

A 目的

たんぱく質必要量の算出には、これまで窒素出納法が用いられてきた^{1,2)}。窒素出納法は、食事等からの摂取窒素量と、皮膚表面や尿、糞等からの排出窒素量を調べ、窒素平衡維持量をたんぱく質必要量としている。窒素出納法はたんぱく質栄養研究に最も標準的かつ有用な方法として用いられている。しかし、摂取窒素量を過大評価し、排泄窒素量を過小評価することから、出納値が正に傾きやすいこと³⁾や、被験者および測定者への負担が大きいことが指摘されている。そこで、より簡便な測定法の確立が望まれてきた。

指標アミノ酸酸化 (Indicator Amino Acid Oxidation; IAAO) 法は、近年新しく開発された¹³C 標識アミノ酸法のひとつである。体内で必要とされるたんぱく質が過不足なく合成されるためには、たんぱく質の構成アミノ酸が全て揃っている必要がある。体内でのたんぱく質合成量は第一制限アミノ酸量によって制限される。摂取する第一制限アミノ酸量が少なければ、たんぱく質合成に利用されなかった他のアミノ酸の余剰分がエネルギーとして利用され、二酸化炭素 (CO₂) として呼気中へ排出される。第一制限アミノ酸の摂取量が増すと、他のアミノ酸もたんぱく質合成に多く利用され、アミノ酸由来の呼気中への CO₂ 排出量は減少する。IAAO 法の原理はこの反応を利用するものである。¹³C で標識した指標アミノ酸を経口摂取し、発生する [¹³C]-CO₂ (¹³CO₂) 量を測定する⁴⁾。

IAAO 法は、現在までにブタやヒトにおいて、不可欠アミノ酸の必要量算出に用いられてきた^{5,6)}。2007 年に Humayun ら⁷⁾ は、初めて IAAO 法をたんぱく質必要量の測定に応用した。その結果、成人男性のたんぱく質必要量を 0.93 g/kg BW/day と算出し、窒素出納法で算出されている現行の値

より高値であったと報告した。その後、IAAO 法によるたんぱく質必要量については、学童期の子ども⁹⁾、成人男性^{7,8)} や成人女性¹⁰⁾ を対象として検討され、報告されている。Humayun ら⁷⁾ は IAAO 法に、たんぱく質源としてアミノ酸混合物を用いているが、アミノ酸混合の消化・吸収機構はたんぱく質とは異なると考えられる。京都府立大学において、たんぱく質源として鶏卵を用いて、IAAO 法により日本人成人男性 (22±0.6 歳) のたんぱく質代謝要求量を検討した結果、0.89 g/kg BW/day⁸⁾ であった。

これまで、高齢者を対象とした、IAAO 法を用いてたんぱく質代謝要求量を検討した報告はない。また、窒素出納法による高齢者のたんぱく質必要量についての研究報告例も少なく、日本人の食事摂取基準 (2015 年版)¹¹⁾ においては 70 歳以上で 1 区分となっており、0.85 g/kg BW/day と策定されている。この値は若年成人の 0.72 g/kg BW/day に比べ高値である。

本研究では、日本人の食事摂取基準の見直しを検討するため、3 年間の研究期間で、70 歳以上の高齢者を 70~74 歳、75~79 歳、80 歳以上の 3 つの年齢区分に分けて、鶏卵たんぱく質をたんぱく質源として IAAO 法を行い、高齢者のたんぱく質代謝要求量 (推定平均必要量: EAR) の算出および年齢による違いの有無について検討することを目的とした。

B 方法

本研究は、京都府立大学倫理委員会の承認 (京都府立大学、承認番号 51) を得て、実施した。

1) 被験者

70~74 歳 (男性 6 名、女性 4 名)、75~79 歳 (男性 4 名、女性 6 名)、80 歳以上 (男性 3 名、女性 7 名) の自立した生活を営む健康

な日本人の在宅高齢者を被験者とした。各被験者の年齢、体重、BMI および自記式食事歴法質問票 (DHQ)による食事調査結果は **Table 1** に示した。

2) 実験食

摂取たんぱく質量が、0.5、0.7、0.9、1.0、1.2、1.4 g/kg BW/day となるよう調整した6段階の実験食を用いた。たんぱく質源には鶏卵を用い、玉子焼きにして提供した。6段階のたんぱく質量のそれぞれの玉子焼きの栄養成分組成を **Table 2** に示した。

実験食の1日あたりのエネルギー摂取量は、70歳以上の基礎代謝基準値(男性: 21.5 kcal/kg BW/day、女性: 20.7 kcal/kg BW/day) に各被験者の体重および身体活動レベル I (70~79歳は 1.50、80歳以上は 1.45) を乗じて算出した¹¹⁾。エネルギー源には、ういろう、粉あめを用いた。コーンスターチ、甘藷澱粉、スクロースおよび水を混合して加熱し、冷やしたものを、ういろうとした。粉あめは、紅茶に溶かして提供した。

1.4 g/kg BW/day のたんぱく質に含まれるフェニルアラニンとチロシンの量 (76.6 mg/kg BW および 57.0 mg/kg BW) と同量になるよう、摂取たんぱく質量 0.5~1.2 g/kg BW/day の実験食には、結晶フェニルアラニンと結晶チロシンを添加した (**Table 3**)。栄養素の不足が生じないように、1日目安量のマルチビタミン (大塚製薬株式会社) およびマルチミネラル (大塚製薬株式会社) を提供した。

3) 実験プロトコール

被験者には、実験前日および実験中の激しい運動およびアルコールの摂取を避けるように依頼した。また、前日 21 時以降は水、お茶および紅茶以外は摂取せず、実験開始まで 12 時間絶食を依頼した。

被験者に、実験日の 9:00 から 18:00 ま

で 1 時間ごとに、実験食を 1 日摂取量の 1/12 量ずつ提供した。

13:00 の実験食とともに、 $\text{NaH}^{13}\text{CO}_3$ を 0.176 mg/kg BW、L-[1- ^{13}C]phenylalanine (^{13}C -Phe) を 0.66 mg/kg BW 摂取させた。

14:00 以降は 18:00 まで、実験食とともに ^{13}C -Phe を 1.20 mg/kg BW 摂取させた。

13:00 から 19:00 まで経時的に、呼気バッグにて呼気を採取した (**Table 4**)。赤外線分光分析装置 POcone (大塚電子株式会社) にて呼気中 $^{13}\text{CO}_2$ 量を測定した。

各被験者に 6 段階のたんぱく質摂取量のすべての実験への参加を依頼した。すなわち、2 週間の実験期間内に、各被験者につき述べ 6 日間の実験を実施した。

4) 統計学的処理

結果は平均値±標準誤差で示した。経時的に採取した呼気サンプルに関して、13:00 の POcone 測定値を Pre 値として差し引いた値を呼気 $^{13}\text{CO}_2$ 量 (%/kg BW) とした。18:30 の呼気 $^{13}\text{CO}_2$ 量を Mixed Effect Change Point Regression Model (ME-CPRM)¹²⁾により解析し、IAAO 法における変曲点を算出した。

