

# 朝食摂取がエネルギー代謝量に及ぼす影響

吉田 繁子<sup>1)</sup>・吉田 純子<sup>2)</sup>・元永 恵子<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 倉敷芸術科学大学生命科学部

<sup>2)</sup> 岡山大学大学院医歯薬総合研究科

<sup>3)</sup> 国立スポーツ科学センター

(2011年10月1日 受理)

## 緒 言

エネルギー代謝量の測定方法には、各種計算式により算出する場合と、種々の代謝測定機を用いて測るものまでさまざまあるが、それぞれに一長一短がある。安静時代謝測定は基礎代謝量測定に比べ条件設定が緩やかなこともあり、通常は厳密な食事制限を課さない。しかし三回の食事摂取によるエネルギー代謝の上昇は1日当たりのエネルギー摂取量の約10%であると推定されており<sup>1)</sup>、可能な限り食事の影響を少なくすることが望ましい。

平成17年食育基本法や同18年に公布された食育推進基本計画、17年に発表されたメタボリックシンドロームの概念から、老若男女を問わず「健康」や「食」について改めて関心が持たれるようになった。その中でも特に朝食欠食の問題は重要視され<sup>2)</sup>、食育白書の中にも取り上げられている。平成21年国民健康・栄養調査結果<sup>3)</sup>によると、朝食欠食は男女とも20歳代に最も多く次いで30歳代であり、欠食者が今後も朝食を食べようと努力するつもりがないと回答した割合は男性38.1%、女性30.3%と高かった。朝食摂取の効果については、長い間1日に必要なエネルギー及び栄養素の充足は、2回食では無理であるとするものが中心であり、最近やっと前日の夕食から12時間以上のファーストは脳・神経系の唯一のエネルギー源であるグルコースの枯渇をおこすため、それを予防するため必要であるとか<sup>4)</sup>、大学生の学業成績<sup>5)</sup>、朝食摂取と記憶力との関連<sup>6)</sup>、朝食欠食と抑うつ指数<sup>7)</sup>との関連があげられるようになった。

しかしながら、朝食摂取後のエネルギー代謝量の変化いわゆる食事誘発性体熱産生 (diet induced thermogenesis、以下DIT) から、朝食の意義を検証したデータはほとんど見られない。そこで朝食摂取について、特に食後にみられるエネルギー代謝量の変化から検討し、朝食摂取の意義を示す基礎資料とすることを目的とした。

## 対象および方法

### 1. 対象者

本研究の対象者は年度初めに行われる学生健康診断において何らの異常も見られなかった健康な男子学生(19~20歳)4人である。4人とも運動サークルに属し1日2時間以上、

週3日以上の運動を行っており、喫煙習慣はない。あらかじめ対象者に測定の目的、利益・不利益、危険性、データ管理や公表の有無等について十分に説明を行い、書面による同意の得られた者のみを対象者とした。実験は近畿医療福祉大学倫理委員会での承認を得て行った。

## 2. 基礎代謝量 (BMR (basal metabolic rate) またはBEE (basal energy expenditure))

### および安静時代謝量 (resting energy expenditure: REE) の測定

本研究のBMR測定においては、朝食を摂取した場合(以下「朝食あり」)と朝食を摂取しない場合(以下「朝食なし」)の2回にわけて行った。測定前日は激しい運動を避けるよう指示し、前日の19時までには既定の夕食を摂り、以後水分のみを自由摂取とし、23時までには就寝した。測定日当日は排尿後着衣を整え測定室へ移動し(乗車3分、徒歩3分)、室温20~25℃に設定した測定室のベッド上に仰臥位にて30分以上安静を保ち、基礎体温、心拍数を計測した後、測定開始に問題ないことを確認しBMRを測定した。その後、「朝食あり」の場合は約15分で規定の朝食を摂取したあと、朝食後エネルギー代謝量を測定しこれはREEとした。一方「朝食なし」の場合は朝食摂取に相当する時間を椅座位で過ごした。

朝食後最初の1時間は30分ごと、以後は1時間ごとに6時間後までREEを測定した。測定の合間には椅座位または仰臥位で安静に過ごした。

酸素摂取量測定はダグラスバッグ法によった。呼気ガス測定用のフェイスマスクを装着した後、ダグラスバッグに10分間呼気を採集した。ガス量とガス温は乾湿ガスメーター(DC-2、品川製作所)を、呼気ガス濃度は質量分析計(WSMR-1400、アルコシステムガス分析装置)を用いて分析し、アウトプットされる酸素および炭酸ガスより呼吸商、エネルギー代謝量を求めた。

