

原著

短期間減量プログラムにおける運動介入と高たんぱく質に設定した低炭水化物食または高炭水化物食による食事制限が身体組成に与える影響

下山 寛之^{*1,*2}、渡口 槿子^{*3}、安方 惇^{*4}、山崎 郁美^{*4}、嶋田 康平^{*4}、廣田 貴也^{*4}、山田 陽介^{*5,*6}、海老根 直之^{*7}、布目 寛幸^{*4}、清永 明^{*4,*6}、桧垣 靖樹^{*4,*6}、田中 宏暁^{*4,*6}

^{*1} 国立スポーツ科学センタースポーツ研究部、^{*2} 日本学術振興会、^{*3} ロクト整形外科クリニック、^{*4} 福岡大学スポーツ科学部、^{*5} 国立健康・栄養研究所栄養代謝研究部、^{*6} 福岡大学身体活動研究所、^{*7} 同志社大学スポーツ健康科学部

【目的】

1週間の短期間減量プログラムにおける運動介入と高たんぱく質に設定した場合の低炭水化物（LC）食または高炭水化物（HC）食による食事制限がアスリートの身体組成に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

【方法】

本研究の対象者は、大学の運動部に所属し、週5日以上トレーニングを行っている健康な若年成人11名（男性7名、女性4名）とした。対象者はLC群6名、HC群5名に無作為に割り付けられた。減量期間は7日間とし、両群とも日々のトレーニングに加え、1回40分のスロージョギングを1日2回実施した。食事は1日3食の制限食を提供した（理想体重 $\times 20\text{kcal}\cdot\text{day}^{-1}$ ）。たんぱく質摂取量は体重あたり $1.4\sim 1.5\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ とし、炭水化物の割合は、LC群30%、HC群50%に設定した。身体組成は重水素希釈法、総エネルギー消費量の測定には二重標識水法を用いた。

【結果】

1週間の減量においてLC群とHC群ともに減量前と比較し体重および体脂肪量が減少した（ $P<0.05$ ）。体重（LC群： -1.9 ± 1.0 、HC群： $-1.8\pm 1.0\text{kg}$ ）および体脂肪量（LC群： -1.9 ± 1.0 、HC群： $-1.4\pm 0.9\text{kg}$ ）の変化量に群間での有意差は認められなかった。除脂肪量はそれぞれ減量前と比較して有意な変化は認められず、変化量の群間における有意差も認められなかった。エネルギー摂取量、総エネルギー消費量の群間での差は認められなかった。

【結論】

本研究の短期間減量プログラムにおける運動介入と高たんぱく質に設定された低炭水化物食または高炭水化物食による食事制限は身体組成へ同程度の影響を与える可能性が示唆された。

キーワード：高たんぱく質食 低炭水化物食 高炭水化物食 短期間減量 食事組成

I 緒言

減量を実施するには、エネルギー消費量を増加させる、またはエネルギー摂取量を減少させる、もしくはその両方を組み合わせてエネルギー収支を負にすることが重要である。エネルギー消費量を増加させるためには、身体活動量を高める必要があり、エネルギー摂取量を減少させるためには、食事制限が必要となる。

近年、低炭水化物（LC, low carbohydrate）食による食事制限が減量方法として注目されている^{1)~3)}。ご飯や麺類、パン等の炭水化物の摂取を抑えるこの方法は、低炭水化物ダイエットまたは低糖質ダイエットと言われている³⁾。本来、LC食による食事制限は、糖尿病治療のための食事療法として発案され、食事による血糖コントロールによって糖尿病の改善を目指していた^{4),5)}。糖尿病の改善を目的としたLC食による食事制限

は体重と体脂肪量減少の効果が期待できることから⁶⁾、糖尿病の治療以外にも効果的に作用すると考えられる。

肥満や糖尿病の治療としての減量とは異なり、パフォーマンスの向上を狙って行われるアスリートの減量では、除脂肪量を維持した状態で体重、体脂肪量を減少させることが望ましい。アスリートを対象にした研究では、除脂肪量の減少を抑制させるための減量方法として、高たんぱく質食が効果的であることが示されている⁷⁾。異なるたんぱく質摂取量を比較した減量研究において、たんぱく質推奨量の2倍(1.6g・体重kg⁻¹)摂取すると除脂肪量の減少を抑制させるが、それ以上摂取しても効果は変わらないと報告されている⁸⁾。たんぱく質摂取量が減量において有意な結果をもたらすエビデンスが多い一方、LC食による減量効果についてのメタアナリシスでは、LC食は高炭水化物(HC, high carbohydrate)食よりも体重と体脂肪量を減少できるという報告もあるが⁹⁾、先述したように、減量はエネルギー収支が負になることで起こる。つまり、主要栄養素の割合が異なる場合においても、エネルギー収支が同程度の負の状態であれば、窒素バランスが負にならない限り、体重・体脂肪量は同じように減少し、短期間の減量であっても同様の現象が起こりうる可能性が考えられる。これまでの多くの研究は一般人もしくは肥満者を対象としており^{6),9),10)}、アスリートにおける減量のエネルギー摂取量に対するたんぱく質摂取量と炭水化物摂取量の割合を検討した研究は我々の知る限りほとんどなく、アスリートの減量時の食事組成について、無作為化比較試験にて検討することは重要である。

そこで本研究では1週間の短期間減量プログラムにおける運動介入とアスリートに推奨されているたんぱく質摂取量(1.2~1.7g・体重kg⁻¹)¹¹⁾を満たす高たんぱく質に設定した場合のLC食またはHC食による食事制限がアスリートの身体組成に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

