差
年齢	(age)	19.4 ± 1.1
身長	(cm)	173.4 ± 5.6
体重	(kg)	66.7 ± 5.4
BMI†	(kg/m <sup>2</sup> )	22.2 ± 1.5
体脂肪率	(%)	13.0 ± 5.0
体脂肪量	(kg)	8.7 ± 3.4
LBM††	(kg)	58.0 ± 5.9

† Body Mass Index.

†† Lean Body Mass.

#### 2) 実験手順および環境条件

測定は2005年5月から6月にかけて実施した。各被験者にはヒューマンカロリメーターによる測定を最低1週間あけて2回行い酸素摂取量を比較した。入室時に1日の生活調査と食事記録を記入し、2回目に入室するときは同じ内容で過ごすよう指示した。

安静時エネルギー代謝の測定はヒューマンカロリメーターにて測定した。測定室内は温度25℃, 湿度50%, 排気流量70Lとした。被験者は18時に来所し夕食(規定食)をとった後、安静を保ち19時にヒューマンカロリメーターに入室、翌朝7時30分に退室するまで約12時間連続で滞在した。入室中の生活を表2に示した。入室中は食事を禁止し水分の補給のみ許可し、安静を保つよう指示した。

なお、安静時エネルギー代謝測定前の夕食は規定食とし、ご飯は個人の希望に応じて増減した。1食当たりの栄養成分はエネルギー586kcal, たんぱく質22.1g, 脂質12.0g, 炭水化物97.4gであった。

表2 ヒューマンカロリメーター内での活動

時間	活動
19:00	入室
19:00-22:50	座位安静(テレビ, 読書, DVC)
22:50-23:00	就寝準備, トイレ
23:00-6:00	就寝
6:00-6:10	起床, トイレ
6:10-7:30	仰臥位安静
7:30	退室

#### 3) 測定法

測定項目は体重, 体脂肪率, 酸素摂取量, 二酸化炭素産生量とした。体重は測定室入室前後に精密体重計(AD-6205, エー・アンド・デイ社)により0.2kg単位で計測し平均値とした。体脂肪率は入室前に高精度体成分分析装置(Body Composition Analyzer In Body 3.2: バイオスペース社)にて測定した。なお、体重および体脂肪率測定時はアンダーウェアのみ着用にて測定するよう指示した。

入室中の代謝量は入室から質量分析計において連続測定した測定室内の酸素濃度、二酸化炭素濃度、窒素濃度、排気量、温度、湿度および気圧から1分間当たりの酸素摂取量と二酸化炭素産生量を算出した。

#### 4) 統計処理

統計処理は実験1に準じた。

### 実験3 安静時代謝量に及ぼすトレーニング効果

#### 1) 被験者

被験者は実験2に参加したS大学競技スキー部クロスカントリースキー選手男子5名のうち全トレーニング期間中怪我等でリタイアしなかった3名とした。

#### 2) トレーニング

トレーニング内容は週の2日間は持久性トレーニング、2日間は持久性トレーニングとレジスタンストレーニングを組み合わせた内容で行った。トレーニング内容はスキー部のトレーニングメニューに準じて個人に任せた。

#### 3) 実験手順および環境条件

トレーニング期前5月、中7月、後11月とし計3回安静時エネルギー代謝量測定を行った。

#### 4) 最大酸素摂取量の測定

最大酸素摂取量はトレッドミルを用い漸増負荷法によってトレーニング期前後に測定した。呼気ガスは呼気ガス分析器(AE-300s, ミナト医科学社)にて測定した。

#### 5) 測定項目

3回のヒューマンカロリメーターによる安静時エネルギー代謝量測定および身体計測時の測定項目は実験2に準じた。

#### 6) 安静時エネルギー代謝量の区分

安静時エネルギー代謝量は入室から退室まで連続測定した代謝量をトータル代謝量とし、身体活動別代謝量は20時30分から22時30分を座位安静時、0時から5時を睡眠時、6時30分から7時を早期安静時とした。