以上の測定は、確実なデータを得るため、同一対象者で約1か月半の期間に3回繰り返して行った。

## 3. 体位・体組成測定

前日の昼食後3時間以上経過した状況で身長を測定し、排尿後に体脂肪計(TANITA、TBF-110)を用い、bioelectrical impedance analysisにより体重・体組成を測定した。

## 4. 体温測定

水銀式婦人体温計(仁丹)を用い、エネルギー代謝測定時に並行して腋窩の体温を0.05℃まで測定した。

## 5. 心拍数測定

エネルギー代謝測定時の安静状態をモニターすると同時に継続的な変化をみるため、心拍数計(Polar、Polar Vantage XL)を用い、エネルギー代謝測定と並行して心拍数を測定した。

## 6. 食事

厚生労働省策定「日本人の食事摂取基準（2005年版）」<sup>8)</sup>を参考に、対象の生活活動から1日のエネルギー必要量を2,250kcalとした。Sasakiらは基礎代謝の変動率の大きさにはPFC比も関与することを示唆している<sup>9)</sup>。そこで、インスリンなどのホルモン応答ほか高炭水化物食、高脂肪食、高たんぱく質による代謝への影響を考慮し、今回の実験ではPFCバランスは、適正エネルギー比率とされる約15:25:60前後になるように献立を作成した。また、前日の夕食、当日の朝食ともに、エネルギー代謝に影響を与えらる唐辛子や香辛料をさけた規定食とした。

(前日の夕食)

ごはん、けんちん汁、肉じゃが、ピーマンとじゃこの炒め煮

(899kcal、P:F:C=13.9:22.7:63.4)

(試験日の朝食)

トースト(ジャム・マーマレード)、野菜スープ、ポテトサラダ、低脂肪乳

(635kcal、P:F:C=15.2:25.0:59.7)

## 7. データ・統計処理

同一対象者に対し、朝食を摂取した場合と朝食を摂取しない場合の測定を各3回実施し、その平均値および標準偏差(Mean±SD)をもってエネルギー代謝の変化を検討した。統計処理にはSPSS 15.0Jのpaired t testを用い、統計的有意水準は5%未満とした。

## 結 果

以下の文章においては、「朝食あり」に対応する「朝食なし」の時間経過を、[相当]を付けて表現した。(例:「朝食あり」での「朝食後1時間」に対応し、「朝食なし」での該当時間の表現を「朝食後1時間相当」とした。)

### 1. 対象者の身体的特徴

本研究での対象者の身体的特徴を表1に示した。

本対象者の平均身長は170.7±4.9cm、体重は59.2±5.5kgであり、文部科学省平成20年度体力・運動能力調査結果における年齢別体格測定結果<sup>10)</sup>の身長、体重に比較し、身長、

表1 対象者の身体特性

	A	B	C	D	Mean±SD
身長 (cm)	169.1	177.5	165.8	170.4	170.7±4.9
体重 (kg)	58.0	67.3	55.3	56.4	59.2±5.5
体脂肪率 (%)	14.5	17.5	14.5	14.2	15.2±1.6
体脂肪量 (kg)	8.4	11.8	8.0	8.0	9.0±1.8
除脂肪量 (kg)	49.6	55.5	47.3	48.4	50.2±3.7
体水分量 (kg)	36.3	40.7	38.9	35.4	37.8±2.4
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	20.3	21.4	20.1	19.4	20.3±0.8

体重ともにやや低い傾向にあった。また体組成からみると、体脂肪率は15.2%と日本肥満学会が男子における適正体脂肪率とする15~19%の範囲内にあった。

## 2. 心拍数の変化

エネルギー代謝測定時間中の心拍数変化は図1に示すとおりである。

「朝食あり」では食事中より心拍数が上がり始め、朝食後すぐで最高になり、早朝空腹時より約6.5拍上昇した。その後少しずつ低下して食後4時間で最低値となり朝食後すぐから7.6拍低下し、その後やや上昇したが、朝食後すぐの値までには回復しなかった。一方「朝食なし」ではほぼ安定し、早朝空腹時に46.3拍であったのが、食後6時間相当では46.7拍であった。「朝食あり」と「朝食なし」の間には有意差は見られなかった。