II 方法

A. 対象者特性

本研究の対象者は、大学の運動部(陸上短距離、陸上跳躍、バレーボール)に所属し、週5日以上トレーニングを行っている健康な若年成人11名(男性7名、女性4名)とした(年齢:20.1±1.1歳、身長:171.9±6.8cm、体重:65.0±7.2kg)。対象者はLC群6名(男性4名、女性2名)、HC群5名(男性3名、女性2名)に無作為に割り付けられた。表1に各群の対象者の身体的特性を示した。対象者には研究の目的および内容について口頭および文書にて説明を行い、署名による同意を得た上で研究を実施した。なお、本研究は福岡大学研究倫理委員会の承認を受け実施した(14-08-01)。

表1 対象者特性

		LC群	HC群
年齢	(歳)	20 ± 1	20 ± 2
身長	(cm)	170.2 ± 5.3	173.8 ± 8.5
体重	(kg)	65.1 ± 5.8	65.0 ± 8.5
体格指数	(kg・m ⁻²)	22.5 ± 2.5	21.4 ± 1.2
体脂肪率	(%)	17.2 ± 4.4	15.7 ± 5.7
体脂肪量	(kg)	11.0 ± 2.3	10.1 ± 3.8
除脂肪量	(kg)	54.0 ± 6.9	54.6 ± 8.8
体水分量	(kg)	39.6 ± 5.2	40.1 ± 6.8

数値: 平均値 ± 標準偏差。LC、低炭水化物; HC、高炭水化物

B. 研究プロトコル

減量期間は1週間とし減量前に基礎代謝、減量前後に身体組成、減量中にエネルギー代謝の測定を行った。減量期間開始の1週間以上前より体重を変動させないように、暴飲暴食を避け、食事量と身体活動量を普段通りにするように依頼した(減量開始1週間前体重:65.3±6.8kg、減量開始直前体重:65.0±7.2kg)。LC群とHC群は総エネルギー消費量を維持・増加させる為に部活動における日々のトレーニングに加え、1回40分のスロージョギング¹²⁾を1日2回(早朝および部活動終了後; 1回300-400kcal想定)実施した。毎回の食事提供の際に口頭にて体調、トレーニング・ジョギング状況を聞き取り、介入中に対象者がすべてのトレーニング・ジョギングを実施出来たことを確認した。介入中の典型的な活動の流れはジョギング1回目(6:00~)、朝食(7:00~)、昼食(12:30~)、部活動トレーニング(16:30~19:30)、ジョギング2回目(19:40~)、夕食(20:30~)であった。食事は管理栄養士が献立を作成し、1日3回のすべての食事を制限食として提供した。エネルギー摂取量は、我々の先行研究におけるアスリートの減量中の食事制限(約1,000kcal・day⁻¹)を参考に¹³⁾、理想体重[身長(m²)×22(kg・m⁻²; 体格指数)]に20kcalを乗じて個人ごとに算出した(設定エネルギー摂取量範囲約1,100-1,400kcal・day⁻¹)。なお、本研究のエネルギー摂取の設定はおおよその基礎代謝に近い値になり、活動で消費したエネルギー分の減量(体脂肪で1.5-2.0kg程度想定)が減少する可能性があることを対象者に説明している。エネルギー摂取量の配分は、朝食150kcal、昼食350kcal、夕食600~900kcalとし、夕食の食事量で個人ごとのエネルギー摂取量の調整を図った。1日の食事例を図1に示す。なお、本研究は減量中のアスリートの栄養教育も兼ねて実施されているため、大学生競技アスリートでも実施しやすいように、コンビニエンスストアを中心に入手できる食材・惣菜を組み合わせて提供された。アスリートの為の実践的

なたんぱく質摂取量の範囲 $1.2\sim 1.7\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ¹¹⁾およびLC群とHC群の主要栄養素の比率を考慮し体重あたり $1.4\sim 1.5\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ をたんぱく質摂取量の目標値とした。主要栄養素の割合を両群それぞれ総エネルギー摂取量に対し、LC群でたんぱく質が30%、脂質が40%、炭水化物が30%、一方、HC群でたんぱく質が30%、脂質が20%、炭水化物が50%として設定した。なお、本研

究では飲水制限は行わないように指示し、エネルギーが含まれない飲料、0キロカロリー表示のゼリー等を用意し、空腹感のある際に自由に摂取してもらった。また、提供されたもの以外の食事を行わないように口頭にて依頼した。各群のエネルギーおよび栄養素摂取量の平均値は表2に示した。

