

原著論文

間欠的な有酸素運動における運動中および運動後の酸素摂取動態

韓 一栄¹⁾, 向本敬洋²⁾, 植田 央¹⁾, 清田 寛³⁾, 大野 誠¹⁾

¹⁾ 日本体育大学大学院体育科学研究科健康科学・スポーツ医科学系

²⁾ 日本体育大学体育研究所

³⁾ 日本体育大学発育発達研究室

Effects of intermittent bouts of aerobic exercise on oxygen consumption during and after exercise

Illyoung Han, Takahiro Mukaimoto, Hisashi Ueda,
Hiroshi Kiyota, Makoto Ohno

Abstract: The purpose of this study was to compare the oxygen consumption ($\dot{V}O_2$) and energy expenditure (EE) during and after exercise between a single bout of continuous exercise and intermittent bouts of exercise, which of equivalent exercise intensity and total exercise duration. Nine healthy young men performed the following two exercise trials on separate days: 1) A single bout of 30-min exercise (30Ex), followed by 90-min of rest. 2) Three intermittent bouts of 30-min exercise, separated by a 10-min rest between exercise bouts (10Ex), followed by 70-min of rest. That is, the total rest in two trials was 90-min. Each exercise was performed with a cycle ergometer at 60% of $\dot{V}O_{2max}$. The expired gases were monitored continuously to determine $\dot{V}O_2$ and EE by a breath-by-breath method throughout the trial period. For average $\dot{V}O_2$, total $\dot{V}O_2$, and EE during exercise, no significant difference was observed between the two trials, however, total $\dot{V}O_2$, EE, excess post-exercise oxygen consumption during rest were significantly greater in 10Ex than in 30Ex ($p < 0.05$). These results suggest that the intermittent bouts of aerobic exercise can contribute to greater total $\dot{V}O_2$ and EE after exercise compared with a continuous exercise of equivalent total exercise duration.

(Received: May 23, 2012 Accepted: July 6, 2012)

Key words: aerobic exercise, intermittent exercise, oxygen consumption, energy expenditure, excess post-exercise oxygen consumption

I. 目 的

有酸素運動は、主に心肺機能の維持・向上に貢献する運動であることはよく知られており、健康増進や肥満解消^{1,2)}など様々な目的で幅広く活用されるに至っている。心肺機能は、健康と密接な関係にあり、その因果関係については多くの研究で報告されている。例えば、心肺機能の増加は、あらゆる疾患の死亡率の減少と関連し、心肺機能が低いと冠動脈疾患による早期死亡のリスクが増加する。また、心肺機能レベルは日常生活における身体活動レベルと密接に関連していることも知られている³⁻⁵⁾。したがって、有酸素運動により心肺機能を高めることは、健康増進のみならず冠動脈疾患や死亡リスクの減少などにも有効であり、日常生活のなかに積極的に取り入れるよう推奨されてい

る。しかし、安全性を保ちながら運動の効果を得るためには、運動強度と運動時間について考慮する必要があることは言うまでもない。アメリカスポーツ医学会は、身体活動レベルを高めるために、毎日30分以上の中強度運動を実施することを推奨している⁶⁾。また、肥満者に対しては、中強度の運動(予備心拍数の40~60%)から始め、徐々に運動時間と運動頻度を増やすことを勧めており、さらに、最大酸素摂取量(maximal oxygen consumption, 以下、 $\dot{V}O_{2max}$)を増加させるためには、予備心拍数の50~70%の運動強度で行うよう勧めている⁷⁾。しかしながら、日常から特別な運動習慣のない対象者にとっては以上のような中強度の運動を連続的に30分以上毎日行うことは困難であり、また、このような運動条件で継続するためにはかなり強い意志が必要である⁸⁾。ここで、もし休息を挟みなが

ら中強度の運動を毎日合計30分以上行うことによって同等な運動の効果を得ることができるのであれば、特別な運動習慣のない対象者にとってより達成しやすい目標になり、行動変容につながる可能性が高まると考えられる。