C 結果

呼気 $^{13}\text{CO}_2$ 量の経時的变化を **Figure 1** に示した。13:00 の ^{13}C -Phe 摂取後、いずれのたんぱく質摂取量においても急速に呼気 $^{13}\text{CO}_2$ 量が上昇した。17:00 以降、呼気 $^{13}\text{CO}_2$ 量は、0.5 g/kg BW/day のたんぱく質摂取時は 1.4 g/kg BW/day の摂取時に比べ高い値で推移した。

18:30 の呼気 $^{13}\text{CO}_2$ 量を ME-CPRM により解析し、変曲点に相当するたんぱく質摂取量を、代謝要求量と判断した。鶏卵をたんぱく質源とした際の健康な日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量 (EAR) は、IAAO 法により、70~74 歳で 1.20 g/kg BW/day、75~79 歳で 1.12 g/kg BW/day、80 歳以上で 1.20 g/kg

BW/day と算出された(Figure 2)。

また、70 歳以上 (n=30) のデータをまとめて CPRM で再解析を行った結果、たんぱく質代謝要求量(EAR)は 1.20 g/kg BW/day、95%信頼区間の上限 (RDA) は、1.79 g/kg BW/day と算出された (Figure 3)。

D 考察

本報告において、健康な日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量は、70~74 歳で 1.20 g/kg BW/day、75~79 歳で 1.12 g/kg BW/day、80 歳以上で 1.20 g/kg BW/day と算出された。70~74 歳、75~79 歳、80 歳以上での 95% 信頼区間は重なっており、たんぱく質代謝要求量に関して 3 つの年齢区分の間で顕著な違いはないと考えられた。

本研究で IAAO 法により算出されたたんぱく質代謝要求量の値は、現行の高齢者のたんぱく質必要量である 0.85 g/kg BW/day と比較して高値である。現行のたんぱく質必要量は、窒素出納法で算出されており、低たんぱく質摂取に適応させたたんぱく質代謝状態での窒素平衡維持に必要なたんぱく質量である。よって、このたんぱく質必要量を下回るたんぱく質量を継続的に摂取すると、たんぱく質欠乏症が発症すると考えられる。そのため、現行のたんぱく質必要量は、加齢による除脂肪量の低下を防止できる値であるか不明である。サルコペニア等が問題となる高齢者では、骨格筋の変化によるたんぱく質代謝への影響も考慮する必要がある。また、身体活動量が低下すると骨格筋のたんぱく質代謝が低下し、たんぱく質代謝要求量は大きくなる。エネルギー摂取量が低い場合にもたんぱく質代謝要求量は大きくなるため、高齢者ではたんぱく質摂取量が不足しないよう考慮が必要である。一方、IAAO 法は、一定のたんぱく質摂取状態への適応期間を必要とせず、日常的に摂取しているたんぱく質摂取量で、たんぱく

質代謝を維持するために必要なたんぱく質摂取量を推定することが出来る。日常的な食事と異なるたんぱく質摂取レベルに変化させて一定量のたんぱく質を継続的に摂取するとき、たんぱく質代謝が安定するまでには 5~7 日間を要する¹³⁾。そのため、IAAO 法の実験日にたんぱく質摂取量を一時的に変化させても、習慣的なたんぱく質摂取量でのたんぱく質代謝応答となる。習慣的に十分量のたんぱく質を摂取している状態で IAAO 法によって算出される値は、習慣的なたんぱく質摂取量でのたんぱく質代謝に必要なたんぱく質代謝要求量と考えられる。よって、このたんぱく質摂取量を下回るたんぱく質量を継続的に摂取してもたんぱく質欠乏症は発症しないと考えられる。

本研究の結果、高齢者では、これまでに京都府立大学で実施した日本人成人男性のたんぱく質代謝要求量の検討結果⁸⁾と比べて高値であった。加齢により、最大換気量、腎血流量、肺活量等の生理機能は低下し、体組織では骨格筋が減少し、脂肪は増加傾向となる。高齢者では、成人に比べて肝臓でのアルブミン合成能が低下するほか、たんぱく質分解能も低下する¹⁴⁾。これらの変化により、たんぱく質の代謝回転速度や生理機能が低下することが高齢者のたんぱく質の生体内利用効率に影響を与えていると考えられた。

被験者の習慣的な食事摂取量を調査したところ、70~74 歳、75~79 歳、80 歳以上でそれぞれ、エネルギー摂取量は 1746、2170、2130 kcal/day、たんぱく質摂取量は 1.1、1.6、1.8 g/kg BW/day と算出された (Table 1)。これらの値は、平成 23 年国民健康・栄養調査¹⁵⁾の 70 歳以上男女におけるエネルギー摂取量の中央値 (1,691 kcal/day)、たんぱく質摂取量の中央値 (1.16 g/kg BW/day) と比較してやや高値であったが、本研究の被験者は適切な栄養摂取ができていない集団で

あると考えた。高齢者では栄養摂取や身体活動における個人差が大きく、それは暦年齢よりも総死亡率と強い相関を示すと報告されている¹⁶⁾。高齢者では、現在の心身の状態を考慮した適切な栄養摂取を図ることが重要である。健康な在宅高齢者と施設入居者や在宅ケア対象の高齢者では、生理機能や生活活動量に差があるため、たんぱく質代謝要求量も異なることが考えられる。

E 結論

本研究の結果より、鶏卵をたんぱく質源とした際の健康な日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量(推定平均必要量)は、IAAO法により、70~74、75~79、80歳以上でそれぞれ、1.20 g/kg BW/day、1.12 g/kg BW/day、1.20 g/kg BW/day と算出された。70歳以上の3つの年齢区分でたんぱく質代謝要求量に顕著な違いは認められなかった。高齢者では若年成人と比較して、より多くのたんぱく質を摂取する必要があると考えられた。

F 研究発表

1. 発表論文
なし
2. 学会発表
 - 1) 後藤千景, 小川亜紀, 小林ゆき子, 桑波田雅士, 吉田英世, 木戸康博. 指標アミノ酸酸化法による日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量の算出. 第60回日本栄養改善学会学術総会(神戸), 2013年9月.
 - 2) 清水香名子, 近藤祐美加, 大嶋美咲, 小川亜紀, 速水耕介, 小林ゆき子, 桑波田雅士, 吉田英世, 木戸康博. 指標アミノ酸酸化法を用いた日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量の算出. 第13回日本栄養改善学会近畿支部学術総会(京都), 2014年12月.
 - 3) 大嶋美咲, 清水香名子, 近藤祐美加, 小川亜紀, 速水耕介, 小林ゆき子, 桑波

田雅士, 木戸康博. 指標アミノ酸酸化法を用いた日本人成人女性のたんぱく質必要量の個人内変動・個人間変動の検討. 第13回日本栄養改善学会近畿支部学術総会(京都), 2014年12月.