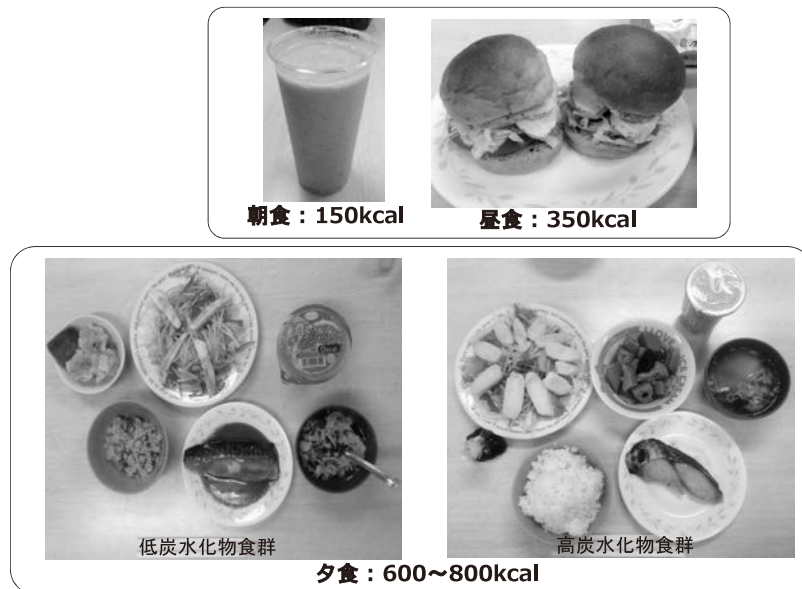


図1 減量期間中の食事例

朝食：グリーンスムージー

昼食：低炭水化物群；スパムバーガー、プロテインゼリー、コーンスープ

高炭水化物群；サラダチキンバーガー、プロテインゼリー、コーンスープ

夕食：低炭水化物食群；鶏めし、鯖の味噌煮、シュウマイ、ハム、卵スープ、鶏むね肉のサラダ、ゼリー

高炭水化物食群；ご飯、西京焼き、筑前煮、味噌汁、鶏むね肉のサラダ、ゼリー

表2 減量期間の主要栄養素の摂取量

		LC 群	HC 群
エネルギー摂取量	(kcal · day ⁻¹)	1,285 ± 95	1,335 ± 150
	(g · day ⁻¹)	91.2 ± 5.6	99.7 ± 9.8
たんぱく質	(g · 体重 kg ⁻¹ · day ⁻¹)	1.4 ± 0.1	1.5 ± 0.1
	% ^a	28.4 ± 0.4	30.0 ± 1.3
	(g · day ⁻¹)	55.8 ± 5.1	29.6 ± 3.2 *
脂質	(g · 体重 kg ⁻¹ · day ⁻¹)	0.9 ± 0.1	0.5 ± 0.0 *
	% ^a	39.1 ± 0.9	20.0 ± 0.8 *
	(g · day ⁻¹)	104.1 ± 6.6	165.6 ± 21.6 *
炭水化物	(g · 体重 kg ⁻¹ · day ⁻¹)	1.6 ± 0.1	2.6 ± 0.1 *
	% ^a	32.5 ± 0.4	50.0 ± 0.9 *
カルシウム	(mg)	469 ± 27	530 ± 22 *
鉄	(mg)	8.6 ± 0.5	8.5 ± 0.5
ビタミン B ₁	(mg)	2.17 ± 0.33	1.48 ± 0.14 *
ビタミン B ₂	(mg)	1.71 ± 0.09	1.47 ± 0.13 *
ビタミン C	(mg)	301 ± 32	293 ± 17
食物繊維	(g)	17 ± 1	17 ± 2

数値：平均値 ± 標準偏差、^a エネルギー摂取量に対する比率

*, P < 0.05 vs. LC 群 (対応のない t 検定)。LC、低炭水化物；HC、高炭水化物

C. 測定項目

1) 身体組成

身体組成は、減量前および減量後の早朝空腹時に計測された。体重はデジタル体組成計 (DC-320、TANITA、東京、日本) を使用し測定した。体水分量は重水素 ($^2\text{H}_2\text{O}$) 希釈法により推定した。推定された体水分量を0.732の定数で除すことにより除脂肪量を算出し、体重から除脂肪量を引くことにより体脂肪量を算出した。この方法の基本的原理、投与等の手続きについては下記総エネルギー消費量の項に記載した。早朝空腹時にベースライン尿を採取し、その後、安定同位体を飲水させ、2時間後に排尿のみ、3時間後および4時間後に採尿を行い、4時間後の同位体濃度から体水分量を算出した。標準化した尿中の安定同位体比の濃度から $[\text{WA}(\delta a - \delta t)] / [18.02a(\delta s - \delta b)]$ の式で体内希釈容積を求め、算出された重水素希釈容積を1.041の係数で除すことにより体水分量を算出した^{14),15)}。但し、Aは投与した溶液の量 (g)、aは同位体濃度分析の際に飲料水で希釈された投与溶液の量 (g)、Wは同位体濃度分析の際に投与溶液を希釈するのに用いた飲料水の量 (g)、 δa は希釈した投与溶液の同位体濃度、 δt は前述の希釈に用いた飲料水の同位体濃度、 δs は尿試料の同位体濃度、 δb は投与前の尿試料の同位体濃度である。なお、本研究の対象者とは異なる集団に対して、体重が変わらないように1週間生活させ、その前後で本研究と同一方法で評価を行ったところ、2回の測定間において体水分量に有意な差は見られず高い再現性を示した (男性5名、年齢: 19.8 ± 1.2 歳、1週間前後の体水分量: 39.8 ± 5.6 kg、 39.7 ± 5.2 kg、変動係数0.6%)。

2) 総エネルギー消費量

総エネルギー消費量の測定には二重標識水 (Doubly labeled water, DLW) 法を用いた。DLW法は自由生活環境下における総エネルギー消費量を測定する方法のゴールドスタンダードである¹⁶⁾。DLWは重水素水 ($^2\text{H}_2\text{O}$) および重酸素水 (H_2^{18}O) の二種類の安定同位体を混合させて作成する。重水素 (^2H) と重酸素 (^{18}O) は自然界に存在しているが、DLWを飲むことにより、体内における ^2H と ^{18}O の濃度が上昇する。上記同位体は3時間程度で体水分と平衡状態となり、その後、 ^2H は水 (H_2O) としてのみ体外に排泄され、一方で ^{18}O は、水と二酸化炭素 (CO_2) として体外に排泄される。この二種類の安定同位体の排出経路の違いを利用することでエネルギー消費量を算出する。DLWの投与量は先行研究¹⁷⁾と同様に、体重の60%を体水分量が占めると仮定し、重水素水 ($^2\text{H}_2\text{O}$: 99.9atom%、大陽日本酸素、東京、日本) を推定体水分量あたり $0.12\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、重酸素水 (H_2^{18}O : 20.0atom%、大陽日本酸素、東京、日本) を推定体水分量あたり