#### 7) 統計処理

測定値は平均±標準偏差で示した。測定項目間の関係はピアソンの単相関係数により検討した。トレーニング期間の平均値の比較には反復測定による一元配置の分散分析を用い、有意差が認められた場合、Dunnettのt検定を適用した。統計処理は統計解析ソフトウェアSPSS ver.13.0 for Windowsを用いた。有意水準はいずれの場合も5%とした。

### Ⅲ. 結果

#### 実験1 ヒューマンカロリメーターの精度試験

図3はアルコール燃焼試験の結果である。燃焼時間は平均2時間28±36分であった。実測値は理論値に対し96.3±2.7%であった。実測値と理論値の間には有意な正の相関関係( $r = 0.998, p < 0.01$ )が認められた。

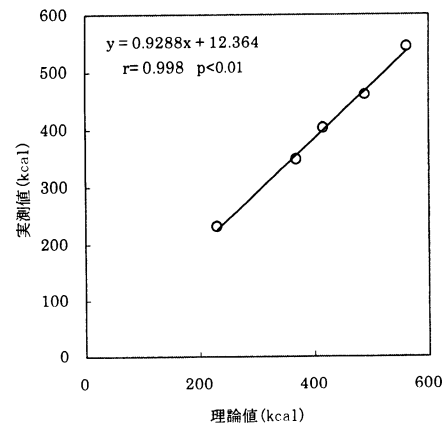


図3 アルコール燃焼実験における理論値と実測値の関係

#### 実験2 安静時代謝量の再現性に関する検討

図4は2回の測定時における平均酸素摂取量の結果である。1週間をあけてくり返し測定した平均酸素摂取量は1回目224.0±17.4ml/min、2回目219.7±15.9ml/minで変化率は-1.9%であった。1回目と2回目の平均酸素摂取量の相関は $r = 0.996, p < 0.01$ と有意な正の相関関係が認められた。

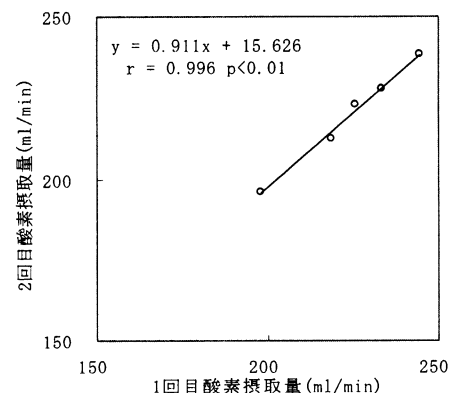


図4 1回目と2回目の平均酸素摂取量

#### 実験3 安静時代謝量に及ぼすトレーニング効果

表3はトレーニング期前・中・後による身体組成の変化である。体重は平均でトレーニング期前5月64.4±5.9kgからトレーニング期後11月63.4±5.9kgへと減少傾向にあったが有意差が認められなかった。体脂肪率も5月の13.9±6.9%から11月の12.6±5.3%、体脂肪量は5月9.0±4.8kgから11月8.0±3.7kgへと減少傾向にあったがいずれも有意な減少ではなかった。BMI, LBMは不変であった。最大酸素摂取量は5月の56.2±2.5ml/kg/minから11月の61.7±1.2ml/kg/minへと有意に増加した( $p < 0.05$ )。

表3 持久性トレーニング期前・中・後における体組成と有酸素能力の変化 (n=3)

		5月	7月	11月
体重	(kg)	64.4 ± 5.9	62.6 ± 5.5	63.4 ± 5.9
BMI	(kg/m <sup>2</sup> )	21.6 ± 1.7	21.0 ± 1.8	21.3 ± 1.5
体脂肪率	(%)	13.9 ± 6.9	10.8 ± 6.2*	12.6 ± 5.3
体脂肪量	(kg)	9.0 ± 4.8	6.9 ± 4.4	8.0 ± 3.7
LBM	(kg)	55.4 ± 7.2	55.7 ± 5.0	55.4 ± 6.1
最大酸素摂取量	(ml/kg/min)	56.2 ± 2.5	測定なし	61.7 ± 1.2*

