

成人2型糖尿病患者のエネルギー消費量に関する系統的レビュー

研究協力者 勝川史憲¹

研究分担者 朝倉敬子²

研究代表者 佐々木敏³

¹慶應義塾大学スポーツ医学研究センター

²東邦大学医学部社会医学講座予防医療分野

³東京大学大学院医学系研究科社会予防疫学分野

【研究要旨】

糖尿病学会では、食事療法のエネルギー摂取量の設定方法に、日本人の食事摂取基準とは異なる方法が従来から用いられ、他の生活習慣病の食事療法や保健指導にエネルギー摂取量の設定にも大きく影響してきた。本項では、糖尿病患者のエネルギー必要量を二重標識水法によって評価した研究を収集し、所見をまとめた。あわせて、糖尿病患者で、二重標識水法で得られたエネルギー必要量と処方エネルギー摂取量との比較も行った。糖尿病患者集団のエネルギー必要量は、耐糖能正常の対照集団と差を認めなかった。

A. 背景と目的

日本糖尿病学会の糖尿病の食事療法では、従来から、目標体重と「身体活動レベル」にもとづいたエネルギー係数を乗じてエネルギー摂取量を設定する方法が用いられてきた¹⁾。

エネルギー係数は、軽い、普通、重い労作、それぞれ 25~30、30~35、35~kcal/kg 目標体重とされ、日本人の食事摂取基準における成人の基礎代謝基準値と PAL を乗じた値の範囲(およそ 30~45 kcal/kg)と比べて低い値であった。このエネルギー係数の数字の根拠は診療ガイドラインに示されておらず、食品交換表も第7版(2013)までエネルギー係数に関する記載はない。一方で、1960年代初頭の糖尿病の食事療法の指導書²⁾には「無職・家庭主婦:25~30 kcal×標準体重 kg」の記載があり、食事アセスメントで得られた過小評価されたエネルギー摂取量が習慣的に用いられてきた可能性もある。

最新の「糖尿病診療ガイドライン 2024」³⁾では、食事療法のエネルギー摂取量の設定方

法について明確な記載がされていないが、依然として従来の糖尿病の食事療法のエネルギー摂取量の設定は、糖尿病患者だけでなく他の生活習慣病の食事指導にも用いられている。

本稿では、糖尿病患者のエネルギー必要量を二重標識水法によって評価した成績を収集し、評価をおこなった。

B. 方法

PubMed で、2型糖尿病患者で二重標識水法を用いて総エネルギー消費量を測定した研究を抽出した。検索式は、
(("doubly labeled water"[All Fields] OR "doubly labelled water"[All Fields]) AND "diabetes mellitus"[All Fields]) AND (humans[Filter])である。

C. 結果

2024年3月末で22本の論文が抽出され、これから8論文⁴⁻¹¹⁾を採択した。このうち、

Chong らの 2 論文^{4,5)}はスコットランドのデータで、対象者に重複がある。論文⁴⁾は、少数例を対象に薬物療法を変更した際のエネルギー消費量の変化に注目した論文のため、ここでは論文⁵⁾を採用した。また、Rollo らの論文⁶⁾は、総エネルギー消費量以外のデータが不足していた。最終的に採択した 6 論文^{5,7-11)}の概要を表 1 に示す。

Sallé, Lillegard らのデータ^{7,11)}は集団代表値、Chong, Yoshimura, Morino, Ishikawa-Takata ら^{5,8-10)}は対象者の個別データを用い、糖尿病患者の BMI と体重当たりの総エネルギー消費量 (kcal/kg 体重/日) の関係を図 1 にプロットした。プロットに用いたデータは表 2 に示す。なお、Ishikawa-Takata ら¹⁰⁾ の個別データは筆頭著者の許可を得て提供を受けた。