ところで、運動時間を統一した条件で運動と休息との関係を検討した先行研究によると、150% $\dot{V}O_2\max$ の強度で休息を挟んで間欠的に運動を行なわせた場合と105% $\dot{V}O_2\max$ で連続的に運動を行わせた場合では、総 $\dot{V}O_2$ は両運動間に有意な差はみられなかったものの運動終了後180分間に及ぶ回復時の総 $\dot{V}O_2$ および運動後過剰酸素消費 (excess post-exercise oxygen consumption, 以下、EPOC) は150% $\dot{V}O_2\max$ の間欠的に運動を行った場合の方が有意に大きかったという⁹⁾。さらに、Laforgiaら¹⁰⁾は、総仕事量を一定にした間欠的な超最大強度運動と連続的な最大下強度運動について運動終了後の回復時 $\dot{V}O_2$ を比較した。その結果、間欠的な最大下強度運動の方が連続的な最大下強度運動に比べて回復時の $\dot{V}O_2$ が大きかったことを報告した。以上のように、運動中に休憩を挟むことにより、運動終了後の $\dot{V}O_2$ およびEPOCが亢進することが確認されたが、これらの先行研究では105% $\dot{V}O_2\max$ 以上の高強度運動が採用されており、特別な運動習慣のない対象者にとっては施行困難な運動強度でもある⁸⁾。これに対して、比較的運動強度が低い(60% $\dot{V}O_2\text{peak}$)運動を60分間行わせた研究では、60分間の有酸素運動の途中に休息を挿入することにより、運動中および運動後に脂質代謝の亢進が確認されたという¹¹⁾。したがって、休息時間を挟みながら間欠的に有酸素運動を行っても、合計の運動時間が同じであれば連続的に運動した場合と同等かそれ以上の運動効果が期待でき、肥満者や低体力者などの運動処方において大きな福音となると考えられる。しかしながら、これまで、間欠的な低強度の有酸素運動における運動中および運動後の酸素摂取動態について詳細には検討されていないのが実状である。

そこで本研究では、実際に実践しやすい比較的強度の低い有酸素運動を採用し、休息を入れずに30分間連続で行った場合と2回の休息を挟んで10分ずつ3回行った場合¹²⁾の2つの異なる運動条件による運動中および運動後の酸素摂取動態について詳細に比較・検討することを目的とした。

II. 方 法

1. 被験者

被験者の身体的特徴を表1に示した。被験者は定期的な運動習慣のない健康な若年男性9名であり、特別な競技スポーツ、喫煙および飲酒習慣を有していな

表1. 被験者の身体的特徴

男性 (n=9)	平均±標準偏差
年齢 (歳)	20.3±1.7
身長 (cm)	173.0±2.6
体重 (kg)	64.4±4.0
BMI (kg/m ²)	21.5±1.1
体脂肪率 (%)	13.6±3.0
$\dot{V}O_2\max$ (ml/kg/分)	49.2±5.0
HRmax (拍/分)	187.1±5.0

BMI: body mass index. $\dot{V}O_2\max$: 最大酸素摂取量, HRmax: 最大心拍数

かった。健康状態について入念に聴き取り調査を行い、いずれの被験者も常用薬を服用していないこと、また運動実施に支障をきたす疾病や障害のないことを確認した。本研究は、ヘルシンキ宣言の精神に則って実施し、被験者には研究目的および内容、注意点について十分なインフォームドコンセントを実施した上で研究への同意を文書で得た。なお、本研究は日本体育大学倫理審査委員会の承認 (No. 008-H17) を得て実施した。

2. 実験デザインおよびプロトコル

本実験は身体組成および体力測定、2条件の運動実験を含め、被験者一人につき測定を3回行った。被験者は実験初日に、身体組成および2時間安静時の呼気ガス、 $\dot{V}O_2\max$ の測定を行い、次に、4~7日の間隔を空けて、以下に示した異なる2つの運動条件で運動実験を実施した。

- 1) 30分間の連続的有酸素運動 (以下、30Ex)
- 2) 10分間3セット (10分休息) の間欠的有酸素運動 (以下、10Ex)

各実験は被験者の疲労などを考慮して、4~7日の間隔を空けて同一時刻および同一条件で実施した。安静時の呼気ガスは快適な椅子で安静座位を保ち、運動実験と同じ時間帯に2時間測定した。また、運動実験の実施順序は被験者によりランダム化した。被験者には、実験前日の運動、飲酒を禁止し、さらに夜9時以降に飲水以外の飲食およびカフェインの摂取を行わないことと、実験の前日の食事は3食とも同一内容の食事を摂取するよう指示した。実験当日、被験者には空腹のまま、なるべく運動量の少ない手段を用いて実験室へ来るよう指示した。これらの実験は、すべて空調設備のある実験室にて室内温度を23℃に設定して実施した。

3. 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) の測定

$\dot{V}O_2\max$ は自転車エルゴメーター (COMBI, AERO-BIKE800, Tokyo, Japan) を用いて breath by breath 方

式による漸増運動負荷法を行い, 携帯型呼気ガス分析装置 (METAMAX3B, CORTEX, Leipzig, Germany) で測定した. 測定は 50 Watt から開始して, 3 分ごとに 30 Watt ずつ漸増的に増加させ, オールアウトするまで行った. $\dot{V}O_2\max$ は, 推定最高心拍数 ± 15 拍/分もしくは負荷を増加しても心拍数が増加しなくなった時点, 呼吸交換比が 1.10 以上になった時点, ボルグスケール¹³⁾ が 17 (かなりつらい) になった時点, $\dot{V}O_2\max$ が平衡状態になった時点, 被験者が運動中に 50 rpm 以上の回転数を維持できなくなった時点¹⁴⁾ のいずれかを判定基準とした.

