

20011019

厚生科学研究費補助金

健康科学総合研究事業

栄養所要量策定のための基礎代謝基準値作成に関する研究

平成 13 年度 総括・分担研究報告書

(3年計画の2年目)

主任研究者 柏崎 浩

平成 14 年 (2002 年) 4 月

目 次

I. 総括研究報告

栄養所要量策定のための基礎代謝基準値作成に関する研究	1
----------------------------	---

II. 分担研究報告

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	7
-----------------------------------	---

成人男女の基礎代謝量について	23
----------------	----

閉経後中高年女性の基礎代謝に関する研究	28
---------------------	----

エネルギー消費量に影響する食物摂取に関する基礎的研究	33
----------------------------	----

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 の精度に関する研究	35
--	----

ヒューマンカロリメーターによるエネルギー消費量実測値 と基礎代謝基準値を用いた要因加算法推定値との比較	40
--	----

二重標識水を用いたエネルギー消費量測定における質量比 分析条件の基礎的研究	47
--	----

III. 研究成果の刊行に関する一覧表	54
---------------------	----

IV. 研究成果の刊行物・別刷	55
-----------------	----

栄養所要量策定のための基礎代謝基準値作成に関する研究

主任研究者 柏崎 浩 国立健康・栄養研究所 部長

研究要旨

平成 12 年度に引き続き、基礎代謝量測定値の再検討および測定条件の検討を実施した。今年度は、現行基礎代謝基準値の原データを構成している 1960 年代に公表された過去の個人別基礎代謝実測値について、国内外で広く用いられている基礎代謝(BMR)の推定式から算出した推定値との一致度について検討した。原データについて重回帰分析を行ったところ、体重のみで BMR の変動の 40% 以上を説明すること、さらに他の独立変数(性別、年齢、身長、BMI、室温、外気温)を加えると、BMR の変動の 78%が説明できることを示した。また、推計式(日本の第 6 次改定に記載された推計式、および国際的に利用されている推計式: Schofield 式および FAO/WHO/UNU 式)から得られた推定値を実測値と比較した平均偏差はいずれも 100kcal 未満であった。日本の推計式は実測値よりやや低めに、国際的に利用されている推計式はやや高めであるものの、良好な推計式であると同時に、今回用いた過去の実測データは今後の BMR データベースとして有用な測定値であることを確認した。実測値と推定値間における一致度は、BMI に基づく被験者グループによって異なっており、より適切な BMR データベースを作成するために、従来までの BMR 測定で考慮されなかった体構成を、今後の研究において検討すべきことを示した。これらの点を踏まえ、新規被験者を含む基礎代謝の測定を継続的に実施している。とくに、BOD POD による体密度法、皮脂厚法、体水分法による体構成の推計データが徐々に集積されており、これらの情報を取り込むことによって基礎代謝基準値による推計精度改善など具体的な検討を次年度に実施する予定である。

また、本研究所に設置されたヒューマン・カロリーメーターは種々の調整・準備を重ね、目標とする±2%未満の測定精度を確認した上で、平成 13 年 8 月より、被験者を対象とする本格的な測定を開始した。エネルギー消費量をエネルギー所要量とする基本的な考え方が昭和 50 年所要量改定に明示されて以来、エネルギー消費量の推計は主として要因加算法によっていたが、1 日のエネルギー消費量(TEE)の正確な実測が可能となった現在、エネルギー所要量の策定において、日常生活の身体活動量を実測の TEE/BMR で適切に示すことが、わが国でも、また国際的にも重要となっている。すなわち、正確なエネルギー消費量の連続的測定が可能となるにしたいが、適切な基礎代謝基準値を設定することがますます重要となる。そこで、ヒューマン・カロリーメーターによるエネルギー消費量の実測値と、基礎代謝基準値を用い要因加算法によるエネルギー消費量の推計値との比較検討を開始した。途中経過であるが、TEE の実測値と推計値の平均値は BMR の実測値または推計値のいずれを用いてもほぼ一致したが、BMR の実測値を用いた場合、TEE の実測値と推計値との一致度はより高いものとなった。被験者を対象とするヒューマン・カロリーメーターでのエネルギー消費量の測定と同時進行的に、二重標識水による日常生活のエネルギー消費量を測定するため、ヒューマン・カロリーメーター入室予定の約 2 週間前に DLW 投与と尿サンプルの収集を開始した。わが国のエネルギー代謝領域で、平衡法による重水素の測定は未経験であり、精度管理に必要な種々の測定条件など検討・克服すべき問題は多々残っている。収集した尿サンプルの暫定的測定値は良好なデータが得られ

ていることを示唆しており、安定した測定精度が得られる測定条件設定を確認した段階で本格的な分析に進む予定である。

分担研究者

田中茂徳（国立健康・栄養研究所 栄養所要量研究部 エネルギー代謝研究室長）

樋口 満（国立健康・栄養研究所 健康増進研究部 部長代理）

岡 純（国立健康・栄養研究所 応用栄養学研究部 部長代理）

高田和子（国立健康・栄養研究所 健康増進研究部 主任研究官）

笠岡宜代（国立健康・栄養研究所 臨床栄養部 研究員）

二見 順（東日本国際大学、経済学部・経済情報学科 医用生体工学 助教授）

研究目的

エネルギー消費量をエネルギー所要量とする基本的な考え方が昭和 50 年所要量改定で明示されて以来、エネルギー消費量の推計は主として要因加算法によっていた。ヒューマン・カロリメーターあるいは二重標識水法によって、1 日のエネルギー消費量(TEE)の正確な実測が可能となった現在、エネルギー所要量の策定において、日常生活の身体活動量を実測の TEE/BMR で適切に示すことが、わが国でも、また国際的にも重要となっている。すなわち、正確なエネルギー消費量の連続的測定が可能となるにしたいが、適切な基礎代謝基準値を設定することの重要性が増している。