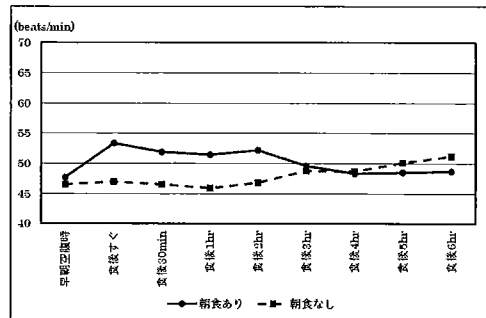


図1 心拍数の変化

## 3. 体温の変化

体温の変化は図2に示すとおりである。

「朝食あり」では朝食後すぐの35.73℃から直線的に上昇し、朝食後2時間で朝食後すぐより0.31℃上昇し、朝食後6時間では36.18℃となった。すなわち朝食後3時間で0.40℃、朝食後6時間で0.45℃の上昇がみられた。一方「朝食なし」では、朝食後1時間相当まで早朝空腹時の体温が続き、変化は見られなかったが、その後徐々に上昇し、朝食後6時間相当では36.43℃と0.58℃の上昇がみられた。朝食後1時間において「朝食あり」と「朝食なし」間に有意差がみられた ( $p < 0.05$ )。

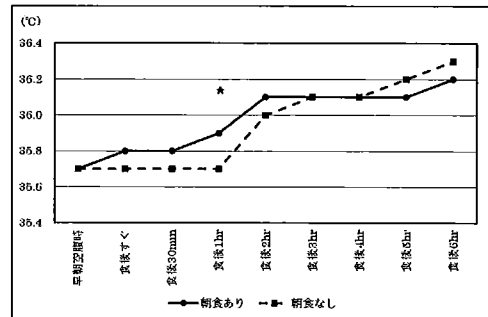


図2 体温の変化

## 4. 呼気ガス量の変化

呼気ガス採取10分間の対象者の呼気ガス量 (L/10min) を図3に示した。

「朝食あり」での10分間の呼気ガス量は朝食後すぐより上昇し(早朝空腹時から約4L)、朝食後2時間以降は減少した。「朝食なし」では朝食後2時間相当までは漸次ゆるやかに減少し、朝食後4時間相当より

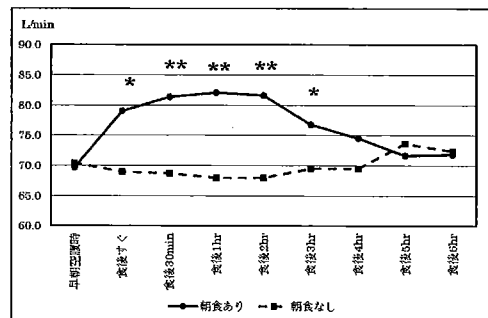


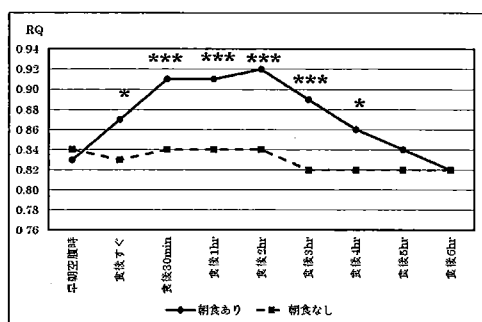
図3 呼気ガス量の変化

2.5L増加した。また朝食後すぐから「朝食あり」の呼気ガス量は「朝食なし」のそれより有意に高く、朝食後3時間まで続いた(有意水準は朝食後すぐおよび朝食後3時間は $p < 0.05$ )、朝食後30分、朝食後1時間、朝食後2時間は $p < 0.01$ )。

### 5. 呼吸商の変化 (respiratory quotient: RQ)

代謝測定10分間に排出された炭酸ガスと吸入した酸素の体積比 RQ:  $CO_2/O_2$  は、図4に示すとおりである。

「朝食あり」では食事摂取中より上がり始め、早朝空腹時に比し朝食後30分で0.08、朝食後2時間で0.10の上昇がみられた。その後は減少し続け、朝食後4~5時間では早朝空腹時まで低下した。いっぽう「朝食なし」では早朝空腹時から大きな上下はみられず、観察中0.01から0.02の変化がみられたのみであった。