D. 考察

Sallé ら⁷⁾の論文は短報でフランスのデータ、Yoshimura ら⁸⁾は東京近郊の糖尿病患者、Morino ら⁸⁾は滋賀医科大学の糖尿病外来通院患者、Ishikawa-Takata ら¹⁰⁾は東京近郊の肥満糖尿病患者である。これら 4 研究は BMI が同等の非糖尿病の対照と比較し、体重当たりの総エネルギー消費量に有意差がないとしている。Ishikawa-Takata ら¹⁰⁾は IGT/IFG 患者についても検討している。

Lillegard ら¹⁰⁾の論文は米国のデータで、高度肥満(BMI が 35 以上)の糖尿病患者をコントロール良好と不良に分けて比較している。結果は、基礎代謝量、身体活動によるエネルギー消費量、総エネルギー消費量いずれも、コントロール不良の糖尿病患者はコントロール良好な患者に比べ高いとしている。糖尿病患者の基礎代謝量は、耐糖能正常者と比べて差がないか 5%程度高いとされており、糖尿病の病態との関連が指摘される¹¹⁻¹³⁾。しかし、Lillegard らのデータでは、基礎代謝量よりも身体活動量の両群の差の方が大きく、様々な解釈が考えられる。また、この研究では、対照は

普通体重の非糖尿病患者で、年齢も糖尿病患者より若いため、糖尿病のエネルギー消費への影響を見るのは難しい。

ところで、日本糖尿病学会の旧版の「糖尿病診療ガイドライン 2019」¹⁾の食事療法の項では、目標体重の目安として 65 歳未満は BMI が 22, 65 歳以上は BMI が 22~25 になる体重をあげており、これにエネルギー係数 (kcal/kg) として軽い労作では 25~30 kcal、普通の労作では 30~35 kcal を掛けてエネルギー摂取量を設定することとなる。

Morino ら⁹⁾の糖尿病患者で、身体活動係数を 27.5 または 32.5 kcal/kg、目標体重を BMI 22 または 25 (ただし 65 歳未満は 22) として 4 通りの方法でエネルギー摂取量を計算し、二重標識水法による総エネルギー消費量の実測値との差を見たものが図 2 である。対象者は BMI で 22 未満、22~25 未満、25 以上に分けて平均値を示した。

その結果、BMI が 22 未満の者でも (目標体重を BMI 25、身体活動係数 32.5 kcal/kg でエネルギー摂取量を設定した場合をのぞき) 食事療法のエネルギー量の設定は、エネルギー必要量に対して大きなマイナス出納となった。原因は、BMI の小さい者で体重当たりの総エネルギー消費量が非常に大きい値となるため (図 1)、これは、総エネルギー消費量や基礎代謝量を体重に対してプロットした場合に、回帰直線が原点を通らず Y 切片がプラスとなることに拠っている。

食事摂取基準においても、エネルギー必要量の推定に体重当たりの値 (基礎代謝基準値) を用いるため、体重、BMI の小さい者では推定エネルギー必要量が実際より過小となる可能性があり、低栄養の改善に不利となる。これは歴史的には、基礎代謝量を当初、体表面積で補正していたのを、体重で補正するようになったこととも関連している。

将来的には、多人数の総エネルギー消費量と体重の関係から Y 切片を求め、Y 切片、回

帰直線の傾き、体重の3つを用いたエネルギー必要量の推定を考慮すべきかもしれない。その場合は、身体活動レベルの違いは、回帰直線の傾きの違い(身体活動レベルの高い方で傾きが急になる)として表現されるであろう¹⁴⁾。