$1.25\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ を投与した。なお、本研究のDLW法による重水素の投与と体水分量を測定する為の重水素希釈法の投与は同様の手続きで実施された。本研究では採尿を行い尿中の安定同位体濃度を同位体比質量分析計 (SerCon Isotope Ratio Mass Spectrometers CF 20-20, Sercon Ltd, Crewe, UK) を用いて測定した¹⁵⁾。採尿は早朝空腹時にベースライン尿を採取しその後DLWを飲水してもらい飲水から3、4時間後、7日目の午前および午後に総エネルギー消費量算出の為の採尿を実施した。総エネルギー消費量の計算で使用される体水分量は重水素希釈法で計算され、減量前後の平均値が使用されている。総エネルギー消費量の計算は、1) rCO_2 (二酸化炭素排出率) $= 0.455 \times \text{体水分量} \times (1.007k_0 - 1.041k_d)$ ¹⁸⁾、2) 総エネルギー消費量 ($\text{kcal} \cdot \text{day}^{-1}$) $= 22.4 \times \text{rCO}_2 \times (1.10 + 3.90/\text{呼吸商})$ ^{19),20)} の式で計算した。但し、 k_0 は重酸素の減衰率、 k_d は重水素の減衰率を示す。長期的な体重変動のない測定であれば、呼吸商と食事商 (Food quotient) はほぼ一致するとされている。しかしながら、減量中にはこの仮定が成り立たない可能性があり、Westterterpのレビューを参考に減量中の呼吸商を0.800と仮定し計算した²¹⁾。

3) 基礎代謝

対象者には、測定前日の夕食摂取以降 (12時間絶食) に水以外の摂取をしないよう指示し、測定日の早朝に来研してもらった。測定する部屋は21~24度の室温とした。仰臥位で30分以上安静にした後に測定を開始した。測定には呼気ガス分析装置 (Arco-2000、アルコシステム、千葉、日本) を使用した²²⁾。呼気ガスは連続的に20分以上採気され、前半の10分で一度マスクを付け替えた後に、後半の10分を採気した。各10分間の平均値をWeirの式を用いて算出した¹⁹⁾。加えて、総エネルギー消費量を基礎代謝で除した値を身体活動レベルとして定義した。

D. 統計処理

本研究内の数値は平均値 \pm 標準偏差で示した。減量前後の変化と、群間差の比較の為に、減量前後と群を要因とした対応のある二元配置の分散分析を用いて交互作用を検討した。群間差の比較、および群間における減量前後の変化量の比較には対応のないt検定を用いた。すべての統計解析の結果の有意水準は $P < 0.05$ とした。統計にはSPSS 23.0 for Mac (IBM, New York, USA) を使用した。

Ⅲ 結果

対象者の減量前の年齢、身長、体重、体格指数、体脂肪率、体脂肪量、除脂肪量、体水分量を表1に示した。減量前の対象者特性のすべての項目において群間に有意差は見られなかった。表2に減量介入時の主要栄養素の摂取量を示した。たんぱく質摂取量に群間差は認められず、脂質摂取量はLC群で高く、炭水化物摂取量はHC群で高値であった。エネルギー摂取量に対する、主要栄養素の割合は、LC群においてたんぱく質が28.4±0.4%、脂質が39.1±0.9%、炭水化物が32.5±0.4%、一方のHC群ではたんぱく質が30.0±1.3%、脂質が20.0±0.8%、炭水化物が50.0±0.9%であり、脂質と炭水化物の比率において、それぞれ有意な差が認められた(表2)。

減量前後の身体組成変化を表3に示した。体重、体脂肪量、除脂肪量、体水分量に関して、群間と減量前後の交互作用は認められなかった。体重(P<0.001)、体脂肪量(P<0.001)に減量前後における主効果が認められたが、除脂肪量、体水分量には主効果が認められなかった。1週間の減量においてLC群とHC群ともに減量前と比較して体重(LC群:-1.9±1.0kg【-2.9±1.6%】、HC群:-1.8±1.0kg【2.6±1.2%】)および体脂肪量(LC群:-1.9±1.0kg【-18.2±11.8%】、HC群:-1.4±0.9kg【-17.4±17.7%】)が減少した。体重および体

脂肪量の変化量に群間での有意差は認められなかった。体水分量および除脂肪量はそれぞれ減量前と比較して有意な変化は認められず、変化量の群間における有意差も認められなかった。

減量期間中のエネルギー代謝を表2と表4に示した。エネルギー摂取量がLC群:1,285±95kcal·day⁻¹、HC群:1,335±150kcal·day⁻¹、総エネルギー消費量がLC群:3,652±453kcal·day⁻¹、HC群:3,710±516kcal·day⁻¹そのエネルギー収支がLC群:-2,367±420kcal·day⁻¹、HC群:-2,376±385kcal·day⁻¹であり各項目での群間の有意差は認められなかった。基礎代謝および身体活動レベルもまた群間での有意差は認められなかった。