生活習慣病の中でも糖尿病や肥満は、その他の生活習慣病の危険因子にもなることから、その発生予防対策が急がれている。わが国においては、栄養調査（国民栄養調査）が実施されており、それを基に栄養所要量が策定されている。本研究で得られた、基礎代謝量をはじめとするエネルギー代謝にかかわる基礎データは、健康科学センター、保健センター等における生活習慣病予防・改善指導に必要な情報提供に資するのみならず、次の栄養所要量策定に必要な基礎的資料とすることを目的としている。

研究方法

本研究では、年齢、性別の適切な基礎代謝基準値を設定するための基礎的な検討を行うため、以下の方法による分析を実施した。1) 今年度は、現行基礎代謝基準値の原データを構成しているオリジナル・データ、すなわち公表された過去の個人別基礎代謝実測値について再検討を行い、約 40 年前の基礎代謝測定データが、生活様式、体構成などの変化が生じた現在で

も適用可能であるかどうかについて再評価・検討を行った。2) これと平行して、基礎代謝量及び安静時代謝量を測定し、栄養所要量策定のための基礎データ蓄積のさらなる充実を図ることとした。これらの測定には、オーソドックスな測定法であるが、信頼性の高いダグラスバッグを用いた方法によって測定した。3) エネルギー代謝量を亢進する摂取食物と食事構成との相互影

響を評価するため、肥満を予防する作用が知られている共役リノール酸について、マウスを用いた実験的評価を昨年度に続き実施した。

4) 平成 11 年度本研究所に設置されたヒューマン・カロリメーター（世界的に最も精度・信頼性の高い測定装置であり、しかも日本では本研究所だけに設置されている。）によって得られた実測エネルギー消費量（1 日あたりの総エネルギー消費量など）を利用し、基礎代謝基準値およびエネルギー代謝率（R.M.R）を用いた要因加算法によるエネルギー消費量推計値の妥当性を検討し、基礎代謝基準値と実測値の誤差がエネルギー消費量推計値に及ぼす影響を評価することとした。

5) さらに、二重標識水法による測定は日常生活のエネルギー消費量測定方法として信頼性・精度ともに最も優れた方法であり、様々な生活様式で暮らす日本人の日常的エネルギー消費量のデータ蓄積が可能である。将来的には、エネ

ルギー所要量策定の根幹データをなすことが期待でき、また日常生活における身体活動量（TEE/BMR）を客観的に評価する、いわば、ゴールド・スタンダードとして活用し得る。ここでも、基礎代謝の適切な測定・推定が重要となる。しかしながら、エネルギー代謝領域での安定同位体の測定は、わが国でははじめてであり、克服すべき種々の問題を解決する必要がある。たとえば、測定条件、測定データの標準化、精度管理および最適データ解析方法など未知の部分が多々ある。そこで、今年度は、DLW 法で得られる尿サンプルに含まれる水素および酸素の安定同位体を実測するために必要な最適測定条件の基礎的検討をはじめた。また、ヒューマン・カロリメーターの被験者に DLW を飲んでもらい、測定条件の検討および精度管理システムに見とおしを立てることが可能となった段階で、直ちに尿サンプルの測定に取り掛かれるよう準備を進めることとした。

（倫理面への配慮）

本研究において、人を対象とする研究、すなわち、基礎代謝量、ヒューマン・カロリメーターでの測定、二重標識水投与については、独立行政法人国立健康・栄養研究所「人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員

会」の承認を得て実施した。

対象者（被験者）には、研究や測定の意義及びこれらにともなう危険性のないことについての十分に説明した後、書面での同意を得て実施した。

研究結果と今後の見通し

今年度、実施した研究の成果および途中経過は以下のように要約することができる。

1. 早朝空腹時安静代謝量の変動要因

今後の基礎代謝量基準値作成に関する方向性を検討する意味で、昭和 44 年の日本人のエネルギー所要量算定に用いられた基礎代謝量の資料についての特徴を昨年度は検討し、綿密な

計画のもとに多数の測定が行われていたことを整理した。今年度は、公表された日本人男女の個人別BMRの実測値を用いて、早朝空腹時RMRの変動要因について検討を行った。さらに、国内外で用いられているBMRの推定式(第6次改定栄養所要量に記載されている基礎代謝推計式:RDA-Jpn式, Schofield式, FAO/WHO/UNU式)から算出した推定値と実測値との一致度について検討した。その結果、早朝空腹時RMRの変動は、体重のみによってその40%以上が説明された。さらに、他の独立変数(性別、年齢、身長、BMI、室温、外気温)を加えることにより、77.9%が説明された。その寄与率は、若年齢者を含む年齢層の幅を広げても変化しなかった。また、早朝空腹時RMRの推定値と実測値との一致度は、用いた推定式によって異なっていた。そして、その一致度は、対象者のBMIで分類した肥満の程度により異なっていた。これらのことから、適切なBMRのデータベースを作成するために、従来までのBMRの測定で考慮されなかった体構成について検討することが今後の研究において必要である。

2. 成人男女の基礎代謝量について

10~70歳代の健康な男女115名について、ダグラスバック法を用いて基礎代謝量を測定した。体重あたりの基礎代謝量は基礎代謝基準値と比べて男性ではやや低い傾向にあったが、女性ではほぼ同じ値となった。第六次改定栄養所要量に示されている体重のみを用いた基礎代謝の推定式から求めた推定値は、集団として比較した場合は実測値との差が3.5%とやや過大ではあるが、比較的良く推定していると思われる。しかし、個別に見た場合には推定値と実測値の差は-17.3~

25.9%とばらつきがあり、±5%以内の差の者が38%となり、推定値と実測値の差が大きい者が多く見られた。基礎代謝量と大きく関連する項目には、性と除脂肪体重があげられた。