4. 運動条件

運動実験のプロトコルを図 1 に示した. すべての被験者は同じ自転車エルゴメーターを用いて各運動条件で有酸素運動を行った. 運動強度は事前に測定した $\dot{V}O_2\max$ から一次回帰直線を算出し外挿法で % $\dot{V}O_2\max$ を設定し, 両運動条件ともに 60% $\dot{V}O_2\max$ の負荷 (Watt) に設定した. 各運動条件については, 30Ex では一定負荷で回転数 60 rpm を保ちながら 30 分間継続させ, 運動後は座位安静で 90 分間休息させた. 10Ex においては, 一定負荷で回転数 60 rpm を保ちながら, 10 分間の運動を 10 分間の休息を挟んで 3 セット行い, 運動後は座位安静で 70 分間休息させた. つまり, 両運動条件ともに総運動時間は 30 分間, 総休息時間は 90 分に設定した. なお, 運動中においては, 運動中 10 分ごとにボルグスケール¹³⁾ を用いて主観的運動強度 (rating of perceived exertion, 以下, RPE) を記録した.

各運動実験の当日, 被験者は食後 6 時間以上絶食の状態を実験室に来室し, 身体組成と安静時の血中乳酸濃度を測定後, 心拍ベルトと呼気ガス測定のマスクを装着した. そして, 快適な椅子にて 5 分間の座位安静を保った後, 各運動を行った. 運動後および休息の間は, 再び椅子に戻り, 座位安静を維持させた. 座位安静の間は, 音楽鑑賞および DVD 鑑賞を許可したが, 移動および睡眠, 摂水を禁止した. 呼気ガスおよび心拍

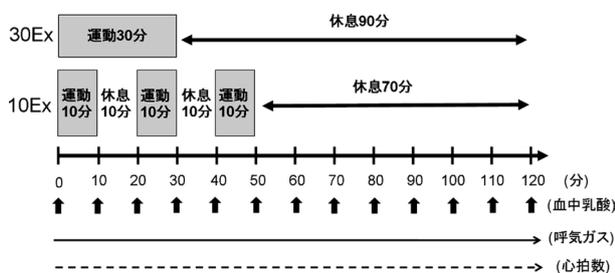


図 1. 運動セッションのプロトコル
30Ex: 30 分間の連続的有酸素運動
10Ex: 10 分間 3 セット (10 分休憩) の間欠的有酸素運動

数 (heart rate, 以下, HR) の測定は運動開始 5 分前から運動セッション終了まで継続して測定した.

5. 測定項目および測定方法

1) 呼気ガスおよび HR の測定

呼気ガスは携帯型呼気ガス分析装置 (METAMAX3B, CORTEX, Leipzig, Germany) を用いて breath by breath 方式で測定した. 呼気ガスは 1 呼吸ごとに採取し, テレメトリ送信器によって PC に無線送信され, 呼気ガス代謝分析ソフト (MetaSoft, CORTEX, Leipzig, Germany) で分析した. また, HR は, 胸部に装着した心拍ベルト (POLAR, Kempele, Finland) によって無線送信され, 上記の呼気ガス分析ソフトにオンライン入力して 1 分間の平均値を記録した. 統計解析では, 5 分間の平均値を算出して各運動条件間を比較した.

測定後, $\dot{V}O_2$ と二酸化炭素排出量から呼吸交換比 (respiratory exchange ratio, 以下, RER) を求め, Elia M and Livesey G の式¹⁵⁾ を用いてエネルギー消費量 (energy expenditure, 以下, EE) を算出した. EPOC は各運動後に得られた測定値から事前に測定した安静時の測定値を引いた値の総和¹⁴⁾ とした. なお, EPOC の終了は, 運動終了後における $\dot{V}O_2$ の値が安静時の値に戻り, 有意差が確認されなかった時点とした¹⁶⁾.

2) 血中乳酸濃度の測定

血中乳酸濃度 (blood lactate concentration, 以下, La) は血中乳酸濃度測定器 (Lactate Pro LT-1710, ARKRAY, Kyoto, Japan) を用いて, 運動開始前から運動実験終了まで 10 分間隔で右指尖から採血を行い, 濃度を測定した.

