

昼食のエネルギー制限が脂質代謝及び作業効率に及ぼす影響

鷲塚 愛*1・宮城 舜*1・田井村明博*2

THE EFFECT OF ENERGY RESTRICTION IN LUNCH ON LIPID METABOLISM AND TASK PERFORMANCE

Ai WASHIZUKA, Shun MIYAGI, Akihiro TAIMURA

Abstract

This study examined the effect of energy restriction in lunch on lipid metabolism and task performance when the activities simulated the daily life at physical activity level II are performed under 3 conditions; Intake (intake lunch of the normal calories), Half (intake lunch of the half calories), and Skip (skip lunch). In results, it was revealed that energy control of lunch increases fat oxidation rate in inverse ratio to amount of lunch without lowering task performance. Appetite sensations also change according to amount of lunch and feeling of hunger stayed at significantly lower level compared to Skip for about 3 and half hours after energy controlled lunch. These results indicate the possibility that energy control of lunch reduces body fat during daily activities and improves deteriorated heat tolerance.

キーワード: 脂質代謝, 昼食, エネルギー摂取制限, 精神作業効率

Key words: *Lipid metabolism, Lunch, Energy intake restriction, Mental task performance*

1. 緒 言

現在地球温暖化がますます深刻化し¹⁾、それに伴いエアコン使用率が増加している²⁾。また同時に肥満も問題として大きく取り上げられ、様々な肥満対策がなされているが、男性30.3%、女性21.5%と肥満者の割合は横ばいである³⁾。肥満は断熱効果のある白色脂肪細胞が過剰に蓄積した状態であり、暑熱耐性の低下を招くと考えられ^{4),5)}、それにより自律性の体温調節が効率的に行なわれず、結果として行動性の体温調節が増え、エアコン使用頻度の増加や、エアコン設定温度の低下等を招くことが予想される。独立行政法人日本スポーツ振興センターは、学校の管理下の熱中症死亡事故は、7割以上が肥満傾向の人である⁶⁾と報告しており、肥満が暑熱耐性を低下させる大きな要因であることが伺える。

肥満を解消するためには、当然体脂肪の減量が必要

となるが、特に肥満率の増加する30代以降³⁾は運動に割く時間を確保するのが比較的困難であるため、日常生活での効率的な減量法の検討は重要な試みであると言える。一般的に、空腹時には脂肪燃焼の割合が増加することが知られ⁷⁾、空腹状態での持続運動により脂肪燃焼経路である β 酸化活性を強化し、脂肪燃焼利用率を増加させることができる⁷⁾。低強度の運動は、脂質代謝を亢進することが知られ^{8),9)}、低強度の断続運動においても脂質代謝亢進という点で継続運動と同等の効果が得られるとの報告もある¹⁰⁾。特に非鍛錬者においては低強度の断続運動が体重管理の上で効果的な方法となるとする研究もある¹¹⁾。しかしながら朝食においては、欠食が時計遺伝子の乱れを引き起こし肥満の原因となるとされる¹²⁾。一方昼食においては、欠食による時計遺伝子のずれは比較的小さいことが報告されているが¹²⁾、昼食欠食・制限時における脂質代謝に関する研究例はほとんど見られない。しかし、一般的身体活動レベルであるレベルII¹³⁾における昼間の活動は、脂質代謝に好ましい影響を与えるとされる低強度で断続的な運動に主に相当し、さらに昼間は活動量の増加に伴い消費エネルギーも増加することから、昼間における空腹状態での活動により効率よく脂肪を燃焼させることができると考えられる。

この仮定に基づき、昼食欠食が脂質代謝へ及ぼす影

*1長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科環境保全設計学専攻

Department of Environmental Conservation and Planning, Graduate School of Fisheries Science and Environmental Studies, Nagasaki University

*2長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科

Graduate School of Fisheries Science and Environmental Studies, Nagasaki University