平均値±標準偏差 \*5月に対して有意差ありp<0.05

表4および図5に体重当たりの平均酸素摂取量を示した。トータル代謝量はトレーニング前3.4 ± 0.2ml/kg/min, トレーニング中3.5 ± 0.2ml/kg/min, トレーニング後3.6 ± 0.2 ml/kg/minであり有意差は無いものの、上昇傾向が見られた。身体活動別では座位安静時において変化は見られず、睡眠時においてトレーニング前2.8 ± 0.2 ml/kg/min, トレーニング中2.9 ± 0.2ml/kg/min, トレーニング後3.0 ± 0.2ml/kg/minと、トレーニング前に比べてトレーニング後で高い値を示した(p<0.05)。早朝安静時における酸素摂取量はトレーニング前2.8 ± 0.2ml/kg/min, トレーニング中3.1 ± 0.1 ml/kg/min, トレーニング後3.4 ± 0.4ml/kg/minと高い傾向を示したが有意な変化ではなかった。

表4 体重当たりの平均酸素摂取量の変化 (n=3)

	酸素摂取量			変化率 <sup>†</sup>	
	5月 (ml/kg/min)	7月 (ml/kg/min)	11月 (ml/kg/min)	5月-7月 (%)	5月-11月 (%)
トータル	3.4 ± 0.2	3.5 ± 0.2	3.6 ± 0.2	0.9 ± 2.5	3.6 ± 0.5
座位	4.7 ± 0.6	4.6 ± 0.2	4.7 ± 0.4	-0.2 ± 8.9	0.6 ± 5.0
睡眠	2.8 ± 0.2	2.9 ± 0.2	3.0 ± 0.2 <sup>*</sup>	1.2 ± 2.6	5.6 ± 1.6
早朝	2.8 ± 0.2	3.1 ± 0.1	3.4 ± 0.4	13.1 ± 9.1	21.6 ± 11.5

平均値±標準偏差 <sup>†</sup>5月を基準とした変化率 \*p<0.05

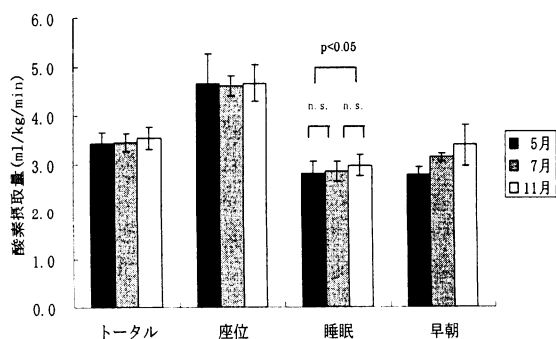


図5 体重当たりの酸素摂取量の変化

表5および図6に除脂肪体重当たりの酸素摂取量の変化を示した。除脂肪量当たりの酸素摂取量は体重当たりの酸素摂取量と同様、トータル平均酸素摂取量はトレーニング前4.0 ± 0.1ml/kg/min, トレーニング中3.9 ± 0.1ml/kg/min, トレーニング後4.1 ± 0.0ml/kg/minとトレーニング前に比べ高い傾向を示したが有意差は見られなかった。身体活動別に見ると、座位安静時においては減少傾向が見られるものの有意差は無く、睡眠時においてはトレーニング前3.3 ± 0.1ml/kg/min, トレーニング中3.2 ± 0.1ml/kg/min, トレーニング後3.4 ± 0.1ml/kg/minとトレーニング前に比べてトレーニング後で有意に高いことが認められた(p<0.05)。また、早朝安静時における酸素摂取量はトレーニング前3.2 ± 0.1ml/kg/min, トレーニング中3.5 ± 0.3ml/kg/min, トレーニング後3.9 ± 0.3ml/kg/minとトレーニング前に比べ高い傾向を示したが有意差はなかった。

