

## 運動実施時間帯の違いが運動中および 運動後のエネルギー代謝に及ぼす影響

後藤 健二 藤井久雄

キーワード：体重調節, 低強度運動, 運動後のエネルギー代謝, 運動実施時間帯

### Effect of timing of exercise on energy metabolism during exercise, and after exercise

Kenji Gotoh Hisao Fujii

#### Abstract

The low intensity exercise is effective for body weight control to decrease body fat. And the effect of the exercise continues not only the during exercise but also the post-exercise. Furthermore, human's living body function has circadian rhythm. That rhythm maybe affected by oxygen intake during 24 hours.

The purpose of experiment 1 was to examine the low intensity exercise on energy metabolism during exercise, and after exercise. In this study, five healthy males carried on low-intensity exercise, high intensity exercise, and non-exercise (control). As a result, oxygen intake and energy expenditure of low-intensity exercise were higher than that of high-intensity exercise. In addition, RQ by the low-intensity exercise was lower than that of high-intensity through exercise, time of sleep, rest at early morning.

The purpose of experiment 2 was to examine the effect of timing of exercise on energy metabolism during exercise, and post-exercise. In this study, seven healthy males went low-intensity exercise at morning and the exercise of evening. This study was measurement energy metabolism that used human calorimeter in comparison with those exercise. The exercise at morning exercise showed high oxygen intake and energy expenditure on during exercise comparison with that of evening exercise. And those values of post-exercise at morning were higher than those of exercise at evening.

Key words: body weight control, low intensity exercise, energy metabolism after exercise, timing of exercise

## I. 緒言

### 1. 体重調節と運動

体重は、身体組成からみると脂肪と除脂肪量に大別することができる。体重調節を実施する際には、この身体組成を考慮することが重要である。肥満は体脂肪が過剰に蓄積した状態と定義されており<sup>1)</sup>、脂肪を効率よく利用することが能率的な体重調節につながるということがいえる。体脂肪量減少のためには運動の重要性が強調されており<sup>2),3)</sup>、近年では健康づくりのために運動が積極的に取り入れられるようになってきている。運動を行うことによる代謝効果は運動強度によって異なるが、低強度の運動では運動のエネルギー源として血中の糖質と遊離脂肪酸の両者が利用され、運動による脂質の利用は血中遊離脂肪酸に依存していることから、一般的に脂質を効率よく利用するためには低強度の運動が望ましいとされている。一方、高強度の運動はエネルギー源が主として糖質であり、体脂肪量の減少に対しては低強度の運動よりも非能率的である。運動時には、安静時と比較して十数倍のエネルギーが消費され、体内のエネルギー代謝に大きな影響をもたらす。

### 2. エネルギー代謝測定の必要性

身体活動は原則としてエネルギーの消費を伴い、エネルギー代謝を促進させる。エネルギーの要求量が増大することによって、それに随伴する諸栄養素の需要が増加し、それらの代謝も高まる。つまり、エネルギーが身体活動を支える中核といえることができる<sup>6)</sup>。近年報告された大人数の体重変動からの試算によると、一日当たり15~100kcal 強のわずかなエネルギーバランスのズレによって体重の増加、つまり肥満がもたらされることが明らかになっており<sup>13),14)</sup>、運動中のエネルギー消費量の測定誤差を小さくすることや、変動要因を明らかにすることには、肥満の予防、改善を目的とした能率的な体重調節のために大きな意義があるといっても過言ではない。さらに、運動に由来するエネルギー消費量を測定するにあたり、無視できない要素が運動後過剰酸素摂取(Excess Post-exercise Oxygen Consumption:EPOC)の存在である<sup>15)</sup>。運動の効果は運動中の酸素摂取量を増大させるだけでなく、多かれ少なかれ運動後に関してもその効果が持続しているのである。EPOCに関する報告は、運動強度や運動継続時間の関係から数分で消滅するという報告から数時間にわたってみられるという報告もあり<sup>16),17)</sup>、統一的な見解は