響を検討した結果、摂食時と比較し欠食時に脂質酸化の割合が有意に増加することが明らかとなった¹⁴⁾が、昼食のエネルギー制限時、及び制限による作業効率への影響は検討されていない。食後、摂取した糖は細胞に送られてエネルギーとして利用されたり、肝臓や筋肉のグリコーゲンとして、または脂肪へ変換されて蓄積されたりするが、その脂肪への蓄積は、肝臓のグリコーゲンが飽和状態になった後開始するのではなく、両者が同時に進行し、摂取グルコース重量の28%が脂肪として蓄積されると言われている⁷⁾。このことは、食事量を制限した場合、食事量に伴ってグリコーゲンの蓄積と同時に脂肪の蓄積も減少すること、また、グリコーゲンの蓄積が少ないことで、エネルギー源としての脂肪の利用が増加することを意味している。つまり、食事制限により、脂肪蓄積の抑制と脂肪の燃焼が同時に亢進する可能性が考えられる。

作業効率については、オレキシン神経系がエネルギーバランスによって覚醒のレベルを制御していることが明らかにされており¹⁵⁾、食後満腹時には眠気を誘発し、作業効率の低下を招くことが予想される。一方空腹時においては、覚醒レベルを上昇させることが明らかにされており¹⁵⁾、さらに、空腹時には学習記憶や長期記憶が向上するとの報告^{16),17)}もあることから、食事制限により作業効率が向上する可能性も考えられる。本研究では、昼食の通常量摂取 (Intake)、半分量摂取 (Half)、欠食 (Skip) の条件で、一般的なレベルである身体活動レベルⅡの日常生活を想定した活動を行なうことによって、昼食のエネルギー制限が脂質代謝及び作業効率へ及ぼす影響を検討する。

2. 方法

2-1 対象者

被験者は事前アンケートによって身体活動レベルがⅡに該当した20代の男性8名(年齢: 22.9 ± 1.36 歳, 身長: 169.0 ± 4.6 cm, 体重: 60.6 ± 3.3 kg, BMI: 21.3 ± 1.2)とした(平均 \pm 標準偏差)。被験者には事前に実験の詳細を書面と口頭で説明した後、実験への参加の同意を署名にて得た上で実験を行なった。

2-2 運動強度

自転車エルゴメーター(エアロバイク75XL, Combi社製)を用いて実験日の1日以上前に体力テストを実施し、個人毎に運動時の負荷値を算出した。強度は、低強度運動で2.5METs、中強度運動で4.5METsとし、酸素摂取量に換算するとMETs = 酸素摂取量 / 安静時の酸素摂取量 (3.5 ml/kg/min) より、それぞれ8.75 ml/kg/min、15.75 ml/kg/minとなる。

2-3 実験スケジュール

被験者一人につき昼食の通常量摂取 (Intake)、半分量摂取 (Half)、欠食 (Skip) の3条件を、クロスオーバー比較実験で連続しない3日間ランダムに行なった。実験は1日以上間隔を開け、1~3週間の期間で行った。実験前日及び当日はTable 1のスケジュールに従って生活してもらい、実験当日の朝食及び昼食には規定食を提供し摂取させた。実験前日は、3日間で行えるだけ同じ内容の夕食摂取を指示し、飲酒と激しい運動を禁止した。水分に関しては、前日の夕食後から当日の朝食時までは摂取を避け、当日は500ml ペットボトルのミネラルウォーターを朝食時から昼食時までに摂取させた。

2-4 規定食

厚生労働省の定めた2010年日本人の食事摂取基準¹³⁾に記載される、身体活動レベルⅡにおける18歳から29歳の男性(体重: 63kg, BMI: 22)の一日の推定エネルギー必要量 (2,650kcal/day) と、各食事の奨励される摂取割合(朝食: 昼食: 夕食 = 25% : 37.5% : 37.5%)¹⁸⁾を参考に設定した(Table 2)。本研究では、Halfのエネルギー量及び栄養成分を正確にIntakeの半分量にするため、栄養調整食品(カロリーメイト、大塚製薬)を規定食とした。

2-5 実験プロトコル

実験は室温25℃、相対湿度55%に設定された人工気象室内で行なわれた。被験者は12:50に人工気象室前に集合し、半袖短パンに着替えて13:00までに入室

Table 1 Time schedule of experiment

	Intake	Half	Skip
~19:00	Dinner		
8:10~8:30	Breakfast		
10:40~11:00	Lunch	Lunch (half)	-
13:00	Preparation, Explanation		
13:30	The beginning of measurement		
15:00	The end of measurement		