G 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

H 引用文献

1. Rose, W. C.: The amino acid requirements of adult man. *Nutr. Abst. Rev.*, 27: 631-647, 1957.
2. Rand, W. M., Pellet, P. L., Young, V. R.: Meta-analysis of nitrogen balance studies for estimating protein requirements in healthy adults. *Am. J. Clin. Nutr.*, 77: 109-127 2007.
3. Hegsted, D. M.: Balance studies. *J. Nutr.*, 106: 307-311, 1976.
4. 岸恭一, 木戸康博: タンパク質・アミノ酸の新栄養学. 講談社, 東京, 2007.
5. Ball, R. O., Bayley, H. S.: Influence of dietary protein concentration on the oxidation of phenylalanine by the young pig. *Br. J. Nutr.*, 55: 651-658, 1986.
6. Kriengsinyos, W., Wykes, L. J., Ball, R. O., Pencharz, P. B.: Oral and intravenous tracer protocols of the indicator amino acid oxidation method provide the same estimate of the lysine requirement in healthy men. *J. Nutr.*, 132:2251-2257, 2002.
7. Humayun, M. A., Elango, R., Ball, R. O., Pencharz, P. B.: Reevaluation of the protein requirement in young men with the indicator

- amino acid oxidation technique. *Am. J. Clin. Nutr.*, 86: 995-1002, 2007.
8. 木戸康博: たんぱく質の出納と生活習慣病関連の検討解析. 平成 23 年度厚生労働科学研究費補助金(循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業), 日本人の食事摂取基準の改定と活用に資する総合的研究. 平成 23 年度総括・分担研究報告書, 27-38, 2011.
 9. Elango, R., Humayun, M. A., Ball, R. O., Pencharz, P. B.: Protein requirement of healthy school-age children determined by the indicator amino acid oxidation method. *Am. J. Clin. Nutr.*, 94: 1545-52, 2011.
 10. Tian, Y., Liu, J., Zhang, Y., Piao, J., Gou, L., Tian, Y., Li, M., Ji, Y., Yang, X.: Examination of Chinese habitual dietary protein requirements of Chinese young female adults by an indicator amino acid method. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.*, 20: 390-396, 2011.
 11. 厚生労働省「日本人の食事摂取基準」策定検討報告書: 日本人の食事摂取基準 [2015 年版]. 第一出版, 東京, 2014
 12. Hayamizu, K., Kato, M., Hattori, S.: Determining amino acid requirements from requirements from repeated observations on indicator amino acid oxidation method by mixed-effect change-point regression models. *J. Clin. Biochem. Nutr.* 49: 115-120, 2011.
 13. Uauy, R., Scrimshaw, N. S., Rand, W. M., Yong, V. R.: Human protein requirements: Obligatory urinary and fecal nitrogen losses and the factorial estimation of protein needs in elderly males. *J. Nutr.* 108: 97-103, 1978.
 14. 中坊幸弘, 木戸康博(編集). 応用栄養学 第 3 版, 講談社, 東京, 2012
 15. 厚生労働省. 平成 23 年国民健康・栄養調査報告. 東京, 2013
 16. Mitnitski AB, Graham JE, Mogilner AJ, Rockwood K. Frailty, fitness and late-life mortality in relation to chronological and biological age. *BMC Geriatr* 2002; 2: 1

Table 1-1 Subject characteristics of elder persons (Age:70-74)

Subject	Sex	Age	Weight	BMI ^(a),b)	Energy	Protein	PFC ratio ^(b),c)
		(y)	(kg)	(kg/m ²)	intake ^(b) (kcal/day)	intake ^(b) (g/kg BW/day)	P : F : C (%E)
AA	M	74	59.3	21.9	2,318	1.50	15 : 29 : 56
AB	M	73	59.9	23.1	2,668	1.88	17 : 33 : 50
AC	M	71	72.7	27.1	1,371	0.63	14 : 18 : 68
AD	M	70	59.3	21.1	1,420	0.76	13 : 18 : 69
AE	M	72	58.7	21.2	1,989	1.11	15 : 25 : 60
AF	M	71	65.5	23.3	1,745	0.90	13 : 47 : 40
AG	F	72	57.2	25.3	1,434	1.10	18 : 32 : 50
AH	F	72	53.6	24.5	1,587	0.99	14 : 20 : 66
AI	F	72	41.2	17.4	—	—	—
AJ	F	72	55.9	25.4	1,179	0.62	12 : 19 : 69
Mean±SE		71.9±0.3	58.3±2.6	23.0±0.9	1746±164	1.1±0.14	14 : 27 : 59

Table 1-2 Subject characteristics of elder persons (Age:75-79)

Subject	Sex	Age	Weight	BMI ^(a),b)	Energy	Protein	PFC ratio ^(b),c)
		(y)	(kg)	(kg/m ²)	intake ^(b) (kcal/day)	intake ^(b) (g/kg BW/day)	P : F : C (%E)
BA	M	75	65.4	22.5	2340	0.9	10 : 17 : 40
BB	M	75	60.2	23.4	2661	1.7	15 : 30 : 51
BC	M	76	51.3	20.0	2575	1.5	12 : 21 : 66
BD	M	78	54.2	21.6	2218	1.5	15 : 26 : 50
BE	F	76	45.5	18.7	1330	1.2	17 : 22 : 62
BF	F	77	41.2	19.7	2485	2.2	15 : 30 : 58
BG	F	78	61.8	27.6	2191	1.1	13 : 29 : 58
BH	F	78	52.3	21.6	—	—	—
BI	F	78	52.1	23.5	1558	0.9	12 : 17 : 71
BJ	F	78	56.8	—	—	—	—
Mean±SE		76.9±0.4	54.1±2.3	22.1±0.9	2170±170	1.6±0.2	13 : 25 : 61

Table 1-3 Subject characteristics of elder persons (Age:80~)

Subject	Sex	Age	Weight	BMI ^{a),b)}	Energy intake ^{b)}	Protein intake ^{b)}	PFC ratio ^{b),c)}
		(y)	(kg)	(kg/m ²)	(kcal/day)	(g/kg BW/day)	P : F : C (%E)
CA	F	83	30.0	16.2	2819	3.1	13 : 33 : 54
CB	F	83	38.0	22.4	1954	2.0	16 : 33 : 51
CC	F	82	45.5	21.6	2196	1.5	13 : 45 : 42
CD	F	83	45.9	22.3	2264	2.1	17 : 36 : 47
CE	F	81	52.7	28.6	2199	1.4	13 : 39 : 48
CF	F	85	37.7	17.2	2177	2.8	19 : 37 : 44
CG	M	85	55.0	22.9	1604	1.1	15 : 24 : 61
CH	M	83	61.5	25.9	2477	1.4	14 : 31 : 55
CI	M	83	50.0	19.5	2275	1.5	13 : 19 : 68
CJ	F	81	49.0	22.3	1334	0.8	12 : 26 : 62
Mean ± SE		82.9 ± 0.4	46.5 ± 2.9	21.9 ± 1.2	2130 ± 133	1.8 ± 0.2	15 : 32 : 53

a) BMI: body mass index

b) Energy, BMI, Protein intake and PFC ratio data are estimated from self- administered diet history questionnaire.

c) PFC ratio: protein, fat and carbohydrate energy ratio.