定かではないが、運動におけるエネルギー代謝を評価するにあたって重要な要素のひとつである。

### 3. 自律神経系と日内リズム

ヒトを含めた哺乳類では、体温をはじめ、血圧、呼吸、体液の性状、自律神経、内分泌など、全てにおいて多かれ少なかれ日内リズムを呈することが知られている。さらに、各機能には概日頂点位相があり、酸素摂取に関する頂点位相は、早朝から午後にかけてピークをむかえたとされている<sup>20),21)</sup>。これは交感神経のはたらきが優位になることによりエネルギー消費が亢進するものであり、午前中から昼間にかけて運動を行えば、運動中のみでなく、運動後に関しても酸素摂取量が増大・亢進する可能性が考えられる。また、酸素摂取等の循環器系の神経調節は交感神経と副交感神経の相互作用によって調節されていることが知られている<sup>22)</sup>。自律神経活動の評価法といっても様々な方法が提唱されているが、近年広く認められている方法のひとつとして、心拍R-R間隔の周波数解析を行い、高周波成分(High Frequency:HF 0.15-0.40Hz)、低周波成分(Low Frequency:LF 0.04-0.15Hz)に分け、HF成分を副交感神経系の指標とし、LF/HF成分を交感神経系の指標とする方法がある<sup>23),24),25),26)</sup>。

### 4. エネルギー代謝量の測定方法

エネルギー代謝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<sup>28)</sup>。直接熱量測定法はヒトのからだから放射される熱を水や空気に吸着させて測定する方法である。一方、間接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測定し、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。さらに、間接法は閉鎖回路系と開放回路系に分類される。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る。開放回路系にはダグラスバッグ法やブレス-バイ-ブレス法があり、間接熱量測定におけ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ブレス-バイ-ブレス法はマスク等を装着するため個々の活動における呼気ガスを正確に分析することができるが、装着により活動が制限されてしまう欠点を有する。後に説明するヒューマンカロリメーターは、被験者が室内に滞在している間、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出量を経時的に算出できる利点を有する。

### 5. ヒューマンカロリメーター

ヒューマンカロリメーター (FCH-15S, 富士医科産業) は, 温度, 湿度, 気圧が一定にコントロールされた約 18.6m<sup>3</sup> の部屋から構成されており, マスクなどの呼気分析用の機器をつけることなく, 長時間にわたるエネルギー代謝量の測定が可能である. トイレ, 洗面台, テレビ, ベッド, 机, 椅子, インターホンが装備されており, 自転車エルゴメーター等による運動も可能であることから, 運動を実施させるという条件下での長時間のエネルギー代謝測定に最も適している. また, 室内のカーテンにより被験者のプライバシーを保護し, 日常に近い生活が可能である. エネルギー消費量の値は, ヒューマンカロリメーター内における酸素濃度, 二酸化炭素濃度の変化を Henning らの方法<sup>29)</sup>から求め, 1分間ごとの酸素摂取量および二酸化炭素排出量を算出し, 得られた酸素摂取量と二酸化炭素排出量から Weir の式<sup>30)</sup>を用いてエネルギー消費量の値を算出することができる.

$$EE(\text{kcal}/\text{min}) = 3.9 \times \text{VO}_2(\text{L}/\text{min}) + 1.1 \times \text{VCO}_2(\text{L}/\text{min})$$

図1 WeirによるEE算出式

### 6. 本研究の目的

体脂肪を減少させるという意味での体重調節を効率良く行うためには, 低強度の運動が効果的である. しかしながら, これまでに高強度の運動後におけるエネルギー代謝は多く検討されているが, 低強度の運動後におけるエネルギー代謝の検討は少ない. また, 体重の増減はわずかなエネルギーバランスのズレによって起こるとされており<sup>13,14)</sup>, 運動を行うことによるエネルギー代謝の特徴, 細かな変動要因を検討することは重要であるといえる. さらに, ヒトの生体機能は午前中から午後に向かって高まるとされており<sup>19)</sup>, この日内リズムを考慮した運動実施時間帯の違いがエネルギー代謝に及ぼす影響について検討することで, 体重調節に有効な運動処方につながる可能性がある. そこで, 本研究では次の2つの実験により運動の実施がエネルギー代謝に及ぼす影響を比較検討した.

実験1 低強度の運動が運動中および運動後のエネルギー代謝に及ぼす影響

実験2 運動実施時間帯の違いが運動中および運動後のエネルギー代謝に及ぼす影響

## II. 研究方法

実験1 低強度の運動が運動中および運動後のエネルギー代謝に及ぼす影響

### 1) 被験者

被験者は実験に関して同意の得られた運動習慣のない健康成人男性5名とした. 被験者の身体的特性を表1に示した.