3. 閉経後中高年女性の基礎代謝に関する研究

閉経後の中高年女性の基礎代謝を年齢、日常の身体活動レベル、及び身体組成との関連で検討した。50歳代と60歳以上に分けて年齢の影響をみたが、両年齢層の間に基礎代謝量の差はみられなかった。また、ウォーキングやスイミングなど有酸素運動を日常的に行っている生活活動レベルの高い中高年女性と生活活動レベルの低い中高年女性を比較してみたが、体重、除脂肪体重(LBM)、BMIに差はなく、基礎代謝量にも差は認められなかった。中高年女性の基礎代謝量(kcal/day)は体重、LBMと高い相関関係が認められた。

4. エネルギー消費量に影響する食物摂取に関する基礎的研究

エネルギー消費を高め肥満を予防する作用が知られている共役リノール酸(CLA)は、マウスの体脂肪を極端に減少させる為、脂肪肝や高インスリン血症等の副作用を生じる。そこで、副作用を生じずに効率良く体脂肪を減少させる食事条件を検討する目的で、食事時の脂肪含量の影響を検討した。低脂肪食にCLAを添加すると体脂肪は減少するが脂肪肝、高インスリン血症が認められた。一方、高脂肪食にCLAを添加した場合には脂肪肝や高インスリン血症などの副作用は全く認められず、効果的に体脂肪が減少した。CLAは脂肪含量に関わらずエネルギー消費を高め、体脂肪を減少させるが、

摂取脂肪レベルが高い場合には副作用の生じないことが明らかとなった。

5. 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に関する研究

間接熱量測定法を用いたヒューマンカロリメーター(indirect human calorimeter: IHC)によるエネルギー消費量(energy expenditure: EE)測定の精度を、アルコール燃焼試験により確認した。IHCの測定室内でエタノールを6時間燃焼させた8例の実験を行った。燃焼したアルコールの重量から求めた理論燃焼熱量と、IHCにより測定した21時間のEEとの差は、 $-0.5 \pm 1.7\%$ (mean \pm SD, n=8)であった。また、燃焼熱量を時間差なしに算出する高速アルゴリズムを使用した6時間のEEは、理論燃焼熱量との差が $1.1 \pm 1.9\%$ (mean \pm SD, n=8)であった。

6. ヒューマンカロリメーターによるエネルギー消費量実測値と基礎代謝基準値を用いた要因加算法推定値との比較

基礎代謝量(BMR)をダグラスバッグによる実測値を用いた場合、および基礎代謝基準値による推定値を用いた場合とで、ヒューマンカロリメーターで測定した一日あたりのエネルギー消費量(TEE)と要因加算法による(エネルギー代謝率 R.M.R) TEE推定値との差について検討した。対象は、成人男女21名であった。BMRの実測値と推定値との間には強い相関がみられた($R^2=0.88$)が、個人によっては実測値と推定値との間に大きな差がみられた。TEEの推定値は、BMRの実測値と推定値のいずれを用いても、実測値の平均値とほぼ一致した。また、TEEの推定値は、TEEの

実測値と強い正の相関がみられた。しかし、BMRの推定値を用いると、BMRの実測値を用いた場合より、推定TEE値は実測TEEに対する平均偏差が大きくなった。これらの結果は、ヒューマンカロリメーターという、制約された環境での測定結果である。したがって、生活・身体活動区分(R.M.Rなど)の評価が比較的容易で、またそのバラツキも小さい。加えて、対象者は体脂肪率が小さい傾向がみられた。限定された環境条件での結果ではあるが、現在の基礎代謝基準値から比較的正確な推定値が得られることが明らかとなった。ただし、個人のTEE推定誤差を小さくするために必要な方法を更に探索することが残されている。

7. 二重標識水を用いたエネルギー消費量測定における質量比分析条件の基礎的検討

日常的な生活活動を維持したまま実測のエネルギー消費量を測定することが可能な二重標識水(DLW)法は、エネルギー所要量の根幹データベースとなることが期待されている。この方法による実測をわが国ではじめて導入し、DLWによるエネルギー消費量の実測値適用の基盤を構築するために、最適測定条件の基礎的検討を始めた。この検討と同時に、ヒューマン・カロリメーターでの測定に参加した全被験者を対象としてDLWを経口飲水してもらい、二週間にわたる早朝尿サンプルの収集を開始した。得られた尿サンプル分析から最終目的であるエネルギー消費量の算出まで、多くの克服すべき分析的・データ処理的問題を抱え、被験者の日常的エネルギー消費量を評価するまでに至っていない。しかし、今年度は安定同位体比の

最適測定条件の探索と複雑な測定データ解析に必須の精度管理の基礎検討を行った。わが国のエネルギー代謝領域では、DLW 法によって得られる尿サンプルの同位体比測定は初めてであり、未知の部分が多々ある。サン

プル数 3000 を越える測定を実施し、平衡法による ^2H および ^{18}O の測定での、温度、平衡ガスの圧力、必要サンプル量について、研究所独自の精度管理条件の一部を決定できたことが大きな成果といえる。

健康危険情報

なし

研究発表

柏崎 浩 2001 エネルギー代謝測定法 - 最近の進歩。特集「運動とエネルギー代謝における近年の進歩」。臨

床スポーツ医学 第 18 巻 4 号、409-418

学会発表

- 1) 山村千晶, 柏崎浩 (国立健康・栄養研究所) 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。第 55 回日本栄養・食糧学会大会、平成 13 年 5 月 6 - 8 日、京都、国立京都国際会館
- 2) 柏崎 浩 ヒューマン・カロリメーターによる呼気ガス分析の意義。教育講演「第 4 回日本呼気病態生化学研究会」、平成 13 年 6 月 30 日、東京、国立健康・栄養研究所
- 3) Yamamura, C and Kashiwazaki, H (2001) Reanalysis of the Japanese post-absorptive resting metabolic rate based on published data. 17th International Congress of Nutrition, Aug 27-31, 2001. Vienna, Austria.
- 4) 柏崎 浩 (2001) ゴールドスタンダードとしての二重標識水法とヒューマン・カロリメーター、第 56 回日本体力医学会大会 2001 年 9 月 19-21 日、ワークショップ「日常生活における身体活動量の評価」、2001 年 9 月 21 日、仙台国際センター