Ⅳ 考察

本研究の主な知見は大学生アスリートにおいて、運動と食事制限によって平均2,300kcal·day⁻¹以上の負のエネルギー収支を達成し、1)1週間で体重と体脂肪量を減少させながら除脂肪量が維持されたこと、2)減量中のエネルギー摂取量に対する主要栄養素の比率が異なっても同程度の体重と体脂肪量の減少を示したことである。

本研究室における先行研究において、体重階級制アスリートを対象に伝統的に行われる1週間の急速減量

表3 身体組成の変化

	LC 群			HC 群			分散分析		
	減量前	減量後	(変化量)	減量前	減量後	(変化量)	群 × 群	減量前後	減量前後
体重 (kg)	65.1 ± 5.8	63.2 ± 5.6	(-1.9 ± 1.0)	65.0 ± 9.3	63.2 ± 8.5	(-1.8 ± 1.0)	0.06	0.00	36.94 *
体脂肪量 (kg)	11.0 ± 2.3	9.2 ± 3	(-1.9 ± 1.0)	10.1 ± 3.8	8.8 ± 4.3	(-1.4 ± 0.9)	0.68	0.11	31.30 *
除脂肪量 (kg)	54.1 ± 7.1	54.0 ± 6.7	(-0.1 ± 1.0)	54.8 ± 9.2	54.4 ± 8.4	(-0.4 ± 1.6)	0.22	0.02	0.38
体水分量 (kg)	39.6 ± 5.2	39.5 ± 4.9	(0.0 ± 1.0)	40.1 ± 6.8	39.9 ± 6.2	(-0.3 ± 1.2)	0.22	0.02	0.38

数値: 平均値 ± 標準偏差、群は LC 群と HC 群を示す。

分散分析の結果は F 値を示す。*: P < 0.001。LC、低炭水化物; HC、高炭水化物

表4 減量期間のエネルギー代謝

		LC 群	HC 群
総エネルギー消費量	(kcal·day ⁻¹)	3,652 ± 453	3,710 ± 516
エネルギー収支	(kcal·day ⁻¹)	-2,367 ± 420	-2,376 ± 385
基礎代謝	(kcal·day ⁻¹)	1,375 ± 111	1,538 ± 293
身体活動レベル		2.7 ± 0.4	2.4 ± 0.2

数値: 平均値 ± 標準偏差、すべての項目において群間差は認められなかった。

LC、低炭水化物; HC、高炭水化物

とその後の増量の身体組成の動態が調査された¹³⁾。本研究では、先行研究¹³⁾の体重減少-6.0%に比べ、-2.8%と体重減少の割合は少ないにもかかわらず、体脂肪量の減少は約1.6kgと同程度の効果が得られた(表3より両群の平均値)。本研究で得られた体脂肪減少量はエネルギー収支(-2,371kcal・day⁻¹;表4より両群の平均値)から予想される体脂肪量の減少の約1.8kgと近似した結果を示している。加えて、本研究のエネルギー摂取量は約1,300kcalと先行研究の約1,000kcal・day⁻¹と比較し僅かながら多いが、総エネルギー消費量も多いため、エネルギー収支が同程度のマイナスであったと考えられる。すなわち、体重階級制アスリートのように脱水による体重の増減を目的としないのであれば、体重減少が有利に働くアスリートも1週間程度で目的の体脂肪量減少ができる可能性があり、本研究の体脂肪減少量は妥当な結果であることが推察される。

アスリートを対象としていない減量研究では、減量を行うと一定の割合で除脂肪量が減少することを示している²³⁾。Heymsfieldら²⁴⁾は一般的に食事による減量を行うと体重減少量の25%を除脂肪量の減少が占めるであろうと推測している(4分の1ルール)。除脂肪量を維持しながら体脂肪量の減少を最大にすることは、現代の肥満治療の目標とされるが、我々の1週間の減量プログラムはアスリートにおいてこの目標を達成させることができる可能性を示唆している。体脂肪量を減少させながら、除脂肪量を維持させることができた要因として、LC群とHC群が、いずれも高たんぱく質食であったことがあげられるかもしれない。本研究ではアメリカスポーツ医学会が推奨している持久力・筋力系アスリートのたんぱく質摂取量(体重あたり1.2~1.7g・kg⁻¹)¹¹⁾を維持しつつエネルギー摂取量を減少させた。Pasiakosら⁸⁾の研究においても、短期間の減量中にたんぱく質摂取量を維持することによって(体重あたり1.6g・kg⁻¹程度)、アスリートの除脂肪量減少が抑制されることが報告されており、たんぱく質摂取量が大きく寄与している可能性がある。

しかしながら、我々のアスリートを対象とした先行研究¹³⁾ではたんぱく質摂取量がエネルギー摂取量の12%であり、体重あたりでは0.45g・kg⁻¹・day⁻¹と少なく、結果として1週間の減量で除脂肪量は減少した。しかし、その後の1日の増量により除脂肪量は元の値まで回復したことから、減量期間中に十分な運動を実施すれば、実質的な骨格筋量は減少しない可能性がある。減量時の除脂肪量の減少を抑制させる方法に関して、食事制限に運動を組み合わせることが有効であることが報告されており^{25)~29)}、我々の研究室で行っている肥満者を対象にした研究においても、食事制限のみの群よりも、食事制限と有酸素運動を組み合わせた群の方が除脂肪量の減少を抑制させながら体重を減