表1. 被験者の身体的特性(n=5)

		Mean	±	SE
年齢	(age)	23.1	±	0.6
身長	(cm)	174.3	±	1.9
体重	(kg)	78.4	±	5.3
BMI <sup>†</sup>	(kg/m <sup>2</sup> )	25.8	±	1.3
体脂肪率	(%)	14.1	±	2.8
体脂肪量	(kg)	17.5	±	2.5
LBM <sup>††</sup>	(kg)	64.2	±	2.8

<sup>†</sup>Body Mass Index: 体格指数

<sup>††</sup>Lean Body mass: 除脂肪量

### 2) 実験手順および環境条件

測定は2008年5月から9月にかけて行った. 試験は, 高強度運動群, 低強度運動群, および運動を実施しないコントロール群の群間比較試験とした. なお, 各試験の運動強度, および運動継続時間は, 低強度運動時に関しては45%HRmaxの強度で60分間の継続運動, 高強度運動に関しては80%HRmaxの強度で低強度運動時と同じ仕事量となった時点で終了とした. 食事に関しては, 試験当日の夕食のみ規定食として提供した. なお, 被験者には, 試験の3日前から出来るだけ運動を行わないように指示し, 試験に影響を及ぼさないよう考慮した. エネルギー代謝の測定にはヒューマンカロリメーターを用い, チャンバー内の温度は25°C, 湿度は50%に設定した. 低強度運動時における入室中の生活を表2に示した.

表2 ヒューマンカロリメーター内での活動 (低強度運動の場合)

時間	活動
19:00	入室
19:45-20:00	運動準備
20:00-21:00	運動(45%HRmax)
21:00-21:10	着替えなど
21:10-22:45	座位安静
23:00-6:30	就寝
6:40-7:30	仰臥位安静
7:30	退室

### 3) 測定方法

測定項目は、体重、体脂肪率、酸素摂取量、二酸化炭素排出量、心拍数とした。入室中の代謝量は、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分間あたりの酸素摂取量と二酸化炭素排出量を算出した。エネルギー代謝量の区分としては、両運動強度ともに、運動終了15分後から105分間を運動後座位安静時、就寝60分後から300分間を就寝時、起床15分後から25分間を早朝安静時とした。

### 4) 統計解析

統計処理には統計解析ソフトウェア SPSS ver. 17.0 for Windows を用いた。群間差の比較には一元配置分散分析、時系列データでは、運動強度、時間経過を要因とした反復測定による2元配置分散分析を行い、有意な交互作用が認められた場合には Bonferroni の方法による多重比較検定を行った。なお、有意水準は5%未満とした。測定値は全て平均値±標準誤差で示した。

実験2 運動実施時間帯の違いが運動中および運動後のエネルギー代謝に及ぼす影響

#### 1) 被験者

被験者は実験に関して同意の得られた運動習慣のない健康成人男性7名とした。被験者の身体的特性を表3に示した。

表3 被験者の身体的特性(n=7)

		mean	±	SE
年齢	(age)	21.6	±	0.6
身長	(cm)	173.3	±	1.9
体重	(kg)	71.4	±	5.3
BMI	(kg/m <sup>2</sup> )	23.6	±	1.3
体脂肪量	(kg)	11.5	±	2.8
体脂肪率	(%)	15.8	±	2.5
除脂肪量	(kg)	60.0	±	2.8

#### 2) 実験手順および環境条件

測定は2008年9月から12月にかけて実施した。エネルギー代謝の測定方法は実験1に準じた。両群の運動強度、および運動継続時間は45%HRmaxの強度で60分間の継続運動とし、運動による総仕事量を一定とした。朝運動時および夜運動時のヒューマンカロリーメ

ては、朝運動時についてはヒューマンカロリーメーター入室日の夕食および翌日の朝食を、夜運動時については試験当日の夕食のみ規定食として提供し、被験者の食事管理を行った。なお、被験者には、試験の3日前から出来るだけ運動を行わないように指示し、試験に影響を及ぼさないよう考慮した。

表4 夜運動時および朝運動時におけるヒューマンカロリーメーター内での活動

朝運動時		夜運動時	
時間	活動	時間	活動
6:30	起床	18:00	規定食摂取
7:00	規定食摂取	19:45~20:00	運動準備
9:15~9:30	運動準備	20:00~21:00	運動(45%HRmax)
9:30~10:30	運動(45%HRmax)	21:00~21:10	着替え等
10:30~10:40	着替え等	21:10~22:45	座位安静
10:40~12:15	座位安静		

### 3) 測定方法

測定項目は、体重、体脂肪率、酸素摂取量、二酸化炭素排出量、心拍数とした。なお、心拍数測定には心電呼吸送信機 LX-3230(フクダ電子株式会社)を用い、心拍ゆらぎリアルタイム解析システム Mem Calc/Tarawa(株式会社ジー・エム・エス社)に取り込んだ心拍ゆらぎの様相を解析・表示し、交感神経系の指標として LF/HF 比を、副交感神経系の指標として HF 値を用いた。体重、体脂肪率および入室中の代謝量の測定は実験1に準じた。