Table 2 Meal contents

Breakfast	Lunch box	Calorific value: 669 kcal Carbohydrate: 88.2 g Fat: 25.3 g Protein: 18.2 g
Lunch	Calorimate (Block \times 6 Drink \times 2)	Calorific value: 1000 kcal Carbohydrate: 122.45 g Fat: 42.7 g Protein: 27.35 g
Lunch (half)	Calorimate (Block \times 3 Drink \times 1)	Calorific value: 500 kcal Carbohydrate: 61.225 g Fat: 21.35 g Protein: 13.675 g

した。入室後、VAS (Visual Analogue Scales) を用いて食欲感覚を記入させた。実験開始の20分前までにマスクを装着し、3分解答 + 1分休憩 + 3分解答から構成される短縮版のクレペリン検査を実施した後、13:30から呼気分析を開始した。実験は Fig.1 に示す合計91分間の実験プロトコルに従って行われ、安静時10分の後、低強度運動4分、中強度運動1分、安静12分のセットを3回繰り返した後、安静30分を保持して実験を終了した。安静は座位の状態では読書を許可し、運動開始の20秒前にエルゴメーターに移動を開始した。また食欲感覚は測定開始前に加えて、各サイクルの安静開始から1分後と実験終了の1分前の計5回、クレペリン検査は、測定開始前に加えて、2サイクル目の安静開始から4分後と実験終了の9分前の計3回行った。なお、本研究の実験プロトコルは、日本人の食事摂取基準¹³⁾に記載される、身体活動レベルIIの活動内容と活動時間の代表例を参考に設定した。

2-6 測定項目、測定方法

1) 酸素摂取量 (VO₂)、二酸化炭素排出量 (VCO₂)、及び心拍数

呼吸代謝測定装置 (Vmax29c、日本光電社製) を用い breath by breath 法により測定した。1分間の平均値を以下の式¹⁹⁾ に代入することで1分間における脂質酸化量を算出し、さらに91分間の実験全体を通した総脂質酸化量を算出した。

$$\text{Fat oxidation rate (g/min)} = 1.67 \text{ VO}_2 \text{ (L/min)} - 1.67 \text{ VCO}_2 \text{ (L/min)}$$

測定の精度に関しては、事前に Vmax の点検及び校正を行い、校正時の精度はフローセンサによる呼吸・吸気の流速 ± 3% または ± 50ml 以内、O₂、CO₂アナライザによる呼吸・吸気中の O₂ 及び CO₂ 濃度 ± 0.03% 以内であった。

2) 食欲感覚

本研究では永井ら²⁰⁾ が作成した空腹感 (どれくらい空腹ですか)、満腹感 (どれくらい満腹ですか)、予想食量 (今食事を摂るとすると、どれくらい食べられると思いますか)、満足度 (食事や食べ物に関して

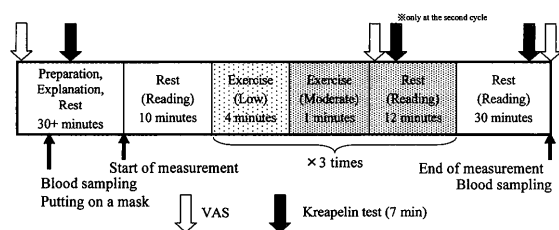


Fig.1 Experimental protocol

どのくらい満足感がありますか) の4項目から構成される食欲に関する質問紙 (Visual Analog Scale: VAS) を用いた。VAS は、①質問、②100mm の線、③その左右に最小・最大を表す回答をひとつの単位として、それらがいくつか集まった形で構成される質問紙であり、被験者は食欲感覚を自分の感覚と一致するよう線上に×印をつけ、左から交差点までの長さを食欲感覚としてスコア化する。スコアが高いほど、その食欲感覚が強いことを示す。

3) 作業効率

作業効率の評価には短縮版のクレペリン検査を用いた。これは、隣り合う数字を加算し、1桁の数字を答えとして記入していく作業を1分ごとに行を変えて解答していくもので、15分間の解答、5分間の休憩、15分間の解答で構成されるものであるが、本研究では2サイクル目の安静時間内にも行なうため、時間を5分の1に短縮したものをを用いた (3分間の解答、1分間の休憩、3分間の解答)。また、本研究では作業効率だけに着目し、セットごとの解答数と正答率のみを測定項目とした。