E. 結論

糖尿病患者のエネルギー必要量を二重標識水法によって評価した研究を収集した。糖尿病患者集団のエネルギー必要量は、耐糖能正常の対照集団と差を認めなかった。

参考文献

- 1) 日本糖尿病学会: 糖尿病診療ガイドライン 2019. 南光堂, 2019.
- 2) 小坂淳夫, 山吹隆寛: 食品交換表による糖尿病食事療法の実践. 医歯薬出版, 1964.
- 3) 日本糖尿病学会: 糖尿病診療ガイドライン 2024. 南光堂, 2024.
- 4) Chong PK, Jung RT, Rennie MJ, Scrimgeour CM. Energy expenditure in lean and obese diabetic patients using the doubly labelled water method. *Diabet Med* 1993; 10: 729-35. doi: 10.1111/j.1464-5491.1993.
- 5) Chong PK, Jung RT, Rennie MJ, Scrimgeour CM. Energy expenditure in type 2 diabetic patients on metformin and sulphonylurea therapy. *Diabet Med* 1995; 12: 401-8. doi: 10.1111/j.1464-5491.1995.tb00503.x.
- 6) Rollo ME et al.: Evaluation of a Mobile Phone Image-Based Dietary Assessment Method in Adults with Type 2 Diabetes. *Nutrients*. 2015; 7: 4897-910. doi: 10.3390/nu7064897.
- 7) Sallé A, Ryan M, Ritz P. Underreporting of food intake in obese diabetic and nondiabetic patients. *Diabetes Care* 2006; 29: 2726-7. doi: 10.2337/dc06-1582.
- 8) Yoshimura E et al.: Assessment of energy expenditure using doubly labeled water, physical activity by accelerometer and reported dietary intake in Japanese men with type 2 diabetes: A preliminary study. *J Diabetes Investig* 2019; 10: 318-321. doi: 10.1111/jdi.12921.
- 9) Morino K et al.: Total energy expenditure is comparable between patients with and without diabetes mellitus: Clinical Evaluation of Energy Requirements in Patients with Diabetes Mellitus (CLEVER-DM) Study. *BMJ Open Diabetes Res Care* 2019; 7: e000648. doi: 10.1136/bmjdr-2019-000648.
- 10) Ishikawa-Takata K et al.: Energy Expenditure in Free-Living Japanese People with Obesity and Type 2 Diabetes, Measured Using the Doubly-Labeled Water Method. *J Nutr Sci Vitaminol* 2020; 66: 319-324. doi: 10.3177/jnsv.66.319.
- 11) Lillegard K et al.: Poorly controlled glycemia and worse beta cell function associate with higher resting and total energy expenditure in adults with obesity and type 2 diabetes: A doubly labeled water study. *Clin Nutr* 2024; 43: 729-738. doi: 10.1016/j.clnu.2024.01.011.
- 12) Katsukawa F. Energy Requirements for Older Patients with Type 2 Diabetes: A Narrative Review of the Current Findings and Future Tasks. *Nutrients* 2021; 13: 753. doi: 10.3390/nu13030753.
- 13) Miyake R et al.: Obese Japanese adults with type 2 diabetes have higher basal metabolic rates than non-diabetic adults. *J Nutr Sci Vitaminol* 2011; 57: 348-54. doi: 10.3177/jnsv.57.348. PMID:

22293212.

- 14) Bouchard C: The magnitude of the energy imbalance in obesity is generally underestimated. *Int J Obes* 2008; 32: 879–80. doi: 10.1038/sj.ijo.0803796.