### 4) 統計解析

統計処理は実験1に準じた。なお、群間差の比較には対応のあるt検定を用いた。

## III. 結果

実験1 低強度の運動が運動中および運動後のエネルギー代謝に及ぼす影響

#### 1) 運動中の総酸素摂取量および総エネルギー消費量

図2に運動中の総酸素摂取量の平均値を示した。運動中の総酸素摂取量の値は、高強度運動群で101.2±4.8L、低強度運動群で107.6±4.3L、コントロール群で19.0±1.4Lであった。運動中の総仕事量を同値にし

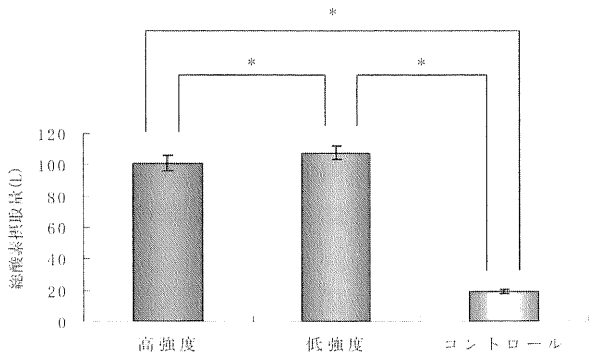


図2 運動中の総酸素摂取量 \*p<0.05

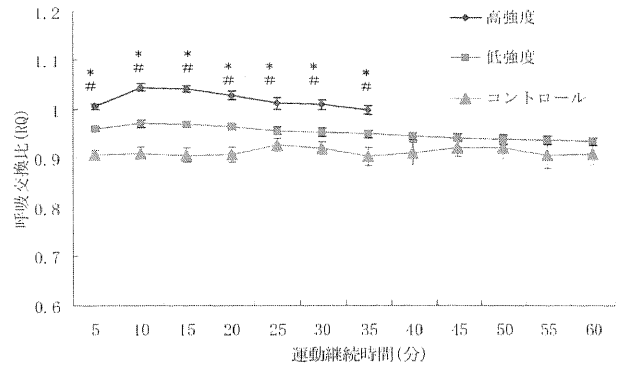


図4 運動中の呼吸交換比の推移

\*高強度 vs 低強度 p<0.05

#高強度 vs コントロール p<0.05

## 2) 各時間帯の体重あたりの平均酸素摂取量

図3に各時間帯における体重あたりの平均酸素摂取量を示した。時間帯別にみると、運動後安静時において高強度  $4.2 \pm 0.1 \text{ ml/kg/min}$ , 低強度  $3.8 \pm 0.1 \text{ ml/kg/min}$ , コントロール群  $3.7 \pm 0.2 \text{ ml/kg/min}$  であり, 高強度運動群と低強度運動群の間に有意な差はみられなかったものの, 低強度運動群で低値を示す傾向がみられた。また, 睡眠時においては高強度  $2.9 \pm 0.1 \text{ ml/kg/min}$ , 低強度  $3.0 \pm 0.1 \text{ ml/kg/min}$ , コントロール群  $2.8 \pm 0.2 \text{ ml/kg/min}$  であり, 有意な差はみられなかった。早朝安静時においても, 高強度  $3.1 \pm 0.1 \text{ ml/kg/min}$ , 低強度  $3.0 \pm 0.2 \text{ ml/kg/min}$ , コントロール群  $3.1 \pm 0.2 \text{ ml/kg/min}$  であり, 有意な差はみられなかった。

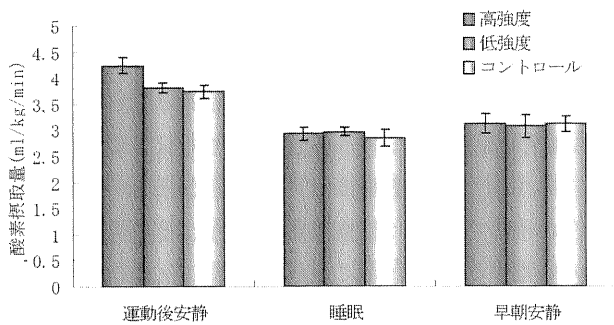


図3 各時間帯の体重当たりの平均酸素摂取量

## 3) 運動中の呼吸交換比の推移

図4に運動中60分間の呼吸交換比を5分間毎の平均値の推移で示した。運動中の呼吸交換比においては, 強度運動群と比較して低強度運動群で有意に低値を示した。また, 運動中の約35分間は, 高強度運動群と低強度運動群間において有意な差がみられた。なお, 呼吸交換比の値は運動中を通して高強度, 低強度, コントロールの順に高い値を示した。