表5 除脂肪体重当たりの平均酸素摂取量の変化 (n=3)

	酸素摂取量			変化率 <sup>†</sup>	
	5月 (ml/kg/min)	7月 (ml/kg/min)	11月 (ml/kg/min)	5月-7月 (%)	5月-11月 (%)
トータル	4.0 ± 0.1	3.9 ± 0.1	4.1 ± 0.0	-2.6 ± 1.0	2.0 ± 2.0
座位	5.4 ± 0.3	5.2 ± 0.3	5.3 ± 0.2	-3.7 ± 7.6	-1.0 ± 3.0
睡眠	3.3 ± 0.1	3.2 ± 0.1	3.4 ± 0.1 <sup>*</sup>	-2.3 ± 1.2	3.9 ± 2.1
早朝	3.2 ± 0.1	3.5 ± 0.3	3.9 ± 0.3	9.2 ± 8.2	19.8 ± 11.6

平均値±標準偏差 <sup>†</sup>5月を基準とした変化率 \*p<0.05

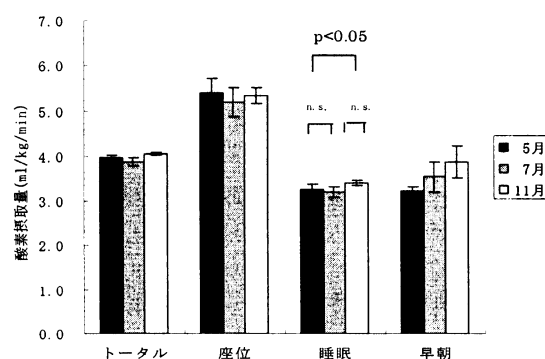


図6 除脂肪体重当たりの酸素摂取量の変化

#### IV. 考察

##### 1. ヒューマンカロリメーターの精度試験

ヒューマンカロリメーターは測定室に入出入りする酸素や二酸化炭素濃度を測定することにより被験者の代謝量を連続して評価する。被験者の活動が測定室内に限定されるものの、被験者の日常生活に類似させた時間プログラムで代謝量を測定することが可能である。また、ヒューマンカロリメーターは化学組成が既知である物質(アルコール等)を用いて燃焼試験を繰り返し行うことにより

測定した TEE の確度と精度を評価できる利点を有する (二見ら, 2003)。このことから, 本大学に設置されたヒューマンカロリメーターにおいてアルコール燃焼試験を繰り返し行ったところ, 実測値は理論値に対し燃焼熱量で  $96.3 \pm 2.7\%$  であり精度が確認された。二見ら (2003) は燃焼時間の短縮にともないデータのばらつきが拡大する事を示しており, 今回の燃焼試験は 2 時間と短いため実測値が理論値に対して低くなったと考えられる。また, 今回のアルコール燃焼試験ではアルコールが燃え始めてから終えるまでのまるごとの比較で, 時間対応の比較はしなかった。燃焼試験における誤差は①燃焼開始直後や燃焼終了付近の炎は不安定であること②アルコールランプの点火のため験者が測定室に入室することによる影響③アルコール重量測定から点火までの作業中にアルコールが蒸発することによる影響が考えられる。この 3 点については燃焼時間が短くなるほど影響が大きくなる可能性があるとして二見ら (2003) は述べている。このことから長時間のアルコール燃焼試験を行いこれらの誤差要因の検討を行うとともに短時間のアルコール燃焼試験方法の改善も検討しなければならない。

## 2. 安静時代謝量の再現性に関する検討

RMR は体格や身体組成のほか測定室の気温や外気温などの影響を受ける。これらの条件をコントロールしたうえで始めて RMR の変化を検討できる。本大学に設置されたヒューマンカロリメーターは測定室内に限定されるものの, 非拘束で日常に近い状態で TEE が測定できる。そこで測定室の環境および個人の身体活動を制限し期間をあけずに繰り返し測定することで再現性を確認した。1 週間をあけて繰り返し測定した 1 分間当たりの平均酸素摂取量は 2 回目に若干低くなるものの, その変化率は  $-1.9 \pm 0.9\%$  であり再現性が確認された。このため, 同様のプロトコルで測定する場合は 1 回の測定にて行うこととした。