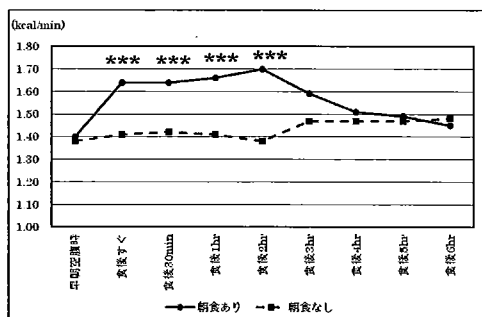
\*\*\*:  $p < 0.001$ , \*:  $p < 0.05$

図4 呼吸商の変化

### 6. BMRおよびREEの変化 (kcal/min)

対象者の1分間当たりのエネルギー代謝量を図5に示した。

「朝食あり」でのエネルギー代謝量は、食事開始と同時に上がり始め、朝食後すぐの値は早朝空腹時値 (BMR 値) に対し約0.25 kcal/min 上昇した。最高値を呈したのは朝食後2時間の1.70 kcal/min であり、早朝空腹時より0.31 kcal 上昇し、その後漸減した。また「朝食なし」では全期間を通じ変化は見られず、早朝空腹時値 (BMR 値) に対し、朝食後6時間相当が最大となり、わずか0.08 kcal/min の上昇しかみられなかった。



\*\*\*:  $p < 0.001$

註: 早朝空腹時はBMR値を、それ以外はREE値を示す。

図5 エネルギー代謝量の変化

## 考 察

健康的な生活を送るためには1日3度の食事を規則正しく摂取することが重要であるが、近年残業や深夜勤務など夜型の生活を送る人の増加がみられ、これを背景に朝食を欠食する人が増えた。サーカディアンリズムを作る中枢(主)時計遺伝子は視交叉上核にあり、朝の光により調節されるが、内臓などの末梢時計遺伝子の場合は給餌性リズムに

より調節され、朝食を摂取することで、中枢時計遺伝子と末梢時計遺伝子の同調も行われることが明らかになってきた。またヒトの副交感神経にとって、朝食によるリズムの形成や位相補正が、朝の光による位相補正よりも重要である<sup>11)</sup>とされている。一方、本研究と関連する朝食欠食でのエネルギー代謝と時計遺伝子との間を結ぶのは、PGC-1 $\alpha$  (Peroxisome proliferative activated receptor, gamma, coactivator 1) という共活性化因子で、BMAL1 (Brain-Muscle Arnt Like protein 1) や PER1 (Period 1) の増加を通して総合的に全身を統括する機能を持つ。朝食欠食による時計遺伝子リズムの乱れは、PGC-1 $\alpha$  を通して運動能力を低下させ、エネルギー代謝を変え肥満の原因となる<sup>12)</sup>ことも明らかにされてきた。分子栄養学、時間栄養学の視点での朝食の意義についての研究には目を見張るものがあり、一方で基礎的な実験としては、朝食欠食が血糖値や体温の変動に及ぼす影響などについての論文は見られるが、朝食摂取と朝食欠食ではそのエネルギー代謝にどのような影響がみられるかを追求した基礎実験はほとんど見られない。我が国における基礎代謝量測定の実験は少なく、その上今日までに蓄えられた測定値の精度は低いことが言われている<sup>13)</sup>。我々ではできるだけその精度を高めるため、男子のみを対象とし、実験による緊張の影響を避けるため、あらかじめ予備実験を行い、その後1か月半の間に3度の本実験を行った。

対象は4人とも同じ介護福祉系のクラスに属し、午後の学業に実習科目が課せられてない時のみ、学業後運動を実施していた。体脂肪率はやや低めであったのは、運動部に属し週3回以上、1回2時間以上の運動をしていたことによるものと思われる。

心拍数の増減はエネルギー消費量に影響を与える。「朝食あり」では朝食後3時間まではやや拍数が高かったが、その後は「朝食なし」との差は見られず、体温も「朝食あり」では朝食後すぐより朝食後3時間まで上昇しつづけ、心拍数と同様の動きを見せ、代謝の営みが同調していることを示していた。体温はその後安定したのち再び朝食後6時間まで上昇した。通常ヒトの体温の変化は、平均すると日中14時から15時ごろにかけて最高値、午前4時から5時ごろが最低値とされている<sup>14,15)</sup>。「朝食なし」では朝食後1時間相当 ( $p < 0.05$ ) まで変化はなかったが、その後、「朝食あり」と同様に朝食後6時間相当まで上昇した。すなわち「朝食なし」では体温上昇の立ち上がりが悪いが、起床後1時間半から2時間経過すると上昇がはじまり、平素の習慣的な日周リズムで示される体温に追いついていくものと思われる。