2-7 分析方法

結果は全て平均値 ± 標準偏差で示した。条件間における METs (91分間及び運動時)、HR (91分間)、91分間の総消費エネルギー量 (EE)、食欲感覚 (4項目)、クレペリン検査 (解答数、正答率)、脂質酸化量 (91分間及びサイクル毎) の平均値の差の検定には対応のある二元配置分散分析を用い、交互作用が認められなかった場合は対応のある一元配置分散分析を行った。その後有意な主効果が認められた場合には、Tukey 法を用いて多重比較を行なった。本研究ではいずれも $P < 0.05$ を有意とした。

3. 結果

3-1 METs

実験全体を通した METs の平均値は Intake で 1.64 ± 0.11 、Half で 1.56 ± 0.12 、Skip で 1.47 ± 0.15 であり、Skip が Intake 及び Half に比べ有意に低かった ($P < 0.05$)。低強度運動時の METs の平均値は、Intake で 2.74 ± 0.26 、Half で 2.59 ± 0.26 、Skip で 2.51 ± 0.19 であり、条件間に有意差は認められなかった。中強度運動時の METs の平均値は Intake で 3.78 ± 0.40 、Half で 3.64 ± 0.42 、Skip で 3.59 ± 0.30 であり、条件間に有意差は認められなかった (Fig.2)。

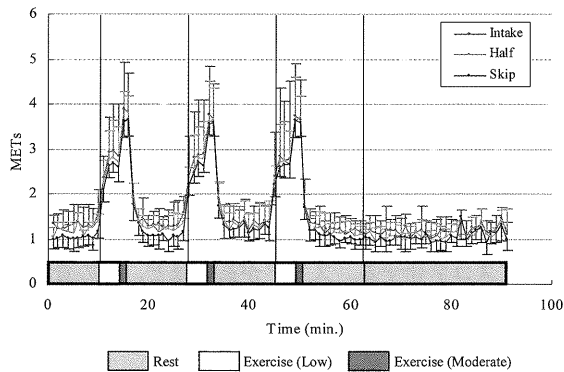


Fig.2 Changes of METs

3-2 HR

実験全体を通した平均心拍数は、Intake 80.9 ± 7.8 bpm、Half 77.2 ± 11.3 bpm、Skip 78.7 ± 9.1 bpmであり、条件間に有意差は認められなかった。

3-3 Energy expenditure

実験全体を通した総エネルギー消費量は、Intakeで 2.62 ± 0.18 kcal/kg、Halfで 2.48 ± 0.18 kcal/kg、Skipで 2.30 ± 0.19 kcal/kgであり、条件間に有意差は認められなかった。

3-4 Fat oxidation rate

実験全体を通した総脂質酸化量は、Skip (6.78 ± 1.09 g)が Intake (3.83 ± 1.38 g)及び Half (5.05 ± 1.24 g)と比較し有意に高い値を示した ($P < 0.05$) (Fig.3)。活動前後と活動中に分けてみると、3サイクルを通して Skipが Half及び Intakeより有意に高く推移したが ($P < 0.05$)、活動後においては Halfとの間には有意差は認められなくなった (Fig.4)。また、活動前安静時に比べて3サイクルを通した活動中の脂質酸化量は、Intakeでは 0.9×10^3 g/min 低下し、Halfでは 10.7×10^3 g/min の増加、Skipでは 21.1×10^3 g/min の増加であった。

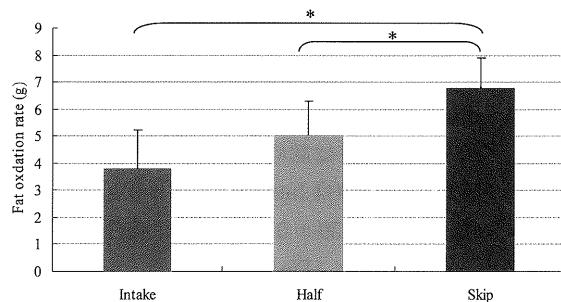


Fig.3 Mean of total fat oxidation rate during experiments, *: $P < 0.05$

3-5 VAS

1) 空腹感

実験前から3サイクル目まで常に全ての条件間で有意差が認められ、Halfが他2条件の中間を推移した ($P < 0.05$)。実験後には Halfと Skipの間の有意差は認められず、Skip及び Halfが Intakeより有意に高い値となった ($P < 0.05$) (Fig.5)。