表 1. 2 型糖尿病患者の総エネルギー消費量を測定した研究のまとめ

	糖尿病									対照							
	対象特性	人数 (性別)	年齢 (歳)	BMI	HbA1c (%)	基礎代謝量 (kcal/日)	総エネルギー消費量 (kcal/日)	(kcal/ kg体重/日)	PAL	人数 (性別)	年齢 (歳)	BMI	HbA1c (%)	基礎代謝量 (kcal/日)	総エネルギー消費量 (kcal/日)	(kcal/ kg体重/日)	PAL
Chong (1995)		8M/15F	50.7±11.1	29.9±7.2	-	1623±361	2881±635	36.2±6.5	1.80±0.28	-	-	-	-	-	-	-	-
Sallé (2006)		12		37.1±4.67	7.5±1.1	2020±421	3863±1890	-	1.86±0.50	9		37.0±3.40	5.15±0.40	1805±471	3863±1890	-	1.88±0.20
Yoshimura (2019)		12M	55±7	24.0±1.8	6.4±0.5	-	2490±379	36.5±5.0	-	10M	55±7	23.6±1.8	5.6±0.3	-	2284±243	33.7±3.7	-
Morino (2019)		28M/24F	70.2±5.1	23.3±3.0	6.9±0.8	1260†	2159†	36.4†	1.71†	6M/9F	67.1±4.7	22.7±2.1	5.5±0.3	1194†	2168†	37.8†	1.81†
Ishikawa-Takata (2020)	2型糖尿病	5M/4F	51.7†	30.3†	-	1666†	2742†	34.4†	1.63†	5M/5F	53.8†	29.4†	-	1488†	2672†	32.6†	1.83†
	IGT/IFG	6M/5F	53.4	30.6†	-	1469†	2901†	33.3†	2.00†								
Lillegard (2024)	コントロール 良好	17M/39F	47.5±7.5	36.9±4.5	7.0±0.7	1855±300	2536±404	24.2	1.39 ± 0.12	7M/12F	39.8±9.0	23.3±2.6	5.3±0.3	1363±181	2250±328	33.9	1.68±0.19
	コントロール 不良	9M/13F	49.2±4.1	36.3±3.6	8.0±0.6	2017±336	3048±520	27.6	1.53 ± 0.08								