6. 統計解析

すべての測定値は平均値 \pm 標準偏差 (mean \pm SD) で示した. 運動中および運動後における運動条件間の平均値の差は, 対応のある Student's *t*-test を用いて比較した. なお, 安静時を含めた各条件間と時間経過に伴う平均値の差は反復測定による二元配置の分散分析を用いて比較し, *F* 値が有意であった場合には, Fisher の最小有意差法により多重比較検定を行った. なお, すべての統計処理における有意水準は $p < 0.05$ とした.

III. 結 果

1. 主観的運動強度 (RPE) の比較

2 種類の運動条件下での運動中 10 分ごとの RPE は, 30Ex では, それぞれ 12.1 ± 2.1 (10 分後), 14.3 ± 1.7 (20 分後), 15.2 ± 2.3 (30 分後) であり, 運動 30 分間の平

均値は 13.9 ± 1.9 であった。一方、10Ex では、それぞれ 12.3 ± 2.0 (1セット後)、 13.4 ± 1.7 (2セット後)、 14.7 ± 1.8 (3セット後) であり、運動10分間3セットの平均値は 13.5 ± 1.7 であった。各運動条件間の比較においては、すべての時点および30分間の平均値において有意な差はみられなかったが、30Exの20分後と10Exの2セット後の平均値においては、10Exの方が有意に低値を示した ($p < 0.05$)。

2. 血中乳酸濃度 (La) の経時的变化と運動条件間の比較

運動中における平均Laを表2に示した。30Exでは

表2. 運動中および運動後(休息時)における生理的応答の比較

項目	30Ex	10Ex
運動中 (30分間)		
血中乳酸濃度 (mmol/L)	6.3 ± 1.7	6.3 ± 2.5
平均心拍数 (拍/分)	152.5 ± 14.8	149.0 ± 12.9
平均酸素摂取量 (ml/kg/分)	37.1 ± 7.7	34.8 ± 4.5
総酸素摂取量 (L)	71.1 ± 13.4	66.5 ± 7.9
エネルギー消費量 (kcal)	354.8 ± 67.2	331.1 ± 39.3
運動後(休息時)計90分間		
	90分連続後	10分+10分+70分
総酸素摂取量 (L)	42.5 ± 6.8	49.3 ± 4.1
エネルギー消費量 (kcal)	202.0 ± 31.7	239.0 ± 19.9
EPOC (L)	9.0 ± 5.9	17.2 ± 4.3

EPOC: excess post-exercise oxygen consumption (運動後過剰酸素消費量)

平均値 ± 標準偏差, * $p < 0.05$

30Ex: 30分間の連続的有酸素運動

10Ex: 10分間3セット(10分休息)の間欠的有酸素運動

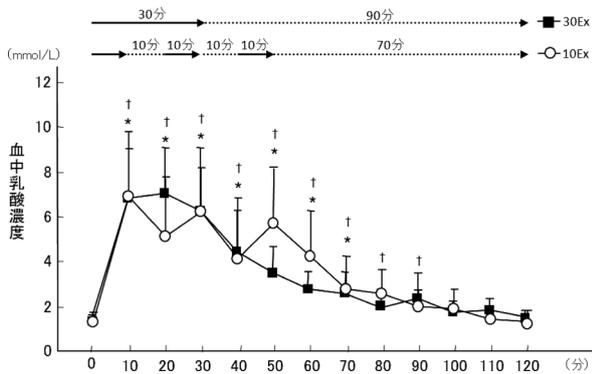


図2. 血中乳酸濃度の経時的变化
平均値 ± 標準偏差, *運動前 vs. 30Ex ($p < 0.05$),
†運動前 vs. 10Ex ($p < 0.05$)
30Ex: 30分間の連続的有酸素運動
10Ex: 10分間3セット(10分休息)の間欠的有酸素運動

6.3 ± 1.7 mmol/L, 10Exでは 6.3 ± 2.5 mmol/Lであり、運動条件の間に有意な差はみられなかった。また、経時的变化(図2)については、運動前と比べ、30Exでは運動開始から運動後40分の時点まで有意に高値を示し ($p < 0.05$)、10Exにおいても運動開始から運動後40分の時点まで有意に高値を示した ($p < 0.05$)。一方、運動条件間の比較においては、すべての時点で有意な差はみられなかった。

3. 心拍数 (HR) の経時的变化と安静時および運動条件間の比較

運動中における平均HRを表2に示した。30Exでは 152.5 ± 14.8 拍/分、10Exでは 149.0 ± 12.9 拍/分であり、運動条件の間で有意な差はみられなかった。また、経時的变化を図3に示した。安静時と比べ、30Exでは運動開始から運動後55分の時点まで有意に高値を示