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

分担研究者 柏崎 浩 独立行政法人国立健康・栄養研究所 栄養所要量研究部 部長
研究協力者 山村千晶 独立行政法人国立健康・栄養研究所 栄養所要量研究部 健康科学総合
研究事業 リサーチ・レジデント

本研究の目的は、公表された日本人の基礎代謝量(BMR)を用いて、空腹時安静代謝量を再検討することであった。さらに、BMRの実測値と広く用いられているBMRの推定式から算出した推定値との一致度について検討した。全てのBMRデータは、早朝に空腹状態にて測定したものである。また、各被験者のBMRは、日本人の栄養所要量(Japanese Recommended Dietary Allowance: RDA-Jpn)(1999)、Schofield(1985)およびFAO/WHO/UNU(1985)によって示されている推定式を用いて、性別、年齢および体重から予測した。オリジナルデータのステップワイズ法による重回帰分析は、体重のみでBMRの変動の40%以上を説明することを示した。他の独立変数(性別、年齢、身長、BMI、室温、外気温)を加えると、BMRの変動の77.9%が説明された。Body mass index(BMI)に従って分類した、18歳以上の痩せた被験者($BMI \leq 18.4 \text{ kg/m}^2$)において、実測値とRDA-Jpn式における推定値間の差は、他の式より高かった。一方、他の標準体重の被験者($18.5 \text{ kg/m}^2 \leq BMI \leq 24.9 \text{ kg/m}^2$)では、その差は低かった。実測値と推定値間における一致度の程度は、被験者のBMIに基づくグループによって異なっていた。このことは、適切なBMRのデータベースを作成するために、従来までのBMRの測定で考慮されなかった体構成を、今後の研究において検討すべきであることを示唆する。

研究目的

日常生活でヒトが消費するエネルギーは、主に基礎代謝量(basal metabolic rate: BMR)、食事による産熱効果、さらに身体活動に費やされるエネルギーの3つに区分されている¹⁾。特に、肥満が主要な健康問題となっている国々において、BMRや安静時代謝量(resting metabolic rate: RMR)は、

一日のエネルギー消費量(total energy expenditure: TEE)の60%以上を占めることから、その変動要因を明らかにすることは重要である^{2,3)}。Kashiwazaki⁴⁾は、これまでわが国において論文として公表された日本人成人男女のBMRの個人別実測値を用いて、その変動要因について検討した結果、

全変動の 78.4%が、体重、身長、外気温、年齢、性別、湿度および室温によって説明されることを報告している。他方、幼児期から思春期の若年齢者において、体重あるいは除脂肪量 (fat free mass: FFM) あたりの BMR は成人に比較して高いことが報告されている⁵⁻⁷⁾。これは、若年齢者における FFM あたりに占める臓器の割合が高く、発育に伴ってその割合が減少するためである。BMR の変動要因を検討するうえで、広い範囲の年齢層や身体の大きさを持つ対象者について検討することは重要であるが、これまで系統的な検討がなされてきたとはいえない。

また、BMR の変動要因は、特に身体の高さとの関連から論議がなされ^{8,9)}、想定された BMR の変動要因の検討とその実測値から、Harris and Benedict¹⁰⁾による BMR の推定式をはじめとするいくつかの BMR の標準値・基準値が示されてきた。これらの標準値や基準値から推定された BMR と実測値との比較により、推定値は実測値に比較して高いあるいは低いことが報告されている¹¹⁻¹⁶⁾。このような違いがなぜ起こるのかについては、必ずしも明らかでないが、測定機器が被験者に与える不快感や測定時の室温が低いことといった BMR の測定条件が影響して

いることが指摘されている^{14,18)}。このように、BMR の標準的な測定条件のわずかな違いが、推定値と実測値の差を引き起こす要因のひとつと考えられる。

そこで、本研究では第 1 の目的として、Kashiwazaki⁴⁾が BMR の変動要因について検討した際に用いた成人のデータに、新たに 20 歳未満の個人別実測値を加えることにより対象者の年齢層を拡大し、早朝空腹時 RMR の変動要因について再検討することとした。なお、BMR とは、生命維持に必要な生理化学的反応を支える覚醒安静時の最小エネルギーと定義され、実際には、食後 12 時間以上経過した早朝空腹時に、仰臥安静・覚醒状態で適正室温にて測定される¹⁷⁾。しかし、本研究で用いた報告における当時の測定は、Benedict の BMR の測定条件に従い、被験者は実験当日早朝、歩行あるいは車で実験室に来ることを許可され、30 分間の仰臥安静の後、採気が行われた。そのため、本研究では、このような方法で測定された早朝空腹時 RMR を BMR と同義として用いた。また、第 2 の目的として、BMR の推定式による推定値と実測値との一致度を、被験者の Body Mass Index (BMI) 毎に検討することとした。

B: 研究方法

分析を行うにあたり、本研究ではあらかじめ、安静時の代謝量が測定時の室温や被験者の摂食状態などに影響される事を考慮し¹⁷⁻²⁰⁾、Table 1 に示

した当時の標準化された BMR の測定条件に従って実施された報告のみを分析対象として用いることとした。実際には、1959 年から 1965 年にかけてわ

が国で公表された、BMR の個人別実測値が掲載されている論文 11 報を用いた²¹⁻³¹⁾。1 報を除き、これらはいずれも BMR の季節変動を検討したもので、個人ごとに月別の測定値が記載されている。対象者は、日本人男女 211 名であり、そのうちわけは、男子が 110 名 (6.9-78.5 歳)、女子が 101 名 (6.8-78.1 歳)であった。また、分析にはこれら全ての測定値を用いたことから、サンプルサイズは 2832 となった。測定時の室温、外気温および湿度の平均値、標準偏差およびその範囲は、各々、 22.5 ± 3.3 (12.0-30.5) 度、 17.4 ± 7.6 (1.0-32.2) 度、 71.9 ± 13.6 (38-99)%であった。このように、室温は原則として 18-25 度以内であったが、実際には 28.4%がそれより外れていた。