Table 2 Composition of the omelet (Body Weight : 60 kg)

	Protein intake (g/kg BW/day)					
	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4
Egg (g)	20	28	37	41	49	57
Olive oil (g)	2.0	2.8	3.7	4.1	4.9	5.7
Energy (kcal)	49	69	89	99	119	138
Protein (g)	2.5	3.5	4.5	5.0	6.0	7.0
Fat (g)	4.1	6.4	8.3	8.3	9.9	11.6

Table 3 Amino acid composition of reference protein and various test intake

	Reference protein (Egg protein composition) (mg/g protein)	Protein intake (g/kg BW/day)					
		0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4
Ala	61.4	30.7	43.0	55.3	61.4	73.7	86.0
Arg	75.1	37.6	52.6	67.6	75.1	90.1	105.1
Asn	33.3	16.7	23.3	30.0	33.3	40.0	46.6
Asp	33.3	16.7	23.3	30.0	33.3	40.0	46.6
Cys	22.1	11.1	15.5	19.9	22.1	26.5	30.9
Gln	56.6	28.3	39.6	50.9	56.6	67.9	79.2
Glu	56.6	28.3	39.6	50.9	56.6	67.9	79.2
Gly	33.3	16.7	23.3	30.0	33.3	40.0	46.6
His	22.7	11.4	15.9	20.4	22.7	27.2	31.8
Ile	62.8	31.4	44.0	56.5	62.8	75.4	87.9
Leu	83.3	41.7	58.3	75.0	83.3	100.0	116.6
Lys	75.7	37.9	53.0	68.1	75.7	90.8	106.0
Met	29.6	14.8	20.7	26.6	29.6	35.5	41.4
Phe	54.7	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6
Pro	41.9	21.0	29.3	37.7	41.9	50.3	58.7
Ser	83.9	42.0	58.7	75.5	83.9	100.7	117.5
Thr	47.1	23.6	33.0	42.4	47.1	56.5	65.9
Trp	15.6	7.8	10.9	14.0	15.6	18.7	21.8
Tyr	40.7	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0
Val	70.3	35.2	49.2	63.3	70.3	84.4	98.4

Table 4 The protocol for each study day

Time	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
Exp. Diet ^{a)}	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
¹³ C-Phe ^{b)}					■	□	□	□	□	□	
NaH ¹³ CO ₃ ^{c)}					⊙						
Breath sample ^{d)}					◆◆	◆	◆	◆	◆◆	◆◆	◆

- a) The experimental diet (○) was a omlet, uiro, and sucrose. The diet was provided hourly for 10 h. Each meal was isocaloric and isonitrogenous and represented 1/12 of each subject’s daily requirement.
- b) Priming dose of ¹³C-Phe was started at the 5th meal and continued hourly throughout the remaining 4 h of study. ■: 0.66 mg/kg BW. □: 1.20 mg/kg BW.
- c) Priming does of NaH¹³CO₃ was started at the 5th meal. ⊙: 0.176 mg/kg BW.
- d) Breath samples (◆) were collected at 13:00, 13:30, 14:00, 15:00, 16:00, 17:00, 17:30, 18:00, 18:30, and 19:00.

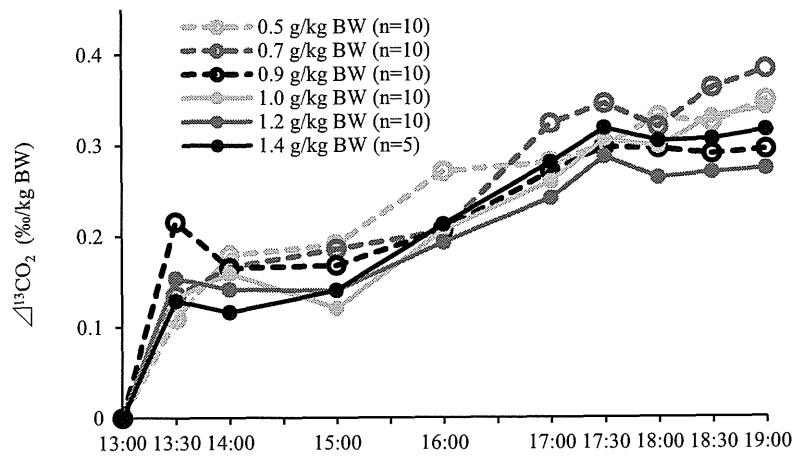


Figure 1-1 The effect of orally administered L-[1-¹³C] phenylalanine as the breath ¹³CO₂ enrichment of age 70-74

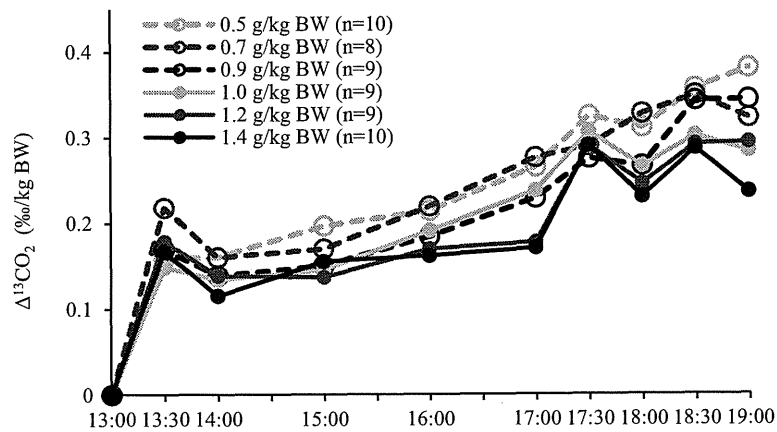


Figure 1-2 The effect of orally administered L-[1-¹³C] phenylalanine as the breath ¹³CO₂ enrichment of age 75-79