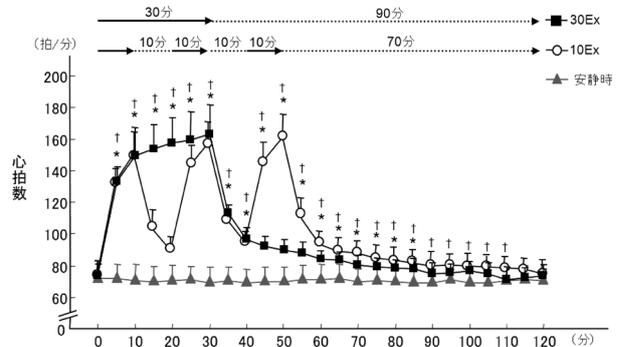


図3. 心拍数の経時的变化
平均値 ± 標準偏差, *運動前 vs. 30Ex ($p < 0.05$),
†運動前 vs. 10Ex ($p < 0.05$)
30Ex: 30分間の連続的有酸素運動
10Ex: 10分間3セット(10分休息)の間欠的有酸素運動

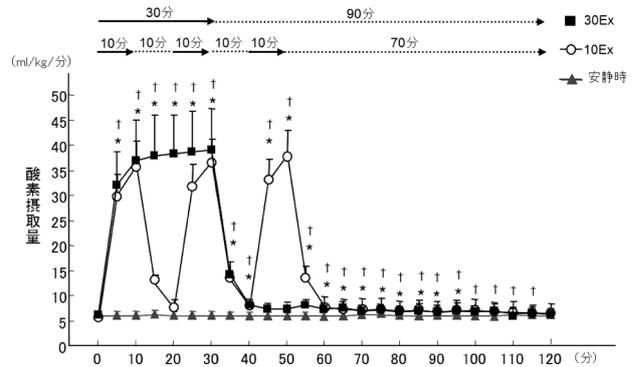


図4. 酸素摂取量の経時的变化
平均値 ± 標準偏差, *運動前 vs. 30Ex ($p < 0.05$),
†運動前 vs. 10Ex ($p < 0.05$)
30Ex: 30分間の連続的有酸素運動
10Ex: 10分間3セット(10分休息)の間欠的有酸素運動

し ($p < 0.05$), 10Ex では運動開始から運動後 60 分の時点まで有意に高値を示した ($p < 0.05$).

4. 酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) の経時的变化と安静時および運動条件間の比較

運動中における平均 $\dot{V}O_2$ を表 2 に示した. 30Ex では 37.1 ± 7.7 ml/kg/分, 10Ex では 34.8 ± 4.5 ml/kg/分であり, 運動条件の間で有意な差はみられなかった. また, 経時的变化を図 4 に示した. 安静時と比べ, 30Ex では, 運動開始から運動後 65 分の時点まで有意に高値を示し ($p < 0.05$), 10Ex においても運動開始から運動後 65 分の時点まで有意に高値を示した ($p < 0.05$). 30Ex では 65 分間の EPOC が観察され, 10Ex は運動間の休息时间を含めると 85 分間の EPOC が観察された.

5. 運動中および運動後 (休息時) の総酸素摂取量 (総 $\dot{V}O_2$), 総エネルギー消費量 (総 EE), 運動後過剰酸素消費量 (EPOC) における運動条件間の比較

運動中および運動後 (休息時) の総 $\dot{V}O_2$, 総 EE, EPOC における運動条件間の比較を表 2 に示した. 運動中における総 $\dot{V}O_2$ は, 30Ex では 71.1 ± 13.4 L, 10Ex では 66.5 ± 7.9 L であり, 運動中の総 EE は, 30Ex では 354.8 ± 67.2 kcal, 10Ex では 331.1 ± 39.3 kcal であった. いずれの項目においても両運動条件の間に有意な差はみられなかった. 一方, 運動後 (休息時) の総 $\dot{V}O_2$ は, 30Ex では 42.5 ± 6.8 L, 10Ex では 49.3 ± 4.1 L であり, 運動後の総 EE は, 30Ex では 202.0 ± 31.7 kcal, 10Ex では 239.0 ± 19.9 kcal であった. いずれの項目において 30Ex より 10Ex の方が有意に高値を示した ($p < 0.05$). また, EPOC においても, 30Ex (9.0 ± 5.9 L) と比べ, 10Ex (17.2 ± 4.3 L) で有意に高値を示した ($p < 0.05$).