小さくすることが明らかとなっている³⁰⁾。加えて、藤田³¹⁾はレジスタンス運動を行うと24時間のたんぱく質出入の異化作用と同化作用がよりプラスの方向(同化作用)に移行し、さらにはたんぱく質合成速度を速めることをレビューしている。すなわち、アスリートに特徴づけられる身体活動レベルの高さ、運動や身体活動の多さが特に除脂肪量の維持に寄与していた可能性がある。我々の先行研究と本研究の結果と合わせて考えると、1週間程度の短期間の減量であれば、たんぱく質摂取量および食事の主要栄養素の構成比より、減量期間中の運動や身体活動の多さが除脂肪量維持において特に重要な因子であるのかもしれない。

本研究では、エネルギー消費量の多いことが予想されるアスリートに対して、さらにスロージョギングの運動介入を行った結果、身体活動レベル2.6を達成した。これはDLW法で測定された1週間程度のエネルギー収支が負の条件下における、高地登山者と近似した身体活動レベルであった(2.2±0.3, 2.8±0.3)^{32),33)}。おおよそ時速7km・時間⁻¹、1日80分、平均値体重65kgから試算されるスロージョギングのエネルギー消費量は約600kcal・day⁻¹に相当する、主要な下肢筋群を多く使うスロージョギングが減量期間の総エネルギー消費量を約16%増加させ、更には除脂肪量の維持にも繋がったのではないかと推察される。

本研究ではLC群とHC群の体重および体脂肪減少の変化量に違いは見られなかった。比較的体格の大きいアスリートは骨格筋と肝臓に多くのグリコーゲンをもち、LC食によるグリコーゲンの損失は、迅速に体重を減少させ、その減少量も大きい可能性がある。つまりは減量の初期ではグリコーゲンとともに多くの水分の減少が見込まれる²⁾。本研究では、グリコーゲンの動態は明らかではないが、脱水による減量を防ぐ為に水分制限をしなかったために体重の変化による体水分量の差が観察されなかった可能性が考えられる。また、肥満者を対象にした研究において、LC群はHC群に比べて、3~6ヶ月の期間で体重減少への効果が高く、1~2年といった長期的な継続になると体重減少への効果は失われることが知られている^{9),10),34)}。長期的な研究とは異なり、脱水を生じさせない1週間程度のアスリートの減量効果はエネルギー収支に依存すると考えられ、すなわち、主要栄養素の摂取量が異なっても、たんぱく質摂取量が充分満たされておりエネルギー収支が同等に負であれば減量効果に差はないことが示唆された。

体重階級制の競技アスリートをはじめとする減量を実施することに優位性があるアスリートにおいて、本研究の短期間減量プログラムを実施することで飲水制限、脱水をせずとも同程度の体脂肪量減少が見込めるが、より体重を減少させるためには、最後の数日での飲水制限、脱水での調整が必要になってくるかもしれ

ない。また、エネルギー収支を考慮すれば、スポーツ現場にて栄養士を中心とする専門知識を持った者による食事の管理または提供、指導、教育されることにより、減量中でもより満足感のある食事からのエネルギーを摂取することができるのではないかと考えられる。

本研究の食事介入において、カルシウム、ビタミンB₁とB₂に群間差が認められた。本研究はエネルギー収支に関する減量計画であり、これら微量栄養素に重点をおいていないために検出された可能性がある。特にビタミンB₁とB₂は糖代謝や脂質代謝へ関与することが知られているが³⁵⁾、先行研究にて、短期間の減量によりビタミン摂取が減少したとしても血中のビタミン類に影響は見られないことが示されている³⁶⁾。加えて、本研究のビタミン推奨量はエネルギー摂取量あたりでは長島³⁵⁾の示す基準値に満たせていることから、本研究の短期間の身体組成の結果への影響はほとんどなかったと推察している。しかしながら、本研究での約3500kcalのエネルギー消費量あたりで考えたときには基準値を満たしていないため、今後は減量中のエネルギー消費量に応じたビタミン、カルシウム、ミネラル摂取も念頭に、微量栄養素に関してはサプリメントも含めさらなる研究が必要であると考えている。

本研究の限界として、除脂肪量の算出のために、減量前後ともに除脂肪量に含まれる水分量を73.2%と仮定していることがあげられる。本研究ではアスリートに対する測定負荷の軽減を意図し、水分量による2成分モデルにて研究を計画した。本来であれば、より正確に除脂肪量が推定される3または4成分モデルを用いた検討に優位性があるため、これを次なる課題としたい。加えて、本研究では減量前のエネルギー収支を調査してはいないものの、減量前において体重の変動がなかったことを確認しており、減量前にはエネルギー収支が平衡状態にあったと考えられ、本研究の結論へ与える影響はほとんどないと考えている。また、本研究論文の目的とは異なるため明記していないが、本実験前後に下肢の筋力である等速性膝関節の伸展筋力（減量前176±29Nm、減量後173±24Nm）及び屈曲筋力（減量前-98±22Nm、減量後-104±17Nm）は減量前後で変化が認められないことを確認している。従って、先述したように体重を負荷とするスポーツであれば、減量によって競技パフォーマンスにポジティブな影響を与える可能性もあるかもしれない。そのため今後はよりスポーツの現場に近いパフォーマンス評価を実施することを更なる課題としたい。