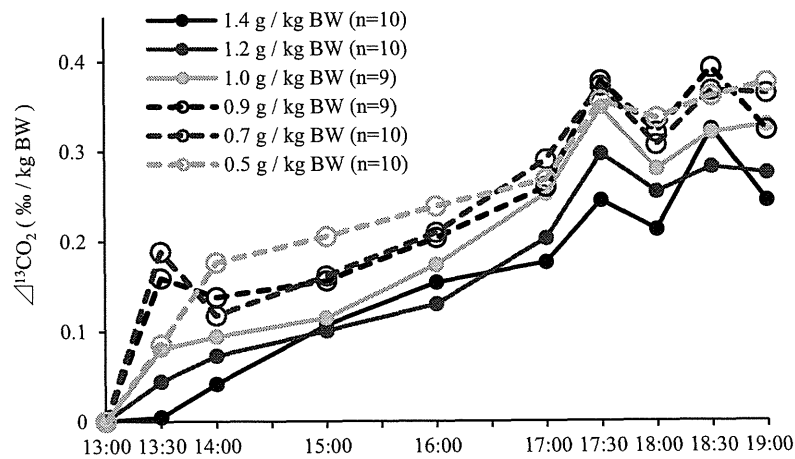


Figure 1-3 The effect of orally administered L-[1-¹³C] phenylalanine as the breath ¹³CO₂ enrichment of age 80~

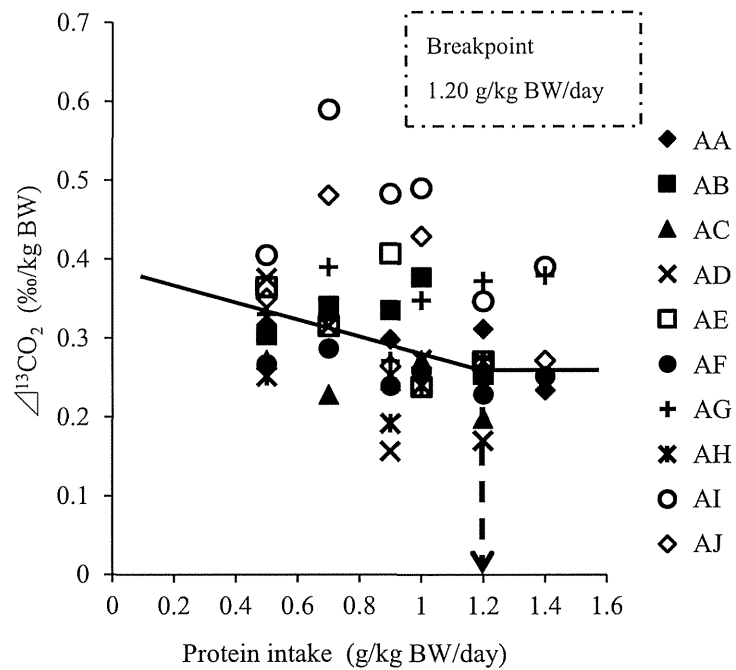


Figure 2-1 Relation between various protein intakes and the $\Delta^{13}\text{CO}_2$ of appearance of orally administered L-[1- ^{13}C] phenylalanine as the breath $^{13}\text{CO}_2$ enrichment of age 70-74

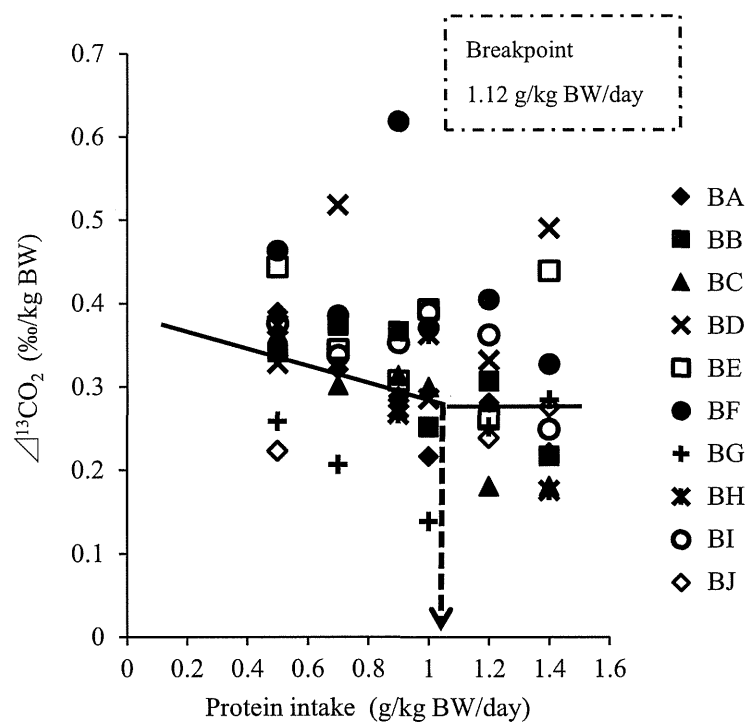


Figure 2-2 Relation between various protein intakes and the $\Delta^{13}\text{CO}_2$ of appearance of orally administered L-[1- ^{13}C] phenylalanine as the breath $^{13}\text{CO}_2$ enrichment of age 75-79

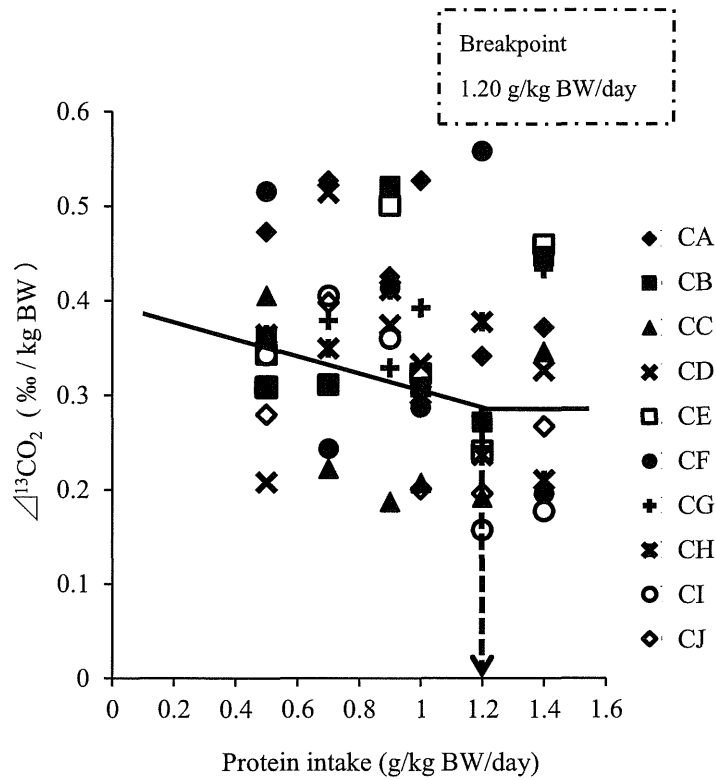


Figure 2-3 Relation between various protein intakes and the $\Delta^{13}\text{CO}_2$ of appearance of orally administered L-[1- ^{13}C] phenylalanine as the breath $^{13}\text{CO}_2$ enrichment of age 80~