2) 満腹感

実験前では Intake及び Halfが Skipより有意に高い値となり、1サイクル目では3条件間全てで有意差が認められ、Halfは中間に位置した。2サイクル目以降は Intakeが Half及び Skipより有意に高い値となった ($P < 0.05$)。

3) 予想食事量

空腹感の結果と同様、実験前から3サイクル目まで、全ての条件間で有意差が認められ、Halfが他2条件の中間を推移した ($P < 0.05$)。実験後には Halfと Skipの間の有意差は認められず、Skip及び Halfが Intakeより有意に高い値となった ($P < 0.05$)。

4) 満足感

実験前では Intakeが Half及び Skipより有意に高い値となり、1及び2サイクル目では3条件間全てで有意差が認められ、Halfは中間に位置した。3サイクル

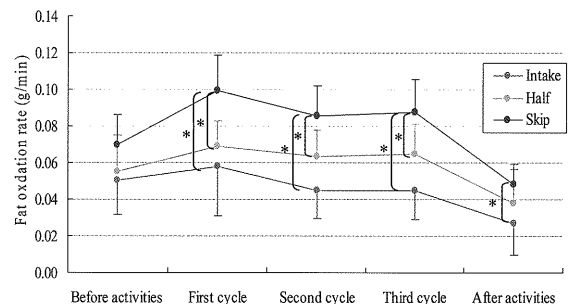


Fig.4 Changes of the mean fat oxidation rate by the phase, *: $P < 0.05$,

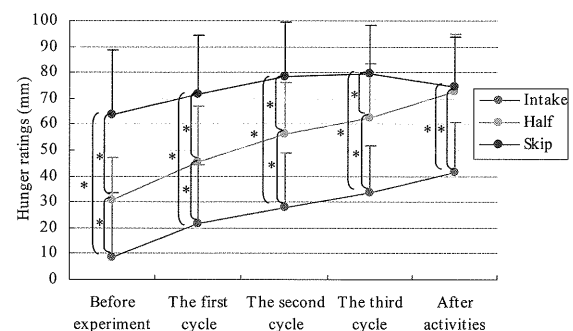


Fig.5 Mean of hunger ratings by visual analogue scale, *: $P < 0.05$

目以降は再び Intake が Half 及び Skip より有意に高い値となった ($P < 0.05$)。

3-6 Kreapelin

クレペリン検査の3回分の平均解答数は Intake で 379 ± 17 問、Half で 389 ± 7 問、Skip で 389 ± 13 問で、条件間に有意差は認められなかった。

正答率についても、Intake で $99.51 \pm 0.12\%$ 、Half で $99.48 \pm 0.05\%$ 、Skip で $99.61 \pm 0.03\%$ であり、同じく有意差は認められなかった。

4. 考 察

4-1 METs、消費エネルギー、脂質酸化量

本研究では昼食のエネルギー制限によって、脂質代謝及び作業効率にどのような影響を及ぼすか検討した。まず METs については、Intake では低強度 2.74 中強度 3.78、Half では低強度 2.59 中強度 3.64、Skip では低強度 2.51 中強度 3.59 であった (Fig.2)。中強度運動では、設定した 4.5 METs より 3 条件ともやや低い値となったが、これは運動時間が 1 分間と短時間であったために酸素摂取量の増加に遅れが生じたためと考えられる。いずれの条件においても日本人の食事摂取基準にある低強度の活動 2.0~2.9 METs、中強度の活動 3.0~5.9 METs の範囲に収まっていたため、身体活動レベル II の日常生活活動を再現できていたと考えられる。しかしながら、実験 91 分間を通した Skip の METs 平均値が他の 2 条件よりも有意に低い値となったことから、Intake 及び Half は昼食摂取による食事誘発性熱産生 (DIT) の影響を受けていたと考えられる。DIT は食後 2~3 時間後に代謝がもっとも亢進する現象²¹⁾ であるが、本研究では昼食の摂取から実験開始~実験終了まで 2 時間半~4 時間経過していたため、実験中に昼食摂取による消化管活動や肝臓の代謝が亢進していたものと思われる。