## 3. 安静時代謝量に及ぼすトレーニング効果

運動トレーニング自体によるエネルギー消費量が TEE に占める割合はそれほど大きくない。また, 運動トレーニングが RMR や TEE に及ぼす影響については十分な知見が得られていない。田口ら (2001) による女性持久性競技者の BMR を比較した研究によると非運動群とランナー群の BMR に差はなく, ポート群の BMR は有意に高値を示した。しかし, LBM 当たりで見ると 3 群間に差は認められなかったと報告している。一方, Poehlman ら (1992) は持久性トレーニングにより LBM 当たりのエネルギー代謝を向上させる可能性があるという報告をしている。このことは, 持久性トレーニングの結果として活性組織 (LBM) 細胞の代謝能が向上したと考えられる。このため本研究ではヒューマンカロリメ

ターを用い日常的にトレーニングを行っている男子学生を対象として, トレーニングが安静の時間帯である夜間から朝にかけての代謝量に変化をもたらすか検討することを目的とした。

今回対象としたクロスカントリースキー選手のトレーニング内容は週の 2 日間は持久性トレーニング, 2 日間は持久性トレーニングとレジスタンストレーニングを組み合わせた内容であった。一般的に持久性トレーニングにより体脂肪量減少に伴う体重の変化と全身持久力の重要な因子の一つである最大酸素摂取量の増加が見られ, レジスタンストレーニングでは LBM の増大が見られる。今回のトレーニングの結果, トレーニング期前後において体重, 体脂肪量ともに減少傾向が認められたが有意な減少ではなく, LBM は変化がなかった。一方, 最大酸素摂取量はトレーニング期前 5 月の  $56.2 \pm 2.5 \text{ ml/kg/min}$  に対し, トレーニング期後 11 月で  $61.7 \pm 1.2 \text{ ml/kg/min}$  と有意に上昇が見られた ( $p < 0.05$ )。このことはレジスタンストレーニングの効果として LBM が保たれ, 持久性トレーニングの効果として有酸素能力が向上したと考えられる。特に身体組成が変化なく最大酸素摂取量が有意に上昇したことから持久性トレーニングが大きく影響したと推測される。

安静時の代謝量はヒューマンカロリメーターを用いて酸素摂取量を測定することにより評価した。ヒューマンカロリメーターは前述したように, プログラムに即し時間差なしに長時間の代謝量を測定できる特徴を有することから, 安静時における代謝量をトータル代謝量と身体活動別に比較することができる。その結果, 体重当たりのトータル平均酸素摂取量はトレーニング期前 5 月に比べトレーニング期後 11 月では有意差はないものの高い傾向が見られた。身体活動別に比べたところ, 座位安静時においては変化が認められず, 睡眠時において 5 月に対し 11 月で  $5.6\%$  有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。早朝安静時において有意差は無いものの 5 月に対し 11 月に酸素摂取量が高い傾向が見られた。このことは, 持久性トレーニングの効果として体脂肪量が減少傾向にあった結果から, 体重に占める LBM つまり活性組織の割合が大きくなり, 酸素摂取量が高くなったと推測される。次に LBM 当たりの平均酸素摂取量については体重当たりの平均酸素摂取量と同様, トータル平均酸素摂取量は 5 月に比べ 11 月で有意差は無いものの高い傾向にあった。座位安静時において変化は認められず, 睡眠時において 5 月に対し 11 月の酸素摂取量が有意に高いことが示され, その変化率は  $3.9\%$  であった ( $p < 0.05$ )。早朝安静時における酸素摂取量は有意差は無いものの 5 月に対し 11 月に高い傾向が見られた。安静の時間帯である夜間, 特に身体活動がほとんどない睡眠中の酸素摂取量が有意に高まったことは持久性トレーニングの指標として最大酸素摂取量が有意に高まったことを考え合わせる