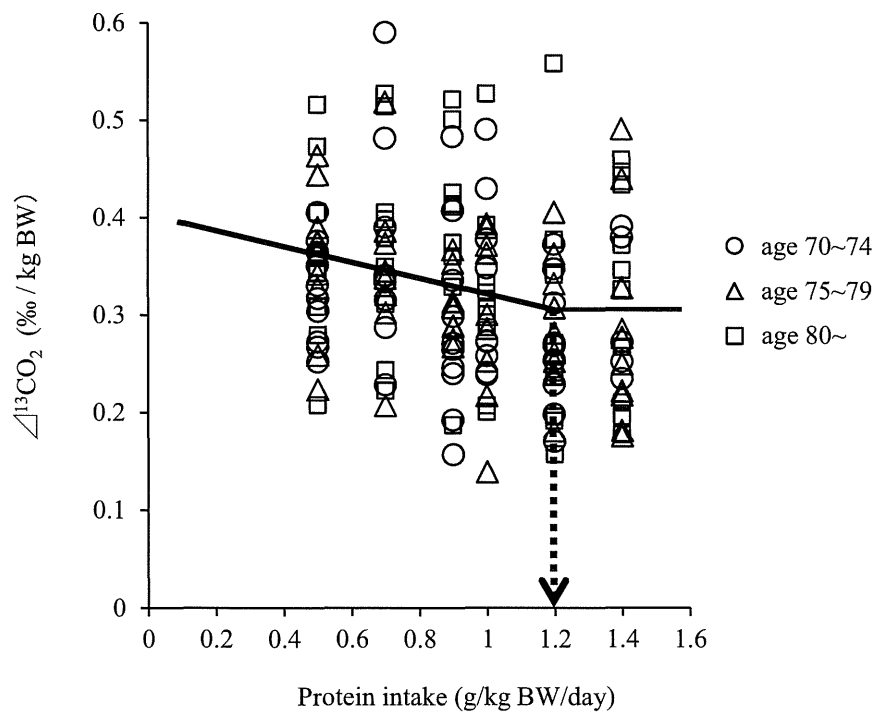


Figure 3 Relation between various protein intakes and the $\Delta^{13}\text{CO}_2$ of appearance of orally administered L-[1- ^{13}C] phenylalanine as the breath $^{13}\text{CO}_2$ enrichment of age 70~

厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業

（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策実用化研究事業）

生活習慣病予防や身体機能維持のためのエネルギー・たんぱく質必要量の
推定法に関する基盤的研究

研究代表者 国立健康・栄養研究所 田中茂穂 基礎栄養研究部 部長

II 分担研究者の報告書

中学生の身体活動レベルを決定する要因の検討

—国立大学附属中学校を対象事例として—

研究分担者 引原有輝 千葉工業大学 工学部 体育教室 准教授
研究代表者 田中茂穂 独)国立健康・栄養研究所 基礎栄養研究部 部長
共同研究者 渡邊将司 茨城大学 教育学部 保健体育教室 准教授
古泉佳代 日本女子体育大学 体育学部 講師
金子佳代子 横浜国立大学 教育人間科学部 教授
高田和子 独)国立健康・栄養研究所 栄養教育研究部 室長

【目的】本研究は、質問紙から得られた生活習慣に関する諸因子と二重標識水(DLW)法による身体活動レベル(PAL)との関係を検討し、首都圏内外の国立大学附属中学校に通う生徒を対象として PAL の多寡を決定する要因について明らかにすることを目的とした。

【方法】対象者は、首都圏内(I群)と首都圏外(O群)の国立大学附属中学校に通う男女117名(男子60名、女子57名)とした。対象者には、実験室に早朝空腹条件下で入室してもらった。初めに、身体計測を実施した後、ベースラインとなる尿を採取した。さらに、体重により規定された量の DLW を経口投与した。その後、30分間の仰臥位安静状態をとらせてから、10分間の基礎代謝量を2回測定した。対象者は中学校の協力のもと8日間にわたり、登校後すぐに教室にて7回の採尿を行った。採取したすべての尿サンプルは、その場で回収された。また、対象者には、生活習慣状況に関する質問紙への回答を依頼した。

【結果】対象者の平均 PAL は、 1.83 ± 0.25 であった。男女別では、男子で 1.86 ± 0.28 、女子で 1.79 ± 0.21 であり、男女間に有意差は認められなかった。また、学校(I群 vs. O群)と性別による交互作用は認められなかった。また、PAL を従属変数、質問紙による生活習慣諸因子を独立変数に投入した重回帰分析により、PAL の多寡に寄与する要因として、休み時間の過ごし方、学校部活動のない日の放課後の過ごし方(放課後に体を動かす時間30分未満)、ならびに往復通学合計時間が選択された。

【考察】質問紙に基づいた対象者の生活習慣状況により対象者が必ずしも活動的な運動・スポーツ集団ではないことを踏まえると、食事摂取基準2010年度版に示されている1.65(レベルII:普通)を見直す必要があると考えられた。また、PALへ寄与する諸因子の中に、課外活動が含まれていなかったことから、学校部活動のない日や本研究では抽出されなかった休日の過ごし方について詳細に分析できるような質問項目を再検討する必要があると考えられた。

A. 研究目的

「日本人の食事摂取基準(2005年版)」で初めて二重標識水(Doubly labeled water:DLW)法に基づいた日本人の身体活動レベル(Physical activity level:PAL)の区分が提示され、2010年版で初めて日本人の子ども(小学生)のデータが引用された。しかしながら、引用対象となった研究の対象者数はわずか12名であり、2015年版に向けて小中学生のDLW法に基づく身体活動レベルの提示が大きな課題となっている。金子および古泉が平成22年度の報告書(2010)ならびに第66回日本体力医学会(2011)において首都圏(横浜市)の中学校に通う生徒80名を対象に、PALが 1.85 ± 0.28 であったことを報告している。また、引原らが平成24年度の報告書(2012)にて、首都圏郊外(水戸市)の中学校に通う生徒39名を対象に、PALが 1.77 ± 0.16 であったことや、古泉らが報告したPAL(1.85 ± 0.28)との間に有意な差が認められなかったことを報告している。そこで、本研究は、質問紙から得られた生活習慣に関する諸因子とDLW法によるPALとの関係を検討し、首都圏近郊(圏外と圏内)の中学生のPALの多寡を決定する要因を明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

1. 対象者

対象者は、首都圏内(I群)と首都圏外(O群)の国立大学附属中学校に通う男女117名(男子60名、女子57名)とした。対象者の身体的特徴は、Table 1に示すとおりである。

2. 実験手順

対象者には、実験室に早朝空腹条件下で入室してもらった。初めに、身体計測を実施した

後、ベースラインとなる尿を採取した。さらに、体重により規定された量のDLWを経口投与した。その後、30分間の仰臥位安静状態をとらせてから、10分間の基礎代謝量を2回測定した。対象者は中学校の協力のもと8日間にわたり、登校後すぐに教室にて7回の採尿を行った。採取したすべての尿サンプルは、その場で回収された。また、対象者には、生活習慣状況に関する質問紙への回答を依頼した。