BMR測定条件には、①約12時間以上の絶食、②安静仰臥位で、筋肉の緊張を最小限にした状態を保つ、③快適な室温(20~25℃)で、心身ともにストレスの少ない覚醒状態、④測定当日測定場所に移動した場合は、十分な安静(30分以上)を保った後測定<sup>13,16)</sup>などの厳しい条件が課せられる。それに対してREEは筋肉の緊張のある安定状態、すなわち椅坐位での測定もゆるされ、さらにDITを含むことである<sup>17)</sup>。それ故、必ずしも早朝空腹時に測定しなくてもよく、食後おおむね90分以上たっておれば測定できる<sup>18,19)</sup>。な

お座位は仰臥位より、エネルギー消費量が約10%高いとされる<sup>20)</sup>。そこで、我々が測定したエネルギー代謝値は、厳密には「朝食あり」「朝食なし」とも早朝空腹時の値はBMRを測定したことになり、その後の各時点の値は安静度の高いREEを測定したことになる。

食事による体熱産生には古く使われていたSDA (specific dynamic action: 特異動的作用)がある。食後に、主として食物を消化・吸収・運搬するために見られる熱産生は、たんぱく質を摂取した後に顕著である(摂取したエネルギーの約20~30%)。そのため長年、SDAと呼ばれてきた。しかし、糖質や脂質を摂取した場合にもこの現象が観察される(それぞれ5~10%、~5%)ため、最近では「食事誘発性熱産生(diet-induced thermogenesis, DITあるいはthermic effect of food (meal): TEF (TEM))」と呼ばれる。摂取エネルギーのおよそ6~10%程度が食事誘発性熱産生として消費されると考えられている<sup>16,21)</sup>。

本対象での呼気ガス量は、朝食後すぐから朝食後3時間まで有意に「朝食あり」が高く、呼吸商は朝食後すぐから朝食後4時間までの間「朝食あり」が高く、算出されたBMR、REEは朝食後すぐから朝食後2時間まで有意差がみられた。そして、対象若年男性でのDIT熱量は1.60~1.70kcal/minであった。DITは朝食後3~4時間まで見られ、最大では「朝食なし」の1.23倍にもなった。

食事をする時間や食事の内容が末梢細胞の概日リズムに対する発信源として極めて重要である<sup>11)</sup>。朝食を欠食することは、1日3回の食事のうち、最も概日リズムと関連のある1回目の食事時間を変えることになる。また朝食摂取によるエネルギーは発散効率がよく摂取エネルギーが体内に蓄積しにくいことも明らかにされている<sup>22)</sup>。朝食摂取によるエネルギー代謝量の増加は、朝食の意義が単なる必要エネルギーや必要栄養素の確保にとどまらず、朝食摂取の刺激が血中副腎皮質ホルモンリズムを形成し、主時計による生物時計の調整とともに速やかな身体の覚醒をもたらし、同時にエネルギー代謝亢進によるエネルギー消費量増加の効果も得られると考えられる。

## 結 論

運動部に所属する男子学生4人(19~20歳)を対象に、朝食摂取がその後のエネルギー代謝に及ぼす影響を調べた。エネルギー代謝量は間接法により、ダグラスバッグを用いて呼気を採取し、呼気分析は質量分析計(WSMR-1400、アルコシステムガス分析装置)を用いた。その結果、朝食摂取によるDITは1.60~1.70kcal/minであり、DITは朝食摂取後3~4時間観察され、最大では朝食なしの1.23倍であった。また朝食摂取の有無での体温、呼吸商、呼気ガス量にも有意差がみられた。