V 結論

本研究の1週間の短期間減量プログラムにおける運動介入とアスリートに推奨されているたんぱく質摂取

量（1.2~1.7g・体重kg⁻¹）を満たす高たんぱく質に設定された低炭水化物食または高炭水化物食の食事制限は身体組成へ同程度の影響を与える可能性が示唆された。

謝辞

本研究を実施するにあたり参加していただいた対象者の皆様に深くお礼申し上げます。本研究の遂行は文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（S0801083）の一部として実施されました。本文の執筆はJSPS科研費16J11877の助成を受けて完成させました。

利益相反

本研究内容に関して利益相反は存在しない。

文献

- 1) Hession, M., Rolland, C., Kulkarni, U., et al.: Systematic review of randomized controlled trials of low-carbohydrate vs. low-fat/low-calorie diets in the management of obesity and its comorbidities, *Obes. Rev.*, 10, 36-50 (2009)
- 2) Shai, I., Schwarzfuchs, D., Henkin, Y., et al.: Weight loss with a low-carbohydrate, Mediterranean, or low-fat diet, *N. Engl. J. Med.*, 359, 229-241 (2008)
- 3) 鈴木朋子, 山東勤弥: 低炭水化物ダイエットの減量効果に関する文献的検討: 肥満者を対象として, 大阪樟蔭女子大学研究紀要, 6, 253-263 (2016)
- 4) 小野紗都子, 大槻真: 低炭水化物食の肥満と脂質代謝改善効果, 神戸女子大学家政学部紀要, 45, 1-13 (2012)
- 5) 中村巧, 板東浩: 昨日の常識 食事療法ではカロリー制限すべきである 今日常識 食事療法では糖質制限すべきである, 治療, 91, 2858-2859 (2009)
- 6) Krieger, J.W., Sitren, H.S., Daniels, M.J., et al.: Effects of variation in protein and carbohydrate intake on body mass and composition during energy restriction: a meta-regression, *Am. J. Clin. Nutr.*, 83, 260-274 (2006)
- 7) Mettler, S., Mitchell, N., Tipton K.D.: Increased protein intake reduces lean body mass loss during weight loss in athletes, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 42, 326-337 (2010)
- 8) Pasiakos, S.M., Cao, J.J., Margolis, L.M., et al.: Effects of high-protein diets on fat-free mass and muscle protein synthesis following weight loss: A randomized controlled trial, *FASEB. J.*, 27, 3837-3847 (2013)
- 9) Foster, G.D., Wyatt, H.R., Hill, J.O., et al.: A randomized trial of a low-carbohydrate diet for obesity, *N. Engl. J. Med.*, 348, 2082-2090 (2003)

- 10) Samaha, F.F., Iqbal, N., Seshadri, P., et al.: A low-carbohydrate as compared with a low-fat diet in severe obesity, *N. Engl. J. Med.*, 348, 2074-2081 (2003)
- 11) Rodriguez, N.R., Di Marco, N.M, Langley, S.: American College of Sports Medicine position stand, Nutrition and athletic performance., *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 41, 709-731 (2009)
- 12) 北嶋康雄, 佐々木唯香, 田中宏暁: スロージョギングの有効性に関する研究: 低速走行と歩行の生理学的データの比較から, *ランニング学研究*, 25, 19-27(2014)
- 13) Sagayama, H., Yoshimura, E., Yamada, Y., et al.: Effects of rapid weight loss and regain on body composition and energy expenditure, *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 39, 21-27 (2014)
- 14) Racette, S.B., Schoeller, D.A., Luke, A.H., et al.: Relative dilution spaces of ^2H - and ^{18}O -labeled water in humans, *Am. J. Physiol.*, 267, E585-590 (1994)
- 15) Sagayama, H., Jikumaru, Y., Hirata, A., et al.: Measurement of body composition in response to a short period of overfeeding, *J. Physiol. Anthropol.*, 33, 29 (2014)
- 16) 齋藤慎一, 海老根直之, 島田美恵子, 他: 二重標識水法によるエネルギー消費量測定 の原理とその応用: 生活習慣病対策からトップスポーツ選手の栄養処方まで, *栄養学雑誌*, 57, 317-332 (1999)
- 17) 海老根直之, 島田美恵子, 田中宏暁, 他: 二重標識水法を用いた簡易エネルギー消費量推定法の評価—生活時間調査法, 心拍数法, 加速度計法について—, *体力科学*, 51, 151-164 (2002)
- 18) Schoeller, D.A., Ravussin, E., Schutz, Y., et al.: Energy expenditure by doubly labeled water: validation in humans and proposed calculation, *Am. J. Physiol.*, 250, R823-R830 (1986)
- 19) Weir, J.B.: New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism, *J. Physiol.*, 109, 1-9 (1949)
- 20) International Atomic Energy Agency (IAEA) : Assessment of body composition and total energy expenditure in humans using stable isotope technique, *IAEA.Human.Health.Series.*,3, 12-14, (2009)
- 21) Westerterp, K.: Food quotient, respiratory quotient, and energy balance, *Am. J. Clin. Nutr.*, 57, 759S-765S (1993)
- 22) Hirano, M., Yamada, Y., Hibi, M., et al.: Simultaneous multiple-subject analysis of respiratory gas exchange in humans, *J. Phys. Fit. Sport. Med.*, 3, 269-279 (2014)
- 23) Forbes, G.B.: Body fat content influences the body composition response to nutrition and exercise, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 904, 359-365 (2006)
- 24) Heymsfield, S.B., Gonzalez, M.C., Shen, W., et al.: Weight loss composition is one-fourth fat-free mass : A critical review and critique of this widely cited rule, *Obes. Rev.*, 15, 310-321 (2014)
- 25) Garthe, I., Raastad, T., Refsnes, PE., et al.: Effect of two different weight-loss rates on body composition and strength and power-related performance in elite athletes, *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.*, 21, 97-104 (2011)
- 26) Hill, J.O., Sparling, P.B., Shields, T.W., et al.: Effects of exercise and food restriction on body composition and metabolic rate in obese women, *Am. J. Clin. Nutr.*, 46, 622-630 (1987)
- 27) Josse, A.R., Atkinson, S.A., Tarnopolsky, M.A.: Increased consumption of dairy foods and protein during diet- and exercise-induced weight loss promotes fat mass loss and lean mass gain in overweight and obese premenopausal women, *J. Nutr.*, 141, 1626-1634 (2011)
- 28) Mero, A.A., Huovinen, H., Matintupa, O., et al.: Moderate energy restriction with high protein diet results in healthier outcome in women, *J. Int. Soc. Sports. Nutr.*, 7, 4 (2010)
- 29) Mettler, S., Mitchell, N., Tipton, K.D.: Increased protein intake reduces lean body mass loss during weight loss in athletes, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 42, 326-337 (2010)
- 30) Yoshimura, E., Kumahara, H., Tobina, T., et al.: Aerobic exercise attenuates the loss of skeletal muscle during energy restriction in adults with visceral adiposity, *Obes. Facts*, 7, 26-35 (2014)
- 31) 藤田聡: アスリートの効果的な筋量増加にむけた運動と栄養摂取, *日本スポーツ栄養研究誌*, 10, 10-16(2017)
- 32) Westerterp, K.R., Kayser, B., Brouns F., et al.: Energy expenditure climbing Mt. Everest, *J. Appl. Physiol.*, 73, 815-819 (1992)
- 33) Pulfrey, S.M., Jones, P.J.: Energy expenditure and requirement while climbing above 6000 m, *J. Appl. Physiol.*, 81, 1306-1311 (1996)
- 34) Brehm, B.J., Seeley, R.J., Daniels, S.R., et al.: A randomized trial comparing a very low carbohydrate diet and a calorie-restricted low fat diet on body weight and cardiovascular risk factors in healthy women, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 88, 1617-1623 (2003)
- 35) 長島未央子: ビタミン・抗酸化物質と運動, *スポーツ栄養学*, pp.115-129 (2017), 市村出版, 第4版, 東京
- 36) Reljic, D., Jost, J., Dickau, K., et al.: Effects of pre-competitive rapid weight loss on nutrition, vitamin status and oxidative stress in elite boxers, *J. Sports. Sci.*,33, 437-448 (2015)