値は平均±標準偏差または†中央値

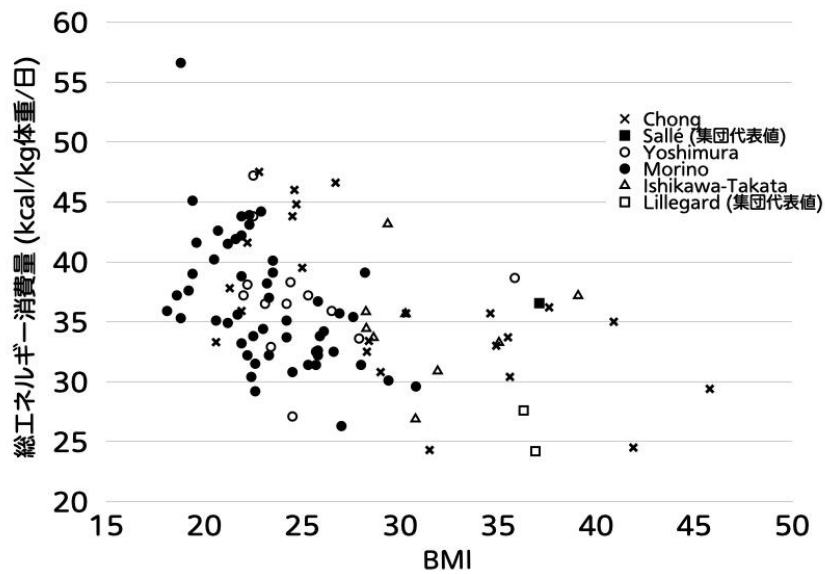


図 1. 二重標識水法による 2 型糖尿病患者の体重当たりの総エネルギー消費量

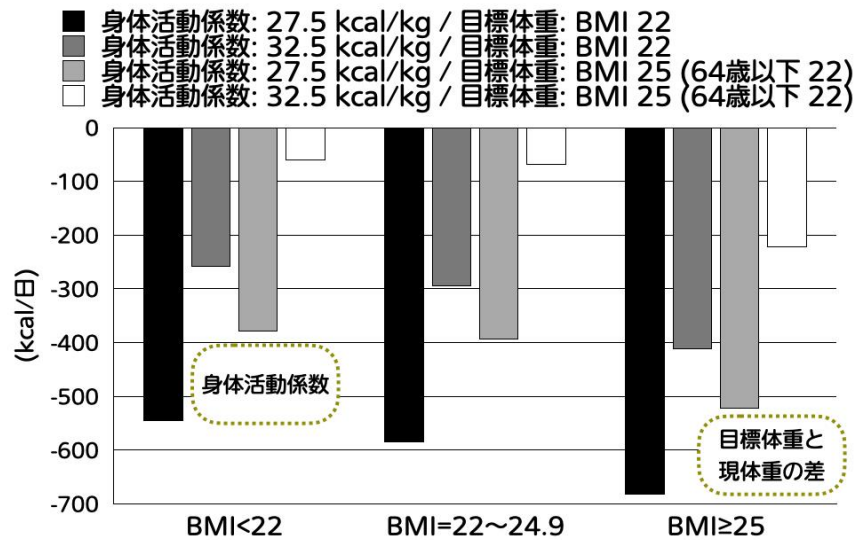


図 2. 2 型糖尿病患者の処方エネルギー摂取量とエネルギー必要量の差

表1 二重標識水による2型糖尿病患者の体重当たりの総エネルギー消費量(図1の生データ)

Chong		Sallé (集団代表値)		Yoshimura		Morino		Ishikawa-Takata		Lillegard (集団代表値)	
BMI	総エネルギー消費量 (kcal/kg体重/日)	BMI	総エネルギー消費量 (kcal/kg体重/日)	BMI	総エネルギー消費量 (kcal/kg体重/日)	BMI	総エネルギー消費量 (kcal/kg体重/日)	BMI	総エネルギー消費量 (kcal/kg体重/日)	BMI	総エネルギー消費量 (kcal/kg体重/日)
22.2	41.6	37.1	36.6	35.8	38.7	21.9	38.8	29.4	43.2	36.9	24.2
24.5	43.8			22.5	43.8	21.7	35.6	28.3	35.8	36.3	27.6
21.3	37.8			24.4	38.3	27.6	35.4	30.3	35.7		
24.7	44.8			25.3	37.2	25.8	36.7	28.3	34.4		
20.6	33.3			22.0	37.2	24.5	30.8	28.6	33.7		
22.8	47.5			23.4	32.9	23.5	39.1	30.8	26.9		
24.6	46.0			22.2	38.1	22.5	33.8	31.9	30.9		
21.9	35.9			22.5	47.2	24.2	33.7	35.0	33.3		
28.3	32.5			27.9	33.6	29.4	30.1	39.1	37.2		
26.7	46.6			24.5	27.1	22.6	31.5				
25.0	39.5			23.1	36.5	23.3	37.0				
28.4	33.4			24.2	36.5	21.2	41.5				
29.0	30.8			26.5	35.9	22.3	43.9				
30.3	35.7					20.5	40.2				
34.9	33.0					26.1	34.2				
31.5	24.3					26.9	35.7				
40.9	35.0					25.9	33.8				
45.8	29.4					25.7	32.5				
37.6	36.2					25.8	32.2				
35.6	30.4					30.8	29.6				
35.5	33.7					28.0	31.4				
34.6	35.7					22.2	32.2				
41.9	24.5					19.4	39.0				
						19.2	37.6				
						23.5	40.1				
						25.3	31.4				
						22.9	44.2				
						28.2	39.1				
						18.1	35.9				
						22.3	43.1				
						19.6	41.6				
						25.7	31.4				
						23.3	32.2				
						26.6	32.5				
						24.2	35.1				
						23.2	38.2				
						20.7	42.6				
						18.6	37.2				
						21.2	34.9				
						21.9	42.2				
						23.0	34.4				
						18.8	56.6				
						20.6	35.1				
						21.6	41.9				
						22.4	30.4				
						22.6	29.2				
						18.8	35.3				
						21.9	43.8				
						27.0	26.3				
						21.9	33.2				
						25.8	32.6				
						19.4	45.1				