IV. 考 察

本研究では, 比較的低強度の有酸素運動を採用し, 休憩を入れずに 30 分間連続で行った場合と 2 回の休憩を挟んで 10 分ずつ 3 回行った場合について, 運動中および運動後の酸素摂取動態と生理的応答について検討した. これまで, 運動中に休憩を挿入することが運動中および運動後の酸素摂取動態に与える影響について検討した報告は少ない. 田中ら⁹⁾は, 150% $\dot{V}O_{2max}$ での間欠的な運動をした場合と 105% $\dot{V}O_{2max}$ で連続的な運動を行った場合を比較した結果, 総 $\dot{V}O_2$ は両運動条件間に有意な差はみられなかったものの, 運動後の回復期における総 $\dot{V}O_2$ と EPOC はともに 150% $\dot{V}O_{2max}$ の間欠的な運動において多大であったと報告した. この成績は, 運動中に休憩を挿入することによって, 運動後の $\dot{V}O_2$ および EPOC が亢進する可能性を示唆するものである. しかし, 上記の運動条件では

運動強度が異なるため, 運動後の $\dot{V}O_2$ および EPOC の亢進が休息によるものか運動強度によるものかは不明である. また, 運動強度が極端に高いことから, 低体力者や肥満者などに対する運動処方としては施行困難である. そこで, 本研究では実際に多くの対象者が実施しえる運動強度である 60% $\dot{V}O_{2max}$ の有酸素運動を採用して検討したところ, 定期的な運動習慣のない被験対象にもかかわらず, 平均 HR が, 30Ex では 152 拍/分, 10Ex では 149 拍/分で 30 分の運動を疲労困憊することなく実施することができた. とくに, 運動中の RPE は両運動条件ともに「ややきつい」(RPE: 13~14) という程度であり, 低体力者や肥満者の運動処方に採用しうる運動強度であったと考えられる.

さて, 本研究で採用した運動条件では, 運動中の $\dot{V}O_2$ および EE のいずれも 30Ex と 10Ex の間に有意な差は認められなかった. したがって休憩を挿入した間欠的な運動でも, 運動強度と運動時間を一致させれば連続的な運動と同等の $\dot{V}O_2$ および EE を得られることが確認された. Goto らの研究¹¹⁾によれば, 60% $\dot{V}O_{2peak}$ のペダル運動を 60 分間実施し, 休息なしで運動を行う連続法と休憩を挟んで行う分割法を比較した結果, 運動中の酸素摂取量は両運動法間に有意な差は認められなかったという. また, 連続法では運動中の血中アドレナリン, ノルアドレナリン, 成長ホルモン, 遊離脂肪酸およびグリセロール濃度が増加し, インスリン濃度の低下が認められた. 一方, 分割法では, 20 分間の休憩中に遊離脂肪酸およびケトン体濃度が急激に増加し, グルコースおよびインスリン濃度の低下が認められたが, 運動中の酸素摂取量およびエネルギー供給に対する脂質の貢献度には, 連続法と分割法の間で有意な差は認められなかったことを報告した. 本研究で採用した運動時間は 30 分という短時間であったにもかかわらず, 運動中の $\dot{V}O_2$ および EE の動態については, より長時間の運動条件を設定した先行研究^{9,11)}と同様の成績が得られたことは興味深い. すなわち, 日常生活のなかで 60% $\dot{V}O_{2max}$ の運動を 30 分間間欠的に実施することは多くの人々にとって決して無理ではないことから, 今後, 一般のフィールドでより多くの人々を対象に実施しやすい運動処方を確立する上で活用しうる一つの基準として考えることができよう.

次に, 運動後の $\dot{V}O_2$ および EE, EPOC の成績をみると, いずれも 30Ex に比べ 10Ex の運動条件の方が有意に高値を示した. 運動を行うことにより $\dot{V}O_2$ は増加し, その増加は運動後も一定時間持続する¹⁷⁾が, この EPOC は運動の種類, 運動強度, 運動時間および運動量の違いによって持続時間が異なり, さらに, 性別, 身体組成, 食事なども EPOC に影響を及ぼす要因とし