と、筋肉細胞組織の代謝能が亢進した可能性が一因であると示唆された。

また、RMRは外気温の影響を受けることも知られている。ヒトは寒冷に対する適応から産熱性が促進されRMRは冬に高く、夏に低いとされている。そのためトレーニングによるRMRの変化を検討する場合、季節変動も検討しなければならない。Plasquiら(2003)が行なった季節と睡眠時代謝に関する研究では、睡眠時代謝量は夏に低く冬では高くなり、その差は17%であったと報告している。しかし、気象台データによると仙台地区の5月と11月の外気温の平均値は5月13.7℃、11月14.3℃で差は0.6℃と小さかった。そのため外気温による代謝への影響は少ないと考えられ、今回得られた睡眠時酸素摂取量の変化 $3.9 \pm 2.1\%$ はトレーニングによる代謝亢進と推察される。

今回3名の研究であったが持久性トレーニングによりRMRが亢進することが示唆された。トレーニングによるRMRへの影響については一致した見解が得られていないことから、今後対象者を広げ検討する必要がある。

## V. 結論

本研究では、ヒューマンカロリメーターを用いて日常的にトレーニングを行っている男子学生を対象に安静の時間帯である夜間から朝にかけての代謝量がトレーニングにより影響を受けるのかを検討した。

### 実験1 ヒューマンカロリメーターの精度試験

無人状態のヒューマンカロリメーター室内でアコール燃焼試験を繰り返し行ったところ、実測値と理論値の間には有意な正の相関関係が認められた。このことによりヒューマンカロリメーターの精度が確認された。

### 実験2 安静時代謝量の再現性に関する検討

ヒューマンカロリメーターによる測定を最低1週間あけて2回行い酸素摂取量を比較した。1分間当たりの平均酸素摂取量は2回目に若干低くなるものの、有意な正の相関関係が認められ再現性が確認された。

### 実験3 安静時代謝量に及ぼすトレーニング効果

トレーニング期前・中・後における酸素摂取量をヒューマンカロリメーターにおいて測定した。睡眠時の体重当たりおよび除脂肪体重当たりの酸素摂取量はトレーニング期前後において有意に増加した。このことから、持久性トレーニングによりRMRが増加する可能性が示唆された。

## 参考文献

ポーマン：木村修一ほか訳(2002)最新栄養学(第8版)―専門領域の最新情報―。建帛社：東京,pp.3-12.  
Brown,D.,Cole,T.J.,Dauncey,M.J.,Marrs,R.W.,and Murgatroyd,P.R.(1984)Analysis of gaseous exchange in open-circuit indirect calorimetry.

Med.Biol.Eng.Comput.,22:333-338.

Cunningham,J.J.(1991)Body composition as a determinant of energy expenditure:a synthetic review and a proposed general prediction equation. Am.J.Clin.Nutr., 54:963-969.

二見 順・田中茂穂・山村千尋・岡 純・高田和子・柏崎 浩(2003)ヒューマンカロリメーターによるエネルギー消費量測定―精度評価と精度向上のための問題点の検討―。日本栄養・食糧学会誌,56(4):229-236.

Fukagawa,N.K.,Bandini,L.G.,and Young,J.P.(1990)Effect of age on body composition and resting metabolic rate.Am.J.Physiol.,259:E233-238.

細谷憲正編(2000)今なせエネルギー代謝―生活習慣病予防のために―。第一出版：東京。

石河利寛・杉浦正輝編著(1989)運動生理学。建帛社：東京,pp.160-163

金子佳代子編著(2003)管理栄養士講座環境・スポーツ栄養学。建帛社：東京,pp.15-18.