BMR の推定には、第 6 次改定日本人の栄養所要量 (Japanese Recommended Dietary Allowance: RDA-Jpn) に記載されている推定式³²⁾、Schofield³³⁾が提唱している年齢別の体重を変数とした推定式および FAO/WHO/UNU³⁴⁾が公表している体重を変数とした推定式を用いた。

統計処理は、SPSS package (9.0J for Windows) を用いて行った。全ての結果は、平均値 \pm 標準偏差で示した。BMR の実測値とその他の変数 (年齢、性別、

身長、体重、BMI、室温、外気温、湿度) との関係は、ピアソンの単相関係数によって評価した。さらに、BMR の変動要因を検討するために、年齢、性別、身長、体重、BMI、室温、外気温および湿度を独立変数、BMR の実測値を従属変数として重回帰分析 (ステップワイズ法、強制投入法) を行った。なお、性別についてはダミー変数を用いた (男子=1, 女子=0)。これまで報告されている BMR の推定式 (RDA-Jpn 式、Schofield 式、FAO/WHO/UNU 式) から算出した推定値と BMR の実測値の一致度は、Bland and Altman³⁵⁾の方法を用いて評価した。これは、推定値と実測値の差を両者の平均値の差に対してプロットし、推定値と実測値の差の平均値 \pm 2SD (95% 限界) を推定精度の指標として評価するものである。また、これらの差と平均値の単相関係数を求めた。BMR の推定値と実測値との比較には、対応のある t 検定を用いた。さらに誤差の変動を評価するために、平均誤差平方和の平方根を求めた (total error: TE)。BMR の推定値と実測値の関係は相関分析によって検討し、推定値と実測値とのずれの大きさを見るために、推定標準誤差 (standard error of estimate: SEE) を求めた。

C: 研究結果

対象者の身体的特徴と BMR の実測値は、FAO/WHO/UNU³⁴⁾にて用いられている年齢区分に従って 3 群に分類し、男

女別に Table 2 に示した。

BMR の実測値とその他の変数 (年齢、身長、体重、BMI、室温、外気温、湿

度)との単相関係数を Table 3 に示した。身長、体重および BMI は、3-10 歳未満の女子の BMI を除き、全て BMR と有意な正の相関関係が見られた。年齢は、3-10 歳未満では BMR との間に有意な正の相関関係が見られ、一方、18 歳以上では有意な負の相関関係が見られた。また、10-18 歳未満については、男子では弱い負の相関関係が見られたものの、女子では有意な関係は見られなかった。室温、外気温および湿度は、3-10 歳未満では、有意な相関関係が見られなかったものの、他の 2 群においては、全て有意な負の相関関係が見られた。

BMR の変動要因を検討するために重回帰分析(ステップワイズ法, 強制投入法)を行った。なお、BMR と年齢や室温などとの関係は曲線的であったことから、年齢、室温、外気温および湿度を 2 乗した値を独立変数に加えた。全ての対象者のデータを用いて分析を行った結果、寄与率の最も高かった独立変数は体重であり、全変動の 47.7%を説明した(Table 4)。また、年齢と性別により、さらに 23.7%が説明された。全ての独立変数によって BMR の変動の 77.9%が説明された。また、男女別にみると、寄与率の最も高かった変数は、男子において身長、女子において体重であり、各々 BMR の変動の 47.8%と 40.9%を説明した。男子において、BMR と身長あるいは体重との単相関係数をみると、いずれも $r=0.69$ であり、一方、女子では、各々 $r=0.63$ と $r=0.64$ であった。また、身長と体

重の単相関係数は、男子において $r=0.94$ 、女子において $r=0.89$ であり、両者の相関関係は強かった。そこで、男子においては身長あるいは体重を強制投入し、その後、他の全ての変数を用いてステップワイズ法による重回帰分析を行った。その結果、男子において初めに強制投入した身長あるいは体重の寄与率は、いずれも 47.8%であった。

Figure 1 には、Bland and Altman の方法を用いて、BMR の実測値とこれまで報告されている推定式(RDA-Jpn 式, Schofield 式, FAO/WHO/UNU 式)から算出した BMR の推定値の一致度を示した。FAO/WHO/UNU 式は、実測 BMR に比較して、上限および下限の範囲が最も大きく、一方、RDA-Jpn 式は最も小さかった。各式における推定値と実測値の差とその平均値との間には、いずれも弱い正の相関関係がみられた($p<0.01$)。BMR の実測値と推定値を詳細に比較した結果、Table 5 に示すように、RDA-Jpn 式による推定値は実測値に比較して 68kcal 小さかった($p<0.01$)。逆に、Schofield 式と FAO/WHO/UNU 式は、実測値よりも 84kcal、89kcal 大きかった($p<0.01$)。TE と SEE は、3 式でほぼ同じ値が得られた。さらに、男女別に検討すると、いずれの推定式においても推定値と実測値の一致度は、男子より女子において良好であった。また、TE と SEE は、男女別でも、全対象で比較した場合と同様に、3 式でほぼ同じ値が得られた(Table 5)。

さらに、18歳以上の被験者を Ferro-Luzzi et al³⁶⁾による BMI の分類方法に従い、痩せ、標準および肥満の3群に分類し、BMR の推定値と実測値の差を図示した (Figure 2)。なお、本研究の対象者の大多数は、痩せあるいは標準と分類されたため、以下、これら2群についてのみ検討することとした。痩せ群では Schofield 式と FAO/WHO/UNU 式による推定値が RDA-Jpn 式に比較して、標準群では RDA-Jpn 式による推定値が他の2式に比較して、実測値との差が小さかった。また、BMR の実測値と推定値を詳細に比較した結果を、Table 6 に示した。