心拍数においても条件間で有意差は認められなかったものの Intake (80.9 ± 7.8 bpm)、Skip (78.7 ± 9.1 bpm)、Half (77.2 ± 11.3 bpm) と、Intake がわずかながら高かった。実験全体の総消費エネルギーを見てみても、心拍数と同じく Intake (2.62 ± 0.18 kcal/kg)、Half (2.48 ± 0.18 kcal/kg)、Skip (2.30 ± 0.19 kcal/kg) と、Intake が最も高い値となったことから、Intake、Half は DIT の影響を受け、代謝が亢進していたことが伺える。

一方実験全体を通した全脂質酸化量においては、Skip (6.78 ± 1.09 g) が Intake (3.83 ± 1.38 g) 及び Half (5.05 ± 1.24 g) と比較し、有意に高い値となった (Fig.3)。これは Skip においてグリコーゲンが枯渇したために、骨格筋 AMPK 活性が上がったこと、血中

遊離脂肪酸の増加によって骨格筋内 UCP3 が活性化したことが、結果として脂質酸化を増進したと考えられる。体脂肪を減少させる目的では、空腹時の血糖値の低下した状態での運動が効果的であると考えられており、以下の 3 点が理由として挙げられる⁷⁾。①脂肪細胞のホルモン感受性リパーゼを含む脂肪分解系が活性化される、②筋肉の脂肪酸の β 酸化およびケトン体の酸化活性が適応的に増強する、③筋肉内のグリコーゲンが枯渇すると、運動後にグリコーゲン合成が活性化され、そのグリコーゲンの合成に必要な ATP は主として脂肪の燃焼によって補給される。本研究で行った活動の強度で、これらの反応がどの程度活性化されたかは不明である。しかしながら活動前と活動時の脂質代謝を比較すると、Skip の増加量は他の 2 条件を上回っていた (Fig.4) ことから、日常生活活動の中でも上記のような反応が活性化され、脂質の β 酸化活性を強化させる可能性が示唆される。

一方 Half においては、総脂質酸化量の値が Skip より有意に低い値となったものの、Intake と Skip の中間に位置するという結果になった。富岡ら²²⁾ は、朝食前とスナック摂取後の 60 分間の低強度運動時において、RQ 及び消費エネルギーは実験を通して条件間に有意差が認められなかったと報告しており、食事制限時でも空腹時に匹敵する脂質酸化量が得られる可能性を示唆している。しかし富岡らはスナック条件において食後すぐに運動を行っていたことから摂取した食物が十分に消化吸収されていなかった可能性があるため、本研究のように昼食摂取 2 時間半後から活動を開始した場合においては不明である。一方 David ら²³⁾ は、約 200 kcal の代替食の摂取によって、間食を許可していたにも関わらず減少したカロリーを埋め合わせるだけの食事摂取は見られず、通常量の昼食よりも 1 日の摂取カロリーが 250 kcal 減少し、結果的に有意に体重が減少したと報告している。坂戸ら²⁴⁾ の報告においても、1 食を低エネルギー量に固定化した減量プログラムの有効性を示しており、昼食のエネルギー制限が脂質代謝を亢進させ体脂肪を減少させる可能性を支持している。また Xavier ら¹¹⁾ は長い安静を挟んだ低強度で短時間の持続的運動が、特に非鍛錬者における機能的なトレーニング法としての可能性と、体重管理の上で重要なツールとなる可能性が示唆されたと報告している。さらに宮下ら²⁵⁾ は、断続的な身体活動を実施することで、連続的な身体活動と比較し、1 日の脂質酸化量が増加すること、連続的な低強度活動時間を少なくすることが 1 日の脂質酸化量増加に寄与することを明らかにし、1 日の多くを占める断続的な活動である生活活動などの肥満予防に対する重要性を示唆していると報告している。Xavier ら¹¹⁾、宮下ら²⁵⁾ の報告では、

運動だけでなく日常生活活動も体脂肪減少に十分貢献できることを示唆しており、上記の富岡ら²²⁾、Davidら²³⁾、坂戸ら²⁴⁾の報告と合わせると、昼食のエネルギーを制限した状態での日常生活活動が、効率的な体脂肪の減少という点で有効的である可能性を示唆している。