## 4) 運動終了後座位安静時における呼吸交換比の推移

図5に運動終了後座位安静時における呼吸交換比について15分間毎の平均値の推移を示した。運動後の呼吸交換比については, 運動終了後から45分間にわたって, 他の2群と比較して高強度運動群で有意に低い値を推移した。高強度運動群と低強度運動群の間では, 運動終了75分後以降はほぼ同値を推移する傾向がみられた。低強度運動群とコントロール群の間では低強度運動群の方が低値を推移する傾向がみられた。

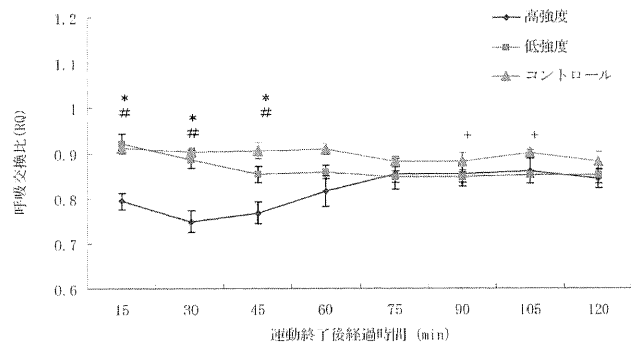


図5 運動終了後座位安静時の呼吸交換比の推移

\*高強度 vs 低強度 p<0.05

#高強度 vs コントロール p<0.05

+低強度 vs コントロール p<0.05

## 5) 睡眠時における呼吸交換比の推移

睡眠時の呼吸交換比については, 有意な差はみられなかったものの, 高強度運動群およびコントロール群と比較して低強度運動群で低値を推移する傾向がみられた。

## 6) 早朝安静時の呼吸交換比の推移

早朝安静時においても, 有意な差はみられなかったものの, 低強度運動群でやや低値を推移する傾向がみ

られた。

実験 2 運動実施時間帯の違いが運動中および運動後のエネルギー代謝に及ぼす影響

1) 運動中および運動後のエネルギー代謝量の比較

表 5 に運動中および運動後のエネルギー消費量、酸素摂取量の値を示した。運動中のエネルギー消費量に関しては朝運動時では  $538.6 \pm 27.2$  kcal, 夜運動時では  $528.2 \pm 24.5$  kcal であり、有意な差がみられなかったものの、朝運動時においてやや高値を示す傾向がみられ、運動後終了後から 90 分間の座位安静時の総エネルギー消費量においては、朝運動後で  $131.3 \pm 7.1$  kcal, 夜運動後では  $141.0 \pm 7.6$  kcal であり、両群間に有意な差がみられた。運動中および運動後の 150 分間の総エネルギー消費量に関しては朝運動群で  $669.9 \pm 31.0$  kcal, 夜運動群で  $669.2 \pm 29.1$  kcal であり、両群間に差はみられなかった。運動中の総酸素摂取量の値に関しては、朝運動群で  $107.9 \pm 5.4$  L, 夜運動群で  $105.9 \pm 5.0$  L であり、有意な差はみられなかった。運動後終了後から 90 分間の座位安静時における総酸素摂取量の値は、朝運動群で  $26.7 \pm 1.5$  L, 夜運動群で  $28.7 \pm 1.6$  L であり、両群間において有意な差がみられた。体重あたりの酸素摂取量の平均値に関しては、運動中は朝運動群で  $25.6 \pm 1.5$  ml/kg/min, 夜運動群で  $25.1 \pm 1.4$  ml/kg/min であり、有意な差はみられなかったが、運動後に関しては朝運動群で  $4.2 \pm 0.1$  ml/kg/min, 夜運動群では  $4.5 \pm 0.2$  ml/kg/min であり、両群間において有意な差がみられた。運動中および運動後の 150 分間の総酸素摂取量は、朝運動群で  $134.6 \pm 6.3$  L, 夜運動群では  $134.5 \pm 5.9$  L であり、両群間に差はみられなかった。

表 5 運動中および運動後のエネルギー代謝量の比較

	朝運動	夜運動	
EE (kcal)	運動 60min	$538.6 \pm 27.2$	$528.2 \pm 24.5$
	座位安静 90min	$131.3 \pm 7.1$	$141.0 \pm 7.6^*$
	トータル 150min	$669.9 \pm 31.0$	$669.2 \pm 29.1$
O <sub>2</sub> (L)	運動 60min	$107.9 \pm 5.4$	$105.9 \pm 5.0$
	座位安静 90min	$26.7 \pm 1.5$	$28.7 \pm 1.6^*$
	トータル 150min	$134.6 \pm 6.3$	$134.5 \pm 5.9$
O <sub>2</sub> (ml/kg/min)	運動	$25.6 \pm 1.5$	$25.1 \pm 1.4$
	運動後安静	$4.2 \pm 0.1$	$4.5 \pm 0.2^*$