D: 考察

本研究は、わが国において論文として公表された日本人男女における個人別 BMR の実測値を用いて、その変動要因について検討を行った。さらに、BMR の推定式による推定値と実測値との一致度を、被験者の BMI 毎に検討した。

Kashiwazaki⁴⁾は、日本人成人男女を対象に BMR の変動要因について検討し、全変動の 70%以上が身体の高さのみで説明されることを報告している。本研究では、さらに 20 歳未満の若年齢者を加えて検討を行ったところ、身体の高さに続き、年齢や性別が大きな役割を果たしていた。このように、成人のみを対象とした場合とは、変動要因それぞれの重みづけは異なっていたものの、全ての独立変数によって説明される BMR の変動の割合には、変化

痩せ群において、RDA-Jpn 式による推定値は、実測値に比較して 116kcal 小さかった ($p < 0.01$)。逆に、Schofield 式と FAO/WHO/UNU 式は、実測値よりも 105kcal、103kcal 大きかった ($p < 0.01$)。TE と SEE は、3 式でほぼ同じ値が得られた。標準群では、RDA-Jpn 式による推定値は実測値に比較して 61kcal 小さかった ($p < 0.01$)。一方、Schofield 式と FAO/WHO/UNU 式は、実測値よりも 136kcal、143kcal 大きかった ($p < 0.01$)。TE は、RDA-Jpn 式が他の2式より 48kcal、55kcal 小さかった。また、SEE は、3 式でほぼ同じ値が得られた。

が見られなかった。さらに、男女別にみると、寄与率の最も高かった独立変数は、男子において身長、女子において体重であった。しかし、男子において、身長と体重との関連は非常に強く ($r = 0.94$)、その結果、身長と体重それぞれの BMR への寄与率はいずれも 47.8%であった。このように、男女別でも、身体の高さは BMR の変動を説明する変数として主要な役割を果たしていた。

しかし、本研究では、BMR の変動の 22.1%を説明することが出来なかった。Cunningham³⁷⁾は、体構成を FFM と体脂肪量 (fat mass: FM) とに 2 分する two-compartment model により測定し、これらの結果と安静時エネルギー消費量 (resting energy expenditure: REE) との関係について検討した多数

の先行研究について、レビューを行っている。なお、この報告における REE は、BMR あるいは RMR と生理的に等しいものとして定義されている。これによると、成人の REE との関連が最も高い変数は FFM であり、FFM のみによって REE の変動の 65-90% が説明される。それゆえ、本研究において説明できなかった BMR の変動は、以下で述べるように、体構成を検討することによって、その一部は説明出来るかもしれない。

これまで報告されている BMR の推定式 (RDA-Jpn 式, Schofield 式, FAO/WHO/UNU 式) から算出した推定値と実測値の一致度を検討したところ、RDA-Jpn 式が、他の 2 式に比較して高かった (Figure 1)。さらに、対応のある t 検定によって実測値と推定値の比較を行ったところ、RDA-Jpn 式による推定値は、実測値に比較して有意に低く、一方、他の 2 式は有意に高かった。また、TE と SEE は、3 式でほぼ同じ値が得られた (Table 5)。このように、BMR の推定値と実測値との一致度は、用いた推定式によって異なっていた。前述したように、BMR は、食後 12 時間以上経過した早朝空腹時に、仰臥安静・覚醒状態で適正室温において測定される。そこで、これら 3 式に用いられた測定条件をみると、いずれも食後 12 時間以上経過した早朝空腹時に、仰臥安静状態で行われていた。しかし、温度条件については、原則より大幅に外れるデータ、あるいは明確でないデータが含まれていた。Kashiwazaki et al¹⁸⁾によると、BMR の

測定時の室温が 20 度では、BMR が季節により変動するかのように見えるが、25 度であればそれは観察されないことが明らかにされている。そのため、本研究でみられた推定値と実測値との不一致の要因の一部として、測定時の室温を十分に制御出来なかったことが影響しているものと考えられる。また、いずれの推定式においても推定値と実測値の一致度は、男子より女子において高かった。しかし、本研究ではこの要因について明らかにすることは出来なかった。

また、本研究では、肥満のおおよその目安として利用されている BMI により対象をグループ化し、BMR の推定値と実測値の一致度について検討した。その結果、推定値と実測値の一致度は、痩せ群では Schofield 式と FAO/WHO/UNU 式による推定値が RDA-Jpn 式に比較して、標準群では RDA-Jpn 式による推定値が他の 2 式に比較して実測値との差が小さい傾向を示した (Figure 2)。さらに、群毎に、実測値と推定値について詳細な比較を行った (Table 6)。その結果、痩せ群では、TE と SEE は、3 式でほぼ同じ値が得られた。一方、標準群では、RDA-Jpn 式の TE は他の 2 式より小さかったが、SEE は 3 式でほぼ同じ値が得られた。このように、推定値と実測値の一致度は、対象者の BMI で分類した肥満の程度により異なっていた。肥満者と正常体重者を対象に BMR の実測値と推定値の差を検討したところ、両群において推定値は実測値に比較して

高いが、その程度は2群間で異なる事が報告されている¹²⁾。さらに、BMRの絶対値は肥満者が正常体重の者に比較して有意に大きいものの、FFMあたりのBMRには有意な差はみられない事が明らかにされている。また、日常の運動習慣が異なる被験者のBMRを比較した研究では、体重あたりのBMRは、日頃運動を行っている者が行っていない者に比較して有意に高いものの、FFMあたりでは両者の間に有意な差がみられない事が明らかにされている³⁸⁾。