(受付日: 2017年2月9日)
採択日: 2017年7月12日)

Original Article

The effect of exercise intervention and caloric restricted low- or high-carbohydrate diet with high protein on body composition in a short-term weight loss program

Hiroyuki SAGAYAMA ^{*1, *2}, Makiko TOGUCHI ^{*3}, Jun YASUKATA ^{*4}, Ikumi YAMAZAKI ^{*4},
Kohei SHIMADA ^{*4}, Takaya HIROTA ^{*4}, Yosuke YAMADA ^{*5, *6}, Naoyuki EBINE ^{*7},
Hiroyuki NUNOME ^{*4}, Akira KIYONAGA ^{*4, *6}, Yasuki HIGAKI ^{*4, *6}, Hiroaki TANAKA ^{*4, *6}

^{*1} Japan Institute of Sports Sciences

^{*2} Japan Society for the Promotion of Science

^{*3} Rokuto Orthopedic Clinic

^{*4} Faculty of Sports and Health Science, Fukuoka University

^{*5} Department of Nutritional Science, National Institute of Health and Nutrition, National Institutes of Biomedical Innovation, Health and Nutrition

^{*6} Fukuoka University Institute for Physical Activity

^{*7} Faculty of Health and Sports Science, Doshisha University

ABSTRACT

[Aim]

This study aimed to evaluate the effect of exercise intervention and caloric restricted carbohydrate content rate of diet with high protein on body composition in a short-term weight loss program.

[Methods]

Eleven healthy undergraduate university students belonging to a sports club (7 men and 4 women) were recruited and randomly allocated into low- (LC; n = 6) or high- (HC; n = 5) carbohydrate diet groups. Target energy intake was 20 kcal · kg⁻¹ of ideal body weight and all food was provided in this one week short-term weight loss program. Protein intake was set at 1.4 to 1.5 g · day⁻¹ per kg body weight, and carbohydrate rate was set at 30% of total energy intake for the LC group and 50% for the HC group. Both groups conducted slow jogging twice a day for 40 min as an exercise intervention in addition to their other club activities. Body composition was determined using an isotope dilution method and total energy expenditure was estimated using the doubly labeled water method.

[Results]

Both the LC and HC group significantly decreased body weight and fat mass compared with before the weight loss period (P<0.05). There were no significant changes in body weight (LC: - 1.9 ± 1.0 kg; HC: - 1.8 ± 1.0 kg) and fat mass (LC: - 1.9 ± 1.0 kg; HC: - 1.4 ± 0.9 kg) between the groups. Fat-free mass was not significantly changed during the weight loss program in either group. There was no difference between groups in energy intake and total energy expenditure.

[Conclusion]

The results of this study may suggest that in this short-term weight loss program applying exercise and either a low- or high-carbohydrate diet with high protein has the same effect on body composition.

Keywords: high protein diet, low carbohydrate diet, high carbohydrate diet, rapid weight loss, macronutrient composition