\*p<0.05

2) 運動中および運動後 90 分間の心拍数の推移

図 6 に運動中および運動後の心拍数の推移を示した。運動中の 60 分間および運動終了直後の座位安静時 10 分間において、朝運動群で有意に高値を示した。また、運動後の座位安静時に関しても、朝運動群で高値を推移する傾向がみられた。

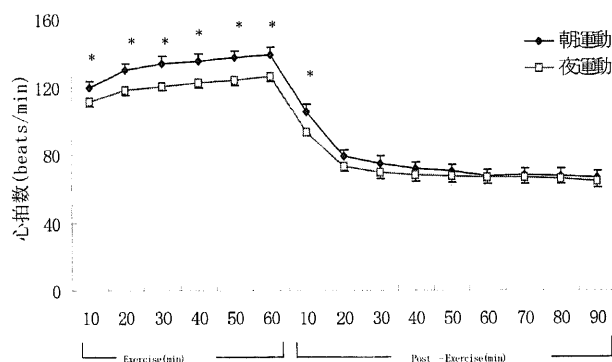


図 6 運動中および運動後 90 分間の心拍数の推移

3) 運動中および運動後 90 分間の心拍 HF 値

HF 値に関して、時間経過の要因に有意な主効果が認められた。また、朝運動群の運動後において、心拍 HF 値が夜運動群と比較してやや高い値を推移する傾向がみられた。

IV. 考察

実験 1 低強度の運動が運動中および運動後のエネルギー代謝に及ぼす影響

ヒトのエネルギー代謝機構は有酸素性エネルギー供給機構と無酸素性エネルギー供給機構とに分けられるが<sup>31)</sup>、低強度運動時では、高強度運動時と比較して有酸素系のエネルギー供給機構に依存している割合が大きい可能性が示唆された。また、本研究で行った両強度が運動後の酸素摂取量の亢進に及ぼす影響に有意な差はなく、睡眠時および早朝安静時に関しても両強度間には差がないことが示唆された。呼吸交換比の推移に関しては、低強度の運動を行うことで消費エネルギーの割合として脂質の利用の依存を高めている可能性が示唆され、その効果は運動後の睡眠時および翌朝まで影響する可能性が示唆された。

運動後の呼吸交換比について、一時的に低強度運動群と比較して高強度運動群で低値を示したが、これは通常であれば酸素摂取量が増大すると二酸化炭素排出量もほぼ比例して増大すると考えられるが、酸素摂取量のみが増大するいわゆる過呼吸のような状態になったことが考えられる。これは運動中に酸素を借り入れ

運動後にその返済のための酸素を余分に取り入れたため、一時的に酸素摂取量が増加し、それにもない呼吸交換比が低値を示したものと考えられる。この現象は酸素負債と呼ばれ、酸素負債の回復後にも酸素摂取量が亢進する EPOC とは区別されている<sup>27)</sup>。

## 実験 2 運動実施時間帯の違いが運動中および運動後のエネルギー代謝に及ぼす影響

エネルギー代謝量を亢進させる要因としては、交感神経系の活性化<sup>33)</sup>や、心拍数の増大<sup>34)</sup>などが考えられる。運動中の心拍数の推移に関しては、朝運動時において有意に高い値を推移しており、エネルギー消費量が高値を推移したのは、心拍数が上昇していたことが一因となっていたことが示唆された。同じ仕事量の運動を行ったにも関わらず、運動実施時間の違いによって心拍数の値に差がみられたが、これは心拍数が日内リズムの影響を受けていたことや<sup>27)</sup>、起床後に座位安静を保ち続けたこともあり、夜運動時と比較して生体機能が低いまま運動を実施したことで、過負荷がかかったということも考えられる。さらに、運動負荷は生体の日内リズムにかなりの影響を与えるという報告があり<sup>36)</sup>、特に夕刻の運動負荷で生体リズムの遅れ(頂点位相の後方移動)が顕著であり、さらに夜間の遅い時間から翌早朝に至る運動負荷でも生体リズムに遅れが生じるとされている。この生体の日内リズムのうえから、様々な強度の運動を 1 日のどの時間帯に実施するのが合理的であるか考えると、ヒトの生体機能は早朝、午前中は低く、午後、夕刻になるにつれて高くなることから<sup>35)</sup>、午前中はウォーキング、ジョギングなどの有酸素運動が、午後から夕刻にかけては瞬発力が肝要となるレジスタンス運動などの無酸素運動が合理的であることが示唆される。