Lemmer,J.T.,Ivey,F.M.,Ryan,A.S.,Martel,G.F.,Hurlbut,D.F.,Metter,J.E.,Fozard,J.L.,Fleg,J.L.,and Hurley,B.F.(2001)

Effect of strength training on resting metabolic rate and physical activity:age and gender comparisons. Med.Sci.Sports Exerc., 33:532-541.

緑川泰史・安部 孝(2003)中高齢者のエネルギー・バランスと体重コントロール。体育の科学,53(3):179-184.

Plasqui,G.,Kester,A.D.,andWesterterp,K.R.(2003)Seasonal variation in sleeping metabolic rate, thyroid activity,and leptin.Am.J.Physiol.,285:338-343.

Plasqui,G.,and Westerterp,K.R.(2004)Seasonal variation in total energy expenditure and physical activity in Dutch young adults. Obes.Res.,12: 688-694.

Poehlman,E.T.(1989)Exercise and its influence on testing energy metabolism in man.Med.Sci.SportsExerc.,21:515-525.

Poehlman,E.T.,Berke,E.M.,Joseph,J.R.,Gardner,A.W.,Katzman-Rooks,S.M.,and Goran,M.I.(1992)Influence of aerobic capacity, body composition,and thyroid hormones on the age-related decline in resting metabolic rate. Metabolism,41:915-921.

Rising,R.,Tataranni,P.A.,Snitker,S.,and Ravussin,E.(1996)Decreased ratio of fat to carbohydrate oxidation with increasing age in Pima Indians. J.Am.Coll.Nutr.,15:309-312.

佐藤真樹・藤井久雄(2005)仙台大学におけるヒューマンカロリメーターを用いたエネルギー消費量測定の実際：その研究背景と測定の原理，ならびに精度試験に

- ついて . 仙台大学紀要 ,37(1):49-54.
- Seidell,J.C.,Muller,J.D.,Sorkin,J.D.,and Andres,R.(1992)  
Fasting respiratory exchange ratio and resting  
metabolic rate as predictors of weight gain:the  
Baltimore Longitudinal Study on aging.  
Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.,16:667-674.
- 田川邦夫著 (2003) からだの働きからみる代謝の栄養学 .  
タカラバイオ : 滋賀 ,pp.169-187.
- 田口素子・樋口 満・岡 純・吉賀千恵・石田良恵・松  
下雅雄 (2001) 女性持久性競技者の基礎代謝量 . 栄養  
学雑誌 ,59(3):127-134
- 田中茂穂 (2005) エネルギー摂取基準の考え方 . 体育の  
科学 ,55(4):273-277
- 田中茂穂 (2005) エネルギー代謝におけるトレーニング  
の影響 . トレーニング科学 ,17(4):239-244
- Weinsier,R.L.,Nelson,K.M.,Hensrud,D.D.,Darnell,B.  
E.,Hunter,G.R.,and Schutz,Y.(1995)  
Metabolic predictors of obesity. Contribution of resting  
energy expenditure, thermic effect of food, and fuel  
utilization to four-year weight gain of post-obese and  
never-obese women.J.Clin.Invest.,95:980-985.
- Weir,J.B.J.(1949) New methods for calculating metabolic  
rate with special reference to protein metabolism.  
J.Physiol.,109:1-9
- Wilmore,J.H.,Stanforth,P.R.,Hudspeth,L.A.,Gagnon  
J.,Daw,E.W.,Leon,S.L.,Rao,D.C.,Skinner,S.J.,and  
Bouchard,C.(1998)Alteration in resting metabolic rate  
as a consequence of 20 wk of endurance training:the  
HERITAGE Family Study.Am.J.Clin. Nutr.,68:66-71.
- 山村千晶・柏崎 浩 (2002) 早朝空腹時安静代謝量の変  
動要因 : 公表された個人別測定値の再検討より . 栄養  
学雑誌 ,60 (2) :75-83.
- 吉武 裕・島田恵美子・海老根直之・齋藤慎一・田中宏  
暁 (2000) ヒューマン・カロリメーター . 栄養学雑  
誌 ,58(5):185-194.