以上のように、早朝空腹時RMRの変

動の77.9%は、体重、年齢、性別、外気温、身長、BMIおよび室温によって説明されたが、残り22.1%の変動は説明することが出来なかった。また、その寄与率は、若年齢者を含む年齢層の幅を広げても変化しなかった。さらに、早朝空腹時RMRの推定値と実測値との一致度は、用いた推定式によって異なっていた。また、その一致度は、対象者のBMIで分類した肥満の程度により異なっていた。そのため、従来までのBMRの測定で考慮されなかった体構成などについての検討が、今後必要である。

E 結論

本研究は、公表された日本人男女の個人別BMRの実測値を用いて、早朝空腹時RMRの変動要因について検討を行った。さらに、BMRの推定式(RDA-Jpn式, Schofield式, FAO/WHO/UNU式)から算出した推定値と実測値との一致度について検討した。その結果、早朝空腹時RMRの変動は、体重のみによってその40%以上が説明された。さらに、他の独立変数(性別、年齢、身長、BMI、室温、外気温)を加えることにより、77.9%が説明された。その寄与率は、

若年齢者を含む年齢層の幅を広げても変化しなかった。また、早朝空腹時RMRの推定値と実測値との一致度は、用いた推定式によって異なっていた。そして、その一致度は、対象者のBMIで分類した肥満の程度により異なっていた。これらのことから、適切なBMRのデータベースを作成するために、従来までのBMRの測定で考慮されなかった体構成を、今後の研究において検討すべきである。

引用文献

- 1) Ravussin, E., Lillioja, S., Anderson, T. E., Christin, L. and Bogardus, C.: Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber, *J. Clin. Invest.*, 78, 1568~1578 (1986)
- 2) Ravussin, E., Burnand, B., Schutz, Y. and Jequier, E.: Twenty-four-hour energy

- expenditure and resting metabolic rate in obese, moderately obese, and control subjects, *Am. J. Clin. Nutr.*, 35, 566~573 (1982)
- 3) Rumpler, W. V., Seale, J. L., Conway, J. M. and Moe, P. W.: Repeatability of 24-h energy expenditure measurements in humans by indirect calorimetry, *Am. J. Clin. Nutr.*, 51, 147~152 (1990)
 - 4) Kashiwazaki, H.: Seasonal fluctuation of BMR in populations not exposed to limitations in food availability: reality or illusion?, *Eur. J. Clin. Nutr.*, 44 (Suppl 1), 85~93 (1990)
 - 5) Weinsier, R. L., Schutz, Y. and Bracco, D.: Reexamination of the relationship of resting metabolic rate to fat-free mass and to the metabolically active components of fat-free mass in humans, *Am. J. Clin. Nutr.*, 55, 790~794 (1992)
 - 6) Henry, C. J. K., Dyer, S. and Ghusain-Choueiri, A.: New equations to estimate basal metabolic rate in children aged 10-15 years, *Eur. J. Clin. Nutr.*, 53, 134~142 (1999)
 - 7) Henry, C. J. K.: Mechanisms of changes in basal metabolism during ageing, *Eur. J. Clin. Nutr.*, 54 Suppl 3, S77~S91 (2000)
 - 8) Benedict, F. G.: Factors affecting basal metabolism, *J. Biol. Chem.*, 20, 263~299 (1915)
 - 9) Bray, G. A. and Atkinson, R. L.: Factors affecting basal metabolic rate, *Prog. Fd. Nutr. Sci.*, 2, 395~403 (1977)
 - 10) Harris, J. A. and Benedict, F. G.: A biometric study of basal metabolism in man, (1919) Carnegie Institution of Washington, Washington
 - 11) Owen, O. E., Kavle, E., Owen, R. S., Polansky, M., Caprio, S., Mozzoli, M. A., Kendrick, Z. V., Bushman, M. C. and Boden, G.: A reappraisal of caloric requirements in healthy women, *Am. J. Clin. Nutr.*, 44, 1~19 (1986)
 - 12) Kashiwazaki, H., Suzuki, T. and Inaoka, T.: Postprandial resting metabolic rate and body composition in the moderately obese and normal-weight adult subjects at sitting posture, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 34, 399~411 (1988)
 - 13) Mifflin, M. D., St Jeor, S. T., Hill, L. A., Scott, B. J., Daugherty, S. A. and Koh, Y. O.: A new predictive equation for resting energy expenditure in

- healthy individuals, *Am. J. Clin. Nutr.*, 51, 241 ~ 247 (1990)
- 14) Clark, H. D. and Hoffer, L. J. : Reappraisal of the resting metabolic rate of normal young men, *Am. J. Clin. Nutr.*, 53, 21 ~ 26 (1991)
- 15) Leung, R., Woo, J., Chan, D. and Tang, N. : Validation of prediction equations for basal metabolic rate in chinese subjects, *Eur. J. Clin. Nutr.*, 54, 551~554 (2000)
- 16) De Lorenzo, A., Tagliabue, A., Andreoli, A., Testolin, G., Comelli, M. and Deurenberg, P. : Measured and predicted resting metabolic rate in Italian males and females, aged 18-59y, *Eur. J. Clin. Nutr.*, 55, 208 ~ 214 (2001)
- 17) 柏崎 浩: エネルギー所要量の歴史と現状, 栄養所要量・基準量と食生活ガイドライン/小林修平編, pp.61~125 (1997) 建社, 東京
- 18) Kashiwazaki, H., Dejima, Y. and Suzuki, T. : Influence of upper and lower thermoneutral room temperatures (20 °C and 25 °C) on fasting and post-prandial resting metabolism under different outdoor temperatures, *Eur. J. Clin. Nutr.*, 44, 405 ~ 413 (1990)
- 19) Berke, E. M., Gardner, A. W., Goran, M. I. and Poehlman, E. T. : Resting metabolic rate and the influence of the pretesting environment, *Am. J. Clin. Nutr.*, 55, 626~629 (1992)
- 20) Goran, M. I. and Nagy, T. R. : Effect of the pre-testing environment on measurement of metabolic rate in children. *Int. J. Obes.*, 20, 83~87 (1996)
- 21) 川越武信: 発育期日本人の基礎代謝の研究 初経来潮にともなう基礎代謝の推移, 長崎総合公衆衛生学雑誌, 8, 209~245 (1959)
- 22) 銚石武一郎: 日本人老人 (60 才以上) の基礎代謝の季節変動, 長崎総合公衆衛生学雑誌, 11, 1~12 (1962)
- 23) 重城範嘉: 日本人高校生女子基礎代謝の季節変動, 長崎総合公衆衛生学雑誌, 11, 1~13 (1962)
- 24) 浜口美博: 日本人中学生男子の基礎代謝の季節変動, 長崎総合公衆衛生学雑誌, 12, 39 ~ 55 (1963)
- 25) 黒田昌樹: 日本人発育期児童の基礎代謝の季節変動(小学校低学年女子篇), 長崎総合公衆衛生学雑誌, 12, 1~13 (1963)
- 26) 中林勝秀: 日本人女子(20 才台) の基礎代謝の季節変動, 長崎総合公衆衛生学雑誌, 12, 13~24 (1963)
- 27) 富永賢一郎: 日本人女子 (30 才