運動後のエネルギー消費量に関しては、両群間の運動終了後において心拍数の差が小さくなったことに加え、副交感神経の指標のひとつとされている心拍 HF 値が朝運動後において上昇する傾向がみられたことから、副交感神経系が活性化したために夜運動後と比較してエネルギー消費量が低値を推移した可能性が考えられる。両運動実施時間帯における呼吸交換比の推移から、エネルギー消費の割合として脂質に依存する運動という効果では差がないということが考えられる。しかしながら、食事の摂取時間や食後経過時間を考慮したうえで同じ仕事量の運動を実施することで、昼および夜の運動実施と比較して、朝の運動実施の方が消費エネ

ルギーの割合として脂質の利用を高めるという報告<sup>37)</sup>もある。このことから、効率的な運動を行うためには、運動実施時間だけでなく、食事のタイミングや食後の経過時間も考慮することも重要であることが考えられる。

また、実験 1 の結果より、低強度運動でも運動の効果は運動後も継続することが確認されており、夜の時間帯に運動を行う場合には、運動終了後に数時間の座位安静、もしくはそれ以上の身体活動を保ち、夜運動後における酸素摂取量増大の効果を十分に発生させてから睡眠に向かうということが、運動の効果を高める要因であるということが示唆された。

本研究では両運動実施時間帯において、運動後のエネルギー代謝量の測定は運動終了後約 2 時間にとどまっているが、12 時間、もしくは 24 時間という長いスパンでのエネルギー代謝量を検討することや、夜運動後に覚醒している時間を多くとることで、朝の運動と比較して運動後における酸素摂取量およびエネルギー消費量が亢進した、夜の時間帯に運動を実施する効果をさらに高めるという可能性も捨てきれない。また、運動中のエネルギー消費量が高いという結果を示した朝の運動であるが、起床後、絶食状態のまま運動を行うことで血中遊離脂肪酸が増加し、脳血管疾患や心筋梗塞などのリスクを高めるという報告があることも忘れてはならない<sup>35)</sup>。朝運動時においては夜運動時と同強度の運動を行ったにも関わらず心拍数が上昇する傾向がみられ、十分なウォーミングアップを行った状態で運動を行わないと循環器系に大きな負担をかけることにもなりかねない。そのため、運動を行う際には、エネルギー代謝におよぼす影響だけでなく、運動を行うことによるリスクを考慮することも必要不可欠である。

## V. 結論

本研究では以下のことが明らかとなった。

### 実験 1

- ・運動中の総酸素摂取量および総エネルギー消費量に関して、低強度運動群で高強度運動群、コントロール群よりも有意に高値を示した。
- ・呼吸交換比の値に関して、運動中、睡眠時、早朝安静時において高強度運動群と比較して低強度運動群で低値を推移する傾向がみられ、運動中に関しては有意な差がみられた。

### 実験 2

- ・朝運動群では、夜運動群と比較して、運動中の酸素摂

取量およびエネルギー消費量が高値を示す傾向がみられた。また、心拍HF値が運動後に上昇したことで、運動後の酸素摂取量およびエネルギー消費量の亢進が抑制された可能性が考えられる。