3. 二重標識水法

対象者に体重の60%と仮定した体水分量(Total body water:TBW)1kgあたり、0.13gの重水(およそ99.9atom%)と2.5gの18酸素水(およそ10.0atom%)を混合して作られたDLWを経口投与した。また、ベースライン尿、第1日目、2日目、3日目、5日目、7日目、8日目および9日目の計8回の尿(1回あたり20ml)を所定の採尿瓶に採取させた。ベースライン尿は実験室に入室した際に採取し、残りの7回は登校後すぐに採尿し、教室にて回収した。また、登校前に自宅で完全排尿するように指示した。登校後の採尿時刻については検者が確認した上で記録した。採取したすべての尿の同位体濃度は、(独)国立健康・栄養研究所の同位体比質量分析計によって測定された。得られた各サンプルの同位体濃度の減少率から所定の算出式(Ishikawa-Takata et al., 2008)を介して測定期間中の1日あたりの総エネルギー消費量(Total energy expenditure:TEE)を算出した。

4. 基礎代謝量(Basal metabolic rate:BMR)

対象者に仰臥位での安静状態を30分間保持させた後、ダグラスバッグを用いて10分間の呼気を2回採取した。採取した呼気の酸素濃度および二酸化炭素濃度をガス濃度分析

計 (AR-1, Arco System Inc., Chiba, Japan) により測定した。また、呼気量を乾式ガスメータ (DC-5, SHINAGAWA Co., Ltd., Tokyo, Japan) により測定した。測定値は 2 回の平均値とし、Weir (1949) の式を用いて BMR を算出した。

5. 身体活動レベル (Physical activity level: PAL) の算出

PAL は年齢、性別、体組成を補正して身体活動の程度を評価するための国際的な指標の 1 つである。本研究では、DLW 法により求めた TEE を BMR で除して PAL を求めた。

6. 質問紙による生活習慣状況調査

対象者には、生活習慣に関する質問紙に回答するよう依頼した。主な質問内容は、以下に示す通りである。

- 1 日の平均睡眠時間 (分)
- 学校部活動への加入 (1: 運動系、2: 文化系 or 無所属)
- 学校部活動の頻度 (回/週)
- 学校部活動以外の習い事 (1: 運動系、2: 学芸系、3: 両方、4: なし)
- 習い事の頻度 (回/週)
- 往復通学時間 (分)
- 往復通学時間のうち徒歩に要する時間 (分)
- 休み時間の過ごし方 (1: 体を使った運動・遊び、2: 読書や談話などの静的活動)
- 学校部活動のない日の放課後に体を使った運動や遊びをする時間 (1: しない、2: 30 分未満、3: 30~60 分未満、4: 60 分以上)
- 休日の過ごし方 (1: 部活動や買い物など活動的な生活、2: 読書や TV などの

座位活動中心の生活)

7. 倫理面への配慮

対象者ならびに保護者には、実験の目的、利益、不利益、危険性およびデータの管理や公表について、事前に十分な説明を行い、同意を得た上で測定を開始した。なお、この研究は、独立行政法人国立健康・栄養研究所「研究倫理審査委員会—疫学研究部会」の承認を得て実施した。

C. 研究結果

国立大学附属中学校に通う 117 名の生徒の平均 PAL は、 1.83 ± 0.25 であった。男女別では、男子で 1.86 ± 0.28 、女子で 1.79 ± 0.21 であり、男女間に有意差は認められなかった。また、二元配置分散分析により学校 (I 群 vs. O 群) と性別による交互作用は認められなかった (Table 2)。

対象者の生活習慣の調査項目における特徴 (Table 3) をみると、平均睡眠時間は、 6.8 ± 1.1 時間であった。また、週当たりの学校部活動ならびに習い事の回数は、それぞれ 2.5 ± 1.6 回および 3.1 ± 2.0 回であった。往復通学時間と通学徒歩時間は、それぞれ 92.8 ± 35.3 分、 46.3 ± 22.0 分であった。対象者の運動部への加入率は 73% であり、運動系の習い事および学芸系の習い事を行っている者は、それぞれ 25% および 84% であった。また、休日や休み時間の過ごし方については、休日を活動的な生活を送る者が 59%、学校での休み時間を活発に過ごす者が 47% であった。なお、カイ二乗検定により、運動系の習い事 (I 群: 17% < O 群: 42%) および放課後に体を動かす時間において、学校間に有意差が認められた。また、一元配置分散分析により、睡眠

時間（I群：6.6時間<O群：7.3時間）、習い事回数/週（I群：2.8回<O群3.6回）、往復通学徒歩時間（I群：54.7分>O群：29.4分）において、学校間に有意差が認められた。

重回帰分析により、PALの多寡に寄与する要因を検討した結果、休み時間の過ごし方、学校部活動のない日の放課後の過ごし方（放課後に体を動かす時間30分未満）、ならびに往復通学合計時間が採択された（Table 4）。

D. 考察

本研究の主たる目的は、2010年度版日本人の食事摂取基準に示された年齢階級別の群分け（表6）における12～14歳のPALの再検討である。これまで、諸国外の数少ない研究結果に基づき、12～14歳のPALは、それぞれ1.45（レベルI：低い）、1.65（レベルII：普通）、1.85（レベルIII：高い）として設定されている。本研究の対象者は、首都圏内と首都圏郊外に位置する国立大学附属中学校を対象としていることからカリキュラムや課外活動への取り組みなどにおいて共通点が多い。一方で、都道府県の公立中学校とは異なり、通学圏が最大で1時間半から2時間にまで及ぶ生徒も含まれていることから、公立中学校の生徒とは一線を画す点も多い。例えば、往復通学時間が平均92.8分は明らかに公立中学校と比較して多いことが予想される。一方、週当たりの学校部活動の回数は2.5回であり、運動部に所属する者で週当たり3回以下の者は75%にも達し、頻度としては少ない印象を持つ。直接的な比較は難しいが、笹川スポーツ財団の調査結果では、10

代の運動・スポーツ習慣が週三回以上の者が64.6%、そのうち、週7回以上の者は34.1%にも達することを考慮すると、両校ともに文化系部活動も含めて課外活動の時間や頻度が決して多い学校ではないことがわかる。その一方で、学習系習い事への参加率が84%、週当たりの平均回数が3.1回は、学校保健会（2014）の児童生徒健康状態サーベランスによる中学生の「習い事に通っている」は男子9.5%、女子27.6%、週当たりの平均回数が男子1.6回、女子1.4回と比較すると高い傾向にあり、文芸志向が強いことが伺い知れる。なお、平均睡眠時間の比較では、学校保健会のデータである男子7.2時間、女子7.0時間と比較しても大差はない。これらの生活習慣状況を踏まえると、本研究の対象者のPALが1.83±0.25であったという結果は、食事摂取基準2010年度版に示されている1.65（レベルII：普通）を見直す必要があることを示唆しており、少なくとも15～17歳の区分PAL1.75（レベルII：普通）に引き上げることが望ましいのではないかと考えられる。