て考えられている¹⁸⁾。なかでも、運動後の $\dot{V}O_2$ およびEEに影響を及ぼす大きな要因は運動強度と運動時間であることがよく知られている^{19,20)}。運動強度がEPOCに及ぼす影響について検討した先行研究をみると、 $\dot{V}O_{2max}$ の29%, 50%, 70%の強度で80分間の運動をさせた場合、運動強度が高いほどEPOCが高いことが報告されている²¹⁾。また、女性を対象とした内田らの研究²²⁾では、 $\dot{V}O_{2max}$ の40%, 50%, 70%の強度で30分間の運動をさせたところ同様な成績が得られたという。しかしながら、 $\dot{V}O_{2max}$ の60%, 70%の運動強度の運動条件で比較すると、運動強度に大きな差がないためEPOCにも有意な差はみられなかったと述べている²³⁾。一方、運動時間とEPOCの関係を検討した先行研究では、70% $\dot{V}O_{2max}$ の運動を20分、40分、60分間行ったところ、60分間実施した後のEPOCが他の運動条件よりも有意に高値を示したという²⁴⁾。しかし、70% $\dot{V}O_{2max}$ の運動を60分間継続することは、低体力者や高齢者、肥満者などにとってはほとんど施行困難な運動条件であり、危険も伴う。そこで、より多くの人々が実際に実施可能なより低強度の運動に休息を挟んだ運動条件下でのEPOCの有無とその程度について明らかにすることが求められてきた。このような背景から、本研究では60% $\dot{V}O_{2max}$ の運動を採用し、さらに2条件における運動量が同一になるよう設定し、運動条件以外の要因による影響を極力排除した条件下で運動中および運動後の $\dot{V}O_2$, EEを比較したところ、休息を挟みながら間欠的に運動を行った10Exの方でEPOCが高値を示した点は興味深い。低体力者、高齢者や肥満者などでは間欠的な運動条件のほうが導入しやすいにもかかわらず、長期間継続すればより多大な体脂肪燃焼を得られる可能性が示唆されるからである。また、間欠的な有酸素運動において運動中のホルモンの分泌動態²⁵⁾や脂質分解²⁶⁾との関連性についてはこれまでに指摘されており、これは運動中に休憩を挟み、複数に分割することにより脂質代謝に対するより一層の効果が得られる可能性を示唆するものである。これらの研究成果は、本研究の10Exの運動時および運動後におけるEPOCやEEに対する研究成果を裏づける一つの要因であるものの、運動時の休憩の導入に伴うEPOCや脂質代謝亢進の生理学的機序の詳細に関しては不明な点が多く、より体系的な研究が必要であろう。

本研究では、休息を挟みながら間欠的に有酸素運動を行っても、運動強度と運動時間の合計が同一であれば連続的に運動した場合と同等のEEが得られ、運動終了後はより多大なEPOCの得られることが確認された。しかしながら、休息を挟みながら間欠的に運動を行った場合に、同じ運動量の運動を持続的に行った

場合よりも、運動後により多大なEPOCがみられることの詳細な生理学的機序は明らかではなく、今後の研究課題である。今後、効果的な運動強度、運動時間と休息時間の適切なバランスなどが明らかにされれば、運動習慣のない対象者、低体力者、高齢者や肥満者など長時間運動を持続することが難しい対象者に対しても導入しやすかつ効果を期待しうる運動処方の一つになりうると思われる。

V. 結 論

運動習慣のない健康な若年男性を対象に、自転車エルゴメーターを用いて、60% $\dot{V}O_{2max}$ の運動強度で30分間連続して行った場合(30Ex)と、10分運動-10分休息を3セット行った場合(10Ex)の2つの運動条件下で、運動中および運動後の酸素摂取動態を比較・検討した。運動中の平均HR、平均 $\dot{V}O_2$ 、総 $\dot{V}O_2$ 、エネルギー消費量(EE)は両条件間に有意な差は認められなかったが、運動後の総 $\dot{V}O_2$ 、EE、運動後過剰酸素消費(EPOC)は30Exと比べて10Exの方が有意に高値を示した($p < 0.05$)。すなわち、休息時間を挟みながら間欠的に有酸素運動を行っても、運動強度と運動時間の合計が同一であれば連続的に運動した場合と同等の $\dot{V}O_2$ およびEEが得られ、運動終了後はより多大なEPOCの得られることが明らかになった。今後、効果的な運動強度、運動時間と休憩時間の適切なバランスなどが明らかにされれば、肥満者や低体力者など長時間運動を持続することが難しい対象者に対しても導入しやすかつ効果を期待しうる運動処方の一つになりうると思われる。

参考文献

- 1) Bahr R, Høstmark AT, Newsholme EA, Grønnerød O, and Sejersted OM (1991) Effects of exercise on recovery changes in plasma levels of FFA, glycerol, glucose and catecholamines. *Acta. Physiol. Scand.*, **143**: 105-115.
- 2) Pescatello LS, Franklin BA, Fagard R, Farquhar WB, Kelley GA, and Ray CA (2004) American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **36**: 533-553.
- 3) Blair SN, Kohl HW 3rd, Barlow CE, Paffenbarger RS Jr, Gibbons LW, and Macera CA (1995) Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *JAMA*, **273**: 1093-1098.
- 4) Blair SN, Kohl HW 3rd, Paffenbarger RS Jr, Clark DG, Cooper KH, and Gibbons LW (1989) Physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy men and women. *JAMA*, **262**: 2395-2401.
- 5) Sesso HD, Paffenbarger RS Jr, Lee IM (2000) Physical activity and coronary heart disease in men: The Harvard Alumni Health Study. *Circulation*, **102**: 975-980.