さらに、Intake では3サイクルを通した活動中の脂質酸化量が活動前安静時に比べて $0.9 \times 10^3 \text{g/min}$ とわずかに低下したのに対し、Half では $10.7 \times 10^3 \text{g/min}$ 増加し、Intake に比べてSkip ($21.1 \times 10^3 \text{g/min}$ の増加)と類似した推移を示した。本研究では食事制限を行った場合、グリコーゲンへの蓄積が抑制されることでエネルギー源として脂肪利用が亢進されることを作業仮説としたが、今回の結果はその仮説を支持するものであり、食事量制限により脂肪蓄積の抑制と脂肪の燃焼が同時に亢進する可能性が示唆された。

4-2 食欲感覚

食欲感覚については、4項目全てにおいてHalfがIntakeとSkipの中間を推移し、食事量を反映する結果となった。このことから、食後の食欲感覚も食事の量に伴って変化することが示唆された。特に空腹感(Fig.5)、予想食事量では3サイクル目まで全ての条件間で有意差が見られ、Halfが他条件の中間的に推移し、活動後にHalfとSkipの間で有意差が見られなくなったことから、Halfの空腹感は3サイクル目(昼食後約3時間半)以降にSkipに近い値となると考えられる。Davidら³²⁾の研究においては、昼食後の空腹感、満腹感は自由摂取と制限食の場合で差はなかったと報告しているが、昼食直後に一度だけ聞き取りを行っていたため、食後数時間の推移については言及されていない。今回本研究において、身体活動レベルIIの日常生活での昼食のエネルギー制限下では、食後の食欲感覚は食事量に伴って変化し、特に昼食の約3時間半までは強い空腹感はないことが示唆された。

4-3 作業効率

クレペリン検査の結果については、欠食による空腹感が結果に影響を及ぼすことも予想されたが、解答数、正答率ともに3条件間に有意差は認められなかった。しかしIntakeについては他の2条件をやや下回るという結果になった。これはオレキシン神経系によって食事満腹時に誘発された眠気の影響を受けている可能性や¹⁵⁾、Half及びSkipにおいて学習記憶・長期記憶が向上^{16),17)}した可能性が考えられるが、その詳細は不明である。しかしながら、条件間に有意差が認められなかったことから、食事制限による作業効率への影響は少ないと思われる。

5. まとめ

本研究では昼食のエネルギー制限によって、脂質代謝及び作業効率にどのような影響を及ぼすか検討した。その結果、Halfの脂質酸化量は、活動前安静時から活動時にかけて増加した。これはIntakeと比較し、脂質代謝が亢進していたと考えられるSkipの推移と、類似する結果である。また食欲感覚では4項目全てにおいてHalfは中間的に推移して食事量を反映する結果となり、空腹感、予想食事量では活動後にHalfとSkipの間で有意差は認められなかった。作業効率については、クレペリン検査の解答数と正答率において、3条件間で有意差は認められなかった。

以上の結果より、昼食を制限した状態で日常生活活動を行った場合、食事量に反比例して脂質からのエネルギー供給量が増加することが示唆された。また食後の食欲感覚も食事量に伴って変化し、特に昼食の約3時間半後までは強い空腹感はないこと、昼食制限による作業効率への影響は少ないことが示唆された。これは日常生活における体脂肪の減少という点で、昼食のエネルギー制限の有効性を示唆するものであり、肥満によって引き起こされた暑熱耐性低下の改善に貢献し得ると期待される。

《謝 辞》

スケジュール調整が厳しく、日常生活での制限も多かったにも関わらず、快く協力して下さった被験者の皆様に深く感謝致します。

また、本研究に携わり実験を支えて下さった全ての方々へ心より感謝申し上げます。

《引用文献》

1. 内閣府経済社会総合研究所景気統計部. 消費動向調査主要耐久消費財等の普及率. 11, 2009
2. 気象庁. 2011年の世界と日本の年平均気温. 報道発表資料, 3, 2012
3. 厚生労働省. 国民健康・栄養調査結果の概要. 19, 2011
4. 芳田哲也, 中井誠一, 寄本明, 河端隆志, 森本武利. 寒冷暴露時の体温調節反応に与える運動能力及び体脂肪の影響. 体力科学, 43(6):686, 1994
5. 入来正躬. 体温生理学テキスト. 文光堂, 65, 2003
6. 独立行政法人日本スポーツ振興センター. 課外指導における事故防止対策調査研究報告書. 104, 2010
7. 田川邦夫. からだの働きから見る代謝の栄養学.