次に、重回帰分析の結果から、PALに寄与する要因として、休み時間の過ごし方、学校部活動のない日の体を動かす時間ならびに往復通学合計時間が抽出された。当初の予想では、運動部活動への加入の有無や、運動系習い事への加入の有無がPALに寄与すると考えられたが、そのようにならなかった点は興味深い点でもある。この点は、対象者が国立大学附属中学校に通う生徒を対象にしたことが理由とも考えられるが、年々と中学校での運動・スポーツ習慣の二極化が進行していることを考えれ

ば、公立中学校に通う生徒にも一部該当する可能性がある。一方、往復通学時間が負の要因として寄与していた点はやや解釈が難しい点ではあるが、学校部活動のない日において往復通学時間が短い者ほど、体を使った運動や遊びに費やす時間を確保できやすくなるからだと考えれば、この結果もある程度、納得できるのかもしれない。ただし、予測モデルの係数 ($B = -0.001$) の大きさから考えても、その影響力は非常に小さい。

今後は、学校部活動のない日や本結果では抽出されなかった休日の過ごし方について、さらに詳細に分析できるような質問項目を再検討することが必要であろう。

E. 結論

本研究結果より食事摂取基準 2010 年度版に示されている 1.65 (レベルⅡ：普通) を見直す必要があること、ならびに学校部活動のない日や本研究では抽出されなかった休日の過ごし方についての質問項目の再検討の必要があることが示唆された。

F. 研究発表

1. 学術論文

1. 笹井浩行、引原有輝、岡崎勘造、中田由夫、大河原一憲(2015)加速度計による活動量評価と身体活動増進介入への活用(総説)、運動疫学研究(印刷中)
2. 田中千晶、引原有輝、安藤貴史、大河原一憲、薄井澄誉子、佐々木玲子、田中茂穂(2014)関東圏在住幼児の体力・運動能力と就学前の保育・教育施設内および施設外における運動・スポーツの実施状況や日常の身体活動量に関する横断的研究、体力科学、63、

323-331.

3. Hikihara Y, Tanaka C, Oshima Y, Ohkawara, Ishikawa-Takata, Tanaka S. (2014) Prediction Models Discriminating between Nonlocomotive and Locomotive Activities in Children Using a Triaxial Accelerometer with a Gravity-removal Physical Activity Classification Algorithm, PLoS One, 9, e94940.

2. 学会発表

1. 引原有輝(2014)乳児期から児童期、そして思春期へ、経年的にみる子どもの身体能力、身体組成、身体活動およびそれらの相互関連、第 71 回大会日本生理人類学会(シンポジウム)、神戸大学.
2. 引原有輝(2015)様々な側面からみた子どもの身体活動の意義:遊び、運動・スポーツ、中高強度活動、座位行動、「子どもにおける運動・スポーツの意義」、第 13 回日本発育発達学会(シンポジウム)、日本大学.

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

Table 1 対象者の特徴

	I群		O群	
	Boys (n=40)	Girls (n=38)	Boys (n=20)	Girls (n=19)
Age (years)	13.6 ± 1.0	13.5 ± 1.0	13.0 ± 0.6	13.0 ± 0.6
Height (cm)	163.3 ± 9.0	156.4 ± 5.7	158.2 ± 9.0	155.9 ± 3.7
Weight (kg)	52.0 ± 9.6	43.8 ± 5.3	48.5 ± 9.4	45.9 ± 5.7
Body fat (%)	17.6 ± 9.3	20.3 ± 6.5	16.7 ± 6.9	22.7 ± 4.9

Table 2 対象者のエネルギー消費量、基礎代謝量、身体活動レベル

	I 群		O 群	
	男子 (n=40)	女子 (n=38)	男子 (n=20)	女子 (n=19)
TEE (kcal)	2920 ± 563	2173 ± 323	2764 ± 481	2288 ± 321
BMR (kcal)	1535 ± 206	1208 ± 95	1575 ± 244	1283 ± 100
PAL (TEE/BMR)	1.91 ± 0.31*	1.80 ± 0.24	1.76 ± 0.17	1.78 ± 0.16

TEE; total energy expenditure, BMR; basal metabolic rate, PAL; physical activity level

*, $P < 0.05$ vs. O 群男子

Table 3 対象者の生活習慣状況

生活習慣調査項目	I群(n=78)	O群(n=39)
平均睡眠時間(分)	6.6 ± 1.1	7.3 ± 1.0
学校部活動への加入状況(%)		
1:運動系	18	82
2:文化系 or 無所属	32	68
学校部活動の頻度(回/週)	2.8 ± 0.2	2.0 ± 0.1
習い事への参加状況(%)		
1:運動系	17	41
2:学芸系	84	85
3:なし	12	10
習い事の頻度(回/週)	2.8 ± 1.8	3.6 ± 2.4
往復通学時間(分)	95.2 ± 33.6	88.0 ± 38.5
往復通学時間のうち徒歩に要する時間(分)	54.7 ± 19	29.4 ± 17.0
休み時間の過ごし方		
1:体を使った運動や遊び	49	44
2:読書や談話などの静的な活動	51	56
学校部活動のない日の体を使った運動や遊びに費やす時間(%)		
1:なし	15	3
2:1-30分未満	46	41
3:30-60分未満	24	33
4:60分以上	14	23
休日の過ごし方(%)		
1:部活動や買い物など活動的な生活	59	59
2:読書やTVなどの座位活動中心の生活	41	41

Table 4 PAL に寄与する生活習慣諸因子

R	R2 乗	調整済み R2 乗	推定値の標準誤差	変化の統計量					Durbin-Watson		
				R2 乗変化量	F 変化量	自由度 1	自由度 2	有意確率 F 変化量			
.390 ^a	.152	.114	.23432	.152	3.986	5	111	.002	1.595		
				標準化されていない係数		標準化係数		t 値	有意確率	B の 95.0% 信頼区間	
				B	標準誤差	ベータ				下限	上限
定数				1.980	.083			23.995	.000	1.816	2.143
通学合計				-0.001	.001	-.179		-2.032	.045	-.002	.000
休み時間の過ごし方（動的な活動）				.133	.046	.269		2.923	.004	.043	.224
休み時間の過ごし方（静的な活動：基準）				—	—	—		—	—	—	—
放課後体動かす時間なし				-.097	.085	-.124		-1.144	.255	-.266	.071
放課後体動かす時間1-30分未満				-1.125	.063	-.250		-1.991	.049	-.249	-.001
放課後体動かす時間30-60分未満				-.119	.067	-.215		-1.784	.077	-.252	.013
放課後体動かす時間60分<（基準）				—	—	—		—	—	—	—