- 6) Pate RR, Pratt M, Blair SN, Haskell WL, Macera CA, Bouchard C, Buchner D, Ettinger W, Heath GW, and King AC (1995) Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA*, **273**: 402-407.
- 7) Saris WH, Blair SN, van Baak MA, Eaton SB, Davies PS, Di Pietro L, Fogelholm M, Rissanen A, Schoeller D, Swinburn B, Tremblay A, Westerterp KR, and Wyatt H (2003) How much physical activity is enough to prevent unhealthy weight gain? Outcome of the IASO 1st Stock Conference and consensus statement. *Obes. Rev.*, **4**: 101-114.
- 8) Physical Activity and Health (1996) A report of the Surgeon General. Washington, DC: United States Department of Health and Human Services.
- 9) 田中純也・渋谷顕一・大柿哲朗 (2005) 2種類の超最大運動後の酸素消費量の比較. 体力科学, **54**: 133-142.
- 10) Laforgir JR, Withers NJ, and Gore CJ (1997) Comparison of energy expenditure elevations after submaximal and supramaximal running. *J. Appl. Physiol.*, **82**: 661-666.
- 11) Goto K, Ishii N, Mizuno A, and Takamatsu K (2007) Enhancement of fat metabolism by repeated bouts of moderate endurance exercise. *J. Appl. Physiol.*, **102**: 2158-2164.
- 12) 後藤一成・内田 直・石井直方・田中喜代次・高松 薫 (2009) 休憩を挟みながら間欠的に行う有酸素運動に対する脂質代謝応答. 日本体育学会, **60**: 130.
- 13) Borg GA (1973) Perceived exertion: a note on "history" and methods. *Med Sci Sports Exerc.*, **5**: 90-93.
- 14) American College of Sports Medicine (2006) ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription (Seventh edition). Lippincott Williams & Willins, Philadelphia, 93-114.
- 15) Elia M and Livesey G (1988) Theory and validity of indirect calorimetry during net lipid synthesis. *Am. J. Clin. Nutr.*, **47**: 591-607.
- 16) Bahr R and Sejersted OM (1991) Effect of feeding and fasting on excess postexercise oxygen consumption. *J. Appl. Physiol.*, **71**: 2088-2093.
- 17) Gaesser GA and Brooks GA (1984) Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, **16**: 29-43.
- 18) Laforgia J, Withers RT, and Gore CJ (2006) Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *J. Sports. Sci.*, **24**: 1247-1264.
- 19) Thornton MK and Potteiger JA (2002) Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, **34**: 715-722.
- 20) Kang J, Hoffman JR, Im J, Spiering BA, Ratamess NA, Rundell KW, Nioka S, Cooper J, and Chance B (2005) Evaluation of physiological responses during recovery following three resistance exercise program. *J. Strength. Cond. Res.*, **19**: 305-309.
- 21) Bahr R and Sejersted OM (1991) Effect of intensity of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Metabolism*, **40**: 836-841.
- 22) 内田和弘・今村裕行・宮本徳子 (1999) 運動強度が女性の運動後余剰酸素消費量 (EPOC) に及ぼす影響. 日本栄養・食糧学会誌, **31**: 129-134.
- 23) Maresh CM, Abraham A, and De Souza MJ (1989) Oxygen consumption following exercise of moderate intensity and duration. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **65**: 421-426.
- 24) Quinn TJ, Vroman NB, and Kertzer R (1994) Postexercise oxygen consumption in trained females: Effect of exercise duration. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, **26**: 908-913.
- 25) Ronsen O, Jens KK, Egil H, Roald B, and Bente KP (2002) Recovery time affects immunoendocrine responses to a second bout of endurance exercise. *Am. J. Physiol. Cell. Physiol.*, **283**: C1612-C1620.
- 26) Stich V, Berlan M, Bulow J, Galitzky J, Harant H, Suljkovicova H, Lafontan M, Riviere D, and Crampes F (2000) Adipose tissue lipolysis is increased during a repeated bout of aerobic exercise. *J. Appl. Physiol.*, **88**: 1277-1283.

〈連絡先〉

著者名：韓 一栄

住 所：〒158-8508 東京都世田谷区深沢 7-1-1

所 属：日本体育大学大学院体育科学研究科健康科学・スポーツ医科学系

E-mail アドレス：han@nittai.ac.jp