- 台)の基礎代謝の季節変動, 長崎総合公衆衛生学雑誌, 12, 1~12 (1963)
- 28) 山崎洋二: 日本人発育期児童の基礎代謝の季節変動 (小学校低学年男子篇), 長崎総合公衆衛生学雑誌, 12, 14~25 (1963)
- 29) 隈部平昭: 炭坑労務者(30才台坑内夫)の労作別より見た基礎代謝の季節変動, 長崎総合公衆衛生学雑誌, 13, 23~39 (1964)
- 30) 竹村勝公: 日本人男子(20才台)の基礎代謝の季節変動, 長崎総合公衆衛生学雑誌, 13, 40~51 (1964)
- 31) 吉国重正: 日本人男子(40才台)の基礎代謝の季節変動 (炭坑労働者の労作強度別よりみて), 長崎医学会雑誌, 40, 413~438 (1965)
- 32) 健康・栄養情報研究会編: 第六次改定日本人の栄養所要量 - 食事摂取基準 - (1999) 第一出版, 東京
- 33) Schofield, W. N.: Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work, Hum. Nutr. Clin. Nutr., 39C Suppl 1, 5~41 (1985)
- 34) FAO/WHO/UNU: Energy and protein requirements, Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation, Technical Report Series 724 WHO, (1985) Geneva
- 35) Bland, J. M. and Altman, D. G.: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement, Lancet, 1, 307~310 (1986)
- 36) Ferro-Luzzi, A., Sette, S., Franklin, M. and James, W. P. T.: A simplified approach of assessing adult chronic energy deficiency, Eur. J. Clin. Nutr., 46, 173~186 (1992)
- 37) Cunningham, J. J.: Body composition as a determinant of energy expenditure: a synthetic review and a proposed general prediction equation, Am. J. Clin. Nutr., 54, 963~969 (1991)
- 38) Smith, D. A., Withers, R. T., Brinkman, M., Tucker, R. C., Chatterton, B. E., Schultz, C. G. and Clark, D. G.: Resting metabolic rate, body composition and aerobic fitness comparisons between active and sedentary 54-71 year old males, Eur. J. Clin. Nutr., 53, 434~440 (1999)

F: 健康危険情報

なし

G: 研究発表

1. 論文発表

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) 印刷中

2. 学会発表

1) 山村千晶, 柏崎浩 (国立健康・栄養研究所) 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。第 55 回日本栄養・食糧学会大会、平成 13 年 5 月 6 - 8 日、京都、国立京都国際会館

2) Yamamura, C and Kashiwazaki, H (2001) Reanalysis of the Japanese post-absorptive resting metabolic rate based on published data. 17th International Congress of Nutrition, Aug 27-31, 2001. Vienna, Austria.

H: 知的財産権の出願・登録状況

なし

Table 1 The standard measurement method for basal metabolic rate

- a) The subjects were requested to report under post-absorptive conditions to the laboratory in the early morning and to rest quietly lying on their back for at least 30 min.
- b) The oral temperature was measured to check the health conditions.
- c) The pulse rate and respiration frequency were measured in order to check whether subject was under rest and relaxing. In particular, the collection of expired air started after the pulse rate indicated resting conditions.
- d) As a rule, the room-temperature was controlled within 18-25°C.
- e) On female subjects, the measurement was made within 1 week after the menstruation.
- f) The data were assessed to be appropriate and used to calculate BMR when the respiratory quotient was within 0.75 to 0.99.

Kashiwazaki¹⁷⁾

Table 2 Physical characteristics and basal metabolic rate of subjects

Variable (Mean±SD)		Age groups		
		3 to 9 years [#] (Male n=17, Female n=17)	10 to 17 years [#] (Male n=18, Female n=36)	18-years [#] (Male n=75, Female n=48)
Height (cm)	Male	118.3±3.3	151.2±5.3	162.0±5.8
	Female	117.1±3.5	152.2±4.0	150.3±4.1
Weight (kg)	Male	20.0±1.3	40.1±3.6	55.3±6.2
	Female	19.4±1.1	44.1±5.0	46.1±5.4
BMI (kg/m ²)	Male	14.3±0.7	17.5±0.9	21.1±1.9
	Female	14.1±0.6	19.0±2.0	20.4±2.2
BMR (kcal/24h)	Male	1009.9±70.3	1357.6±108.3	1319.9±162.3
	Female	917.9±63.8	1210.8±112.8	1080.7±115.3

BMI: body mass index, BMR: basal metabolic rate.

#: Following to the table of FAO/WHO/UNU³⁴⁾, we have classified the subjects into three age-groups for the comparative purpose. However, the original table of FAO/WHO/UNU³⁴⁾ includes overlapping ages in an age-group with other age-group such as “3-10 years” and “10-18 years”, we have modified age ranges to avoid unnecessary confusion as shown in Table 2.