以上の結果より、朝食摂取は身体の速やかな覚醒をもたらすと同時に、エネルギー代謝亢進によるエネルギー消費量増加の効果も得られると考えられる。

## 謝 辞

研究に快く協力を申し出てくださった学生の皆さんと、終始暖かいご指導を賜りました奈良女子大学名誉教授三好正満先生にお礼申し上げます。

## 引用・参考文献

- 1) 木戸康弘、中坊幸弘編：基礎栄養学 講談社サイエンティフィック 46 東京 (2009)
- 2) 中山玲子、宮崎由子編：栄養教育論 化学同人 15、271-276 東京 (2010)
- 3) 厚生労働省健康局総務課生活習慣病対策室：平成21年国民健康・栄養調査結果の概要 日本栄養学会雑誌 54 2 36-52、(社)日本栄養学会 (2011)
- 4) 五明紀春：「朝食べる」その栄養生理 畜産の情報 農畜産業振興事業団 4-5 (1998)
- 5) 香川靖雄、西村薫子、佐東準子、所沢和代、村上郁子、岩田弘、太田拔徳、工藤快訓、武藤信治、手塚統夫：朝食欠食と寮内学生の栄養摂取量、血清脂質、学業成績 栄養学雑誌、38、283-294 (1980)
- 6) Benton, D., Parker, P.; Breakfast, Blood glucose, and cognition. *Am. J. Clin. Nutr.*, 67, 772-778
- 7) Smith, AP.: Breakfast and mental health. *J. Food Sci. Nutrition*, 49, 397-402 (1998)
- 8) 厚生労働省：厚生労働省策定日本人の食事摂取基準 [2005年版] 第一出版 東京 (2005)
- 9) Sasaki T: Relation of Basal Metabolism to change in Food Composition and Body Composition, *Ibid* , 25, 1165-1169 (1966)
- 10) (財)食生活情報センター：食生活指針について (2011.9.11アクセス)  
<http://www.e-shokuiiku.com/guide/index.html>
- 11) 堀江修一：栄養学と時間生物学のコラボレーション 32-35 日本栄養学会雑誌 544 (2011)
- 12) 日本栄養・食糧学会監修 香川靖雄編：時間栄養学—時計遺伝子と食事のリズム、6、18-19 女子栄養学出版部 東京 (2009)
- 13) 山本茂、小松龍史：日本人の基礎代謝資料の評価、栄養学雑誌59、2、51-59 (2001)
- 14) 中山昭雄：温熱生理学 理工学社 東京 (1981)
- 15) 西山豊：電子体温計の研究、法律文化社、36-49 (1993)
- 16) 田中茂穂：総論 エネルギー消費量とその測定方法、静脈経腸栄養24、5、5-11 (2009)
- 17) 細谷憲政編：今なぜエネルギー代謝か、24 第一出版 東京 (2000)
- 18) 松田香里、尾島由美子、各務雅子：安静時エネルギー代謝量、体重および体組成の年内変動、名古屋女子大学紀要 53、119-124 (2007)
- 19) 三橋美佐子、杉山みち子、石川誠、小山秀夫、松田朗：高齢患者の安静時エネルギー代謝の携帯用簡易熱量計を用いた検討、栄養—評価と治療、14,4,27-33 (1997)
- 20) 沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝 増補第2版、労働科学研究所出版部、東京 (1979)
- 21) Van Zant RS, Influence of diet and exercise on energy expenditure—a review. *Int J Sport Nutr* 2: 1-19 1992
- 22) 堀江修一：栄養学と時間生物学のコラボレーション 33-36 日本栄養学会雑誌 54 5 (2011)



## Influence of breakfast intake exerts on amount of energy metabolism

Shigeko YOSHIDA<sup>1)</sup>, Jyunko YOSHIDA<sup>2)</sup>, Keiko MOTONAGA<sup>3)</sup>

*1) Graduate School of Science and the Humanities,  
Kurashiki University of Science and the Arts*

*2) Okayama University Graduate School of Medicine*

*3) Japan Institute of Sports Sciences*

(Received October 1, 2011)

### Summary

For four schoolboys (aged 19-20), who belonged to the athletic club, we examined the influence of breakfast intake on subsequent energetic metabolism. The energy metabolic rate gathered expiration with the Douglas bag, via the indirect method, and the expiration analysis used a mass spectrometer (WSMR-1400, Arco system gas analyzer). Consequently, DIT as measured by the breakfast intake was 1.60 - 1.70kcal/min, and DIT was observed after a breakfast intake for 3-4 hours, peaking at 1.23 times without breakfast. In addition, significant differences was seen in temperature based on having breakfast intake or not, respiratory quotient, and the quantity of expiration gas.

The breakfast intake triggers prompt physical awakening based on the above-mentioned result, and an increase in energy consumption due to the energy hyper metabolism is thought to apply.