・夜運動群では、朝運動群と比較して運動後の酸素摂取量およびエネルギー消費量が有意に高値を示した。

## VII 参考文献

- 1) 船橋徹, 肥満をどのように測定・判定するか, 日本肥満学会編集委員会編, 肥満・肥満症の指導マニュアル(第2版). 医歯薬出版株式会社, 1-11, 2001
- 2) Toth MJ, Beckett T, Poehlman Et, Physical activity and the progressive change in body composition with aging, current evidence and research issues. *Med Sci Sports Exer*, 33, 521-527, 2001
- 3) Physical activity, total and regional obesity, dose response considerations. *Med Sci Sports Exer*, 1999, 590-596, 2001
- 4) Pate, R, et al, Physical activity and public health, a recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention. *American College of Sports Medicine*, 273, 402-407, 1995
- 5) 中村丁次, 肥満の栄養指導. *臨床栄養*, Vol. 96, 506-510, 2000
- 6) 小林修平, スポーツ医学におけるエネルギー代謝研究の重要性. *臨床スポーツ医学*, Vol. 18, 393-397, 2001
- 7) 田畑泉, エネルギー. *臨床栄養*, Vol. 105, 821-824
- 8) Shetty, P. S. Energy requirements of adults. *Public Health Nutr*, 8, 994-1009, 2005
- 9) 厚生労働省策定 日本人の食事摂取基準 2005年版. 第一出版
- 10) Muller, M. J., Bosy-Westphal, A., Kutzner, D., Heller, M. Metabolically active components of fat-free mass and resting energy expenditure in humans. *Recent Lessons from imaging technologies*, *Obes. Rev.* 3, 113-122, 2002
- 11) Van Zent R. S. Influence of diet and exercise on energy expenditure a review. *Int. J. Sport-Nutr.* 2, 1-19, 1992
- 12) Donahoo, W. T., Levine, J. A., Melanson, E. L. Variability in energy expenditure and its components. *Curr, Opin, Clin. Nutr. Metab. Care*, 7, 599-606, 2004
- 13) J. O. Hill, et al, Obesity and the Environment: Where Do We Go Here?. *Science*, Vol. 299, 5608, 853-854
- 14) Y. C. Wang et al, Estimating the Energy Gap Among US Children: A Counterfactual Approach. *Pediatrics*, 118, 1721-1733
- 15) Gaesser, G. A and Brooks, G. A. Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Med. Sci. Sports Exerc.* 16, 29-34, 1984
- 16) Bielinski R, Schutz Y, Jequier E (1895) Energy metabolism during the post-exercise recovery in man. *Am J Clin Nutr* 4, 42, 69-82
- 17) Laforgia, J., Withers, R. T., Gore, C. J. Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *J. Sports Sci.* 24, 1247-1264, 2006
- 18) Bahr, R., Ingnes, I., Vage, O., Sejersted, O. M. and Newsholm, E. A, Effect of duration of exercise on excess post-exercise O<sub>2</sub> consumption. *J. Appl. Physiol.* 62, 485-490
- 19) 小坂光男, 他. 生体機能変化による日内リズムの修飾-特に運動・睡眠と日内リズムの関係. *中京大学体育学論叢*, 45-1, 1-13
- 20) 佐々木隆, 健康と気象・現代の気象テクノロジー-5. 朝倉書店, 1982
- 21) Solberg, L. C., Horton, T. H. and Turek, F. W. Circadian rhythms and depression, effects of exercise in an animal model. *Am. J. Physiol.* 276, 151-162, 1999
- 22) 長田尚彦, 三宅良彦, わかりやすい自律神経機能検査. *臨床スポーツ医学*, Vol. 19, 45-49
- 23) Brouwer, J et al. Prognostic value of heart rate variability during long-term follow-up in patients with mild to moderate heart failure: The Dutch Ibopamine Multicenter Trial Study Group. *Journal of the American College of Cardiology*, 28, 1183-1189, 1998



- 24) Ponikowski, P. et al. Depressed heart rate variability as an independent predictor of death in chronic congestive heart failure secondary to ischemic or idiopathic dilated cardiomyopathy. *American Journal of Cardiology*.79,1645-1650,1997
- 25) Szabo, B.M. et al. Prognostic value of heart rate variability in chronic congestive heart failure secondary to idiopathic or ischemic dilated cardiomyopathy. *American Journal of Cardiology*.79,978-980,1994
- 26) 大宮一人, 運動と自律神経, 心臓リハビリテーション. Vol.6, 147-149
- 27) Vandwalle G, Middleton B, Rajaratna SM et al, Robust circadian rhythm in heart rate and placebo. *J Sleep Res* .16,148-155,2007
- 28) 田中茂穂, 間接熱量測定法による1日のエネルギー消費量の評価. *体力科学*, 55, 527-532
- 29) Henning B, Lofgren R, Sjostrom L. *Med Biol Eng Comput*, 34(3)207-212, 1996
- 30) Weir V, *J Physiol*, 109, 1-9, 1949
- 31) 八田秀雄, エネルギー代謝を活かしたスポーツトレーニング. 講談社. 1-34
- 32) 田川邦夫, からだの働きからみる代謝の栄養学. *タカラバイオ*, 180-183
- 33) Welles. S et al, Reduced metabolic rate during  $\beta$ -adrenergic blockade in humans. *Metabolism* ,40,619-622,1991
- 34) 杉田正明, 心拍数の具体的活用法: 心拍数のデータを効果的によみとるために. *Training Journal*, July, 51-53, 2005
- 35) 石田良雄 他, 生体リズムと運動効果に関する研究: 早朝運動の効果とリスクについて. *体力研究*, 65, 1-7, 1987
- 36) Eastman, C, L et al, Phase-shifting human circadian rhythms with exercise during the night shift. *Physiol Behav*, 58, 1287-1291, 1995
- 37) 豊岡示朗 他, 朝と夕方のジョギングにおける血中基質の動態と代謝特性. *体力科学*, 44, 419-430, 1995