鷲塚 愛 他：昼食のエネルギー制限が脂質代謝及び作業効率に及ぼす影響

- タカラバイオ, 46-179, 2003
8. 外山笑子, 加藤望, 渡部かなえ. 長距離ランナーにおける朝食前トレーニングの有効性. 信州大学教育学部紀要, 109: 125-132, 2003
 9. 後藤健二, 藤井久雄. 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. 仙台大学学院スポーツ科学研究科修士論文集, 10: 103-111 2009
 10. 向本敬洋, 韓一栄, 大野誠. 一過性低強度・低速度反復のレジスタンス運動が運動後過剰酸素消費 (EPOC) に及ぼす影響. 体力科学, 57: 349-364, 2008
 11. Chenevière X, Borrani F, Droz D, Gojanovic B, Malatesta D. Effects of 2 different prior endurance exercises on whole-body fat oxidation kinetics: light vs. heavy exercise. J ApplPhysiolNutrMetab, 37: 955-964, 2012
 12. 日本栄養・食糧学会 (編). 時間栄養学. 女子栄養大学出版社, 23, 2009
 13. 厚生労働省. 日本人の食事摂取基準. 45-54, 2010
 14. 鷲塚愛, 朱文龍, 大塚雄記, 田井村明博. 昼食欠食が脂質代謝に及ぼす影響. 日本生理人類学会, 17(1): 98-99, 2012
 15. 桜井武. 視床下部オレキシン神経の機能エネルギーバランスに応じた適応行動の制御. 肥満の科学 (第124回日本医学会シンポジウム記録集), 56-61, 2003
 16. Diano S, Farr AS, Benoit CS, McNay CE, Silva DI, Horvath B, Gaskin SF, Nonaka N, Jaeger BL, Banks AW, Morley EJ, Pinto S, Sherwin SR, Xu L, Yamada AK, Sleeman WM, Tschöp HM, Horvath LT. Ghrelin controls hippocampal spine synapse density and memory performance. Nat Neurosci, 9(3): 381-8, 2006
 17. Hirano Y, Masuda T, Nagano S, Matsuno M, Ueno K, Miyashita T, Horiuchi J, Saito M. Fasting launches CRTc to facilitate long-term memory formation in *Drosophila*. Sci, 339: 443-446, 2013
 18. 高橋孝子, 富澤真美, 伊藤公江, 森野眞由美, 上西一弘, 石田裕美. 首都圏在住の既婚勤労男性の1日のエネルギー摂取量の配分の実態. 日本栄養・食糧学会誌, 61(6): 273-283, 2008
 19. Frayn KN. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. JApplPhysiol, 55(2): 628-634, 1983.
 20. 永井成美, 日比壮信, 山口亨, 亀尾洋司, 小林滋, 片嶋充弘. 視覚的アナログ目盛り (visual analogue scales: VAS) を用いた日本語版食欲質問紙の作成と再現性, 妥当性の検討. 肥満学会誌, 18(1): 39-51, 2012
 21. 木戸康博, 中坊義弘. 栄養科学シリーズ NEXT 基礎栄養学. 講談社, 46, 2003
 22. 富岡示朗, 吉川潔, 足立哲司. 朝と夕方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(4): 419-430, 1995
 23. Levitsky AD, Pacanowski C. Losing weight without dieting. Use of commercial foods as meal replacements for lunch produces an extended energy deficit. Appetite, 57: 311-317, 2011
 24. 坂戸洋子, 田辺解, 横山典子, 齋藤直美, 福田佳奈子, 松村千香, 久野譜也. 1食を低エネルギー量に固定化した減量プログラムの効果に関する研究. 体力科学, 56(6): 797, 2007
 25. Ando T, Usui C, Ohkawara K, Miyake R, Miyashita M, Park JH, Ezaki O, Higuchi M, Tanaka S. Effect of intermittent physical activity on fat utilization for a whole day. MedSci SportsExerc, 45: 1410-1418, 2013

《連絡先》

鷲塚 愛

〒852-8521 長崎市文教町1-14

E-mail : aiwashizuka19900214@gmail.com

(2014年1月15日受付、2014年5月9日採用決定、討論受付期限2015年8月末日)