

<平成 28 年度助成>

極端な糖質摂取制限による短期間の減量が鉄代謝に及ぼす影響

後藤 一成¹⁾・林 七虹²⁾・石橋 彩³⁾

(¹⁾立命館大学 スポーツ健康科学部、²⁾立命館大学 スポーツ健康科学研究科
³⁾国立スポーツ科学センター)

1. はじめに

鉄欠乏は、世界中で共通の栄養問題である。世界保健機関 (WHO) によると、世界で 20 億人程度が貧血に該当し、その 2 倍の人数が貧血を伴わない鉄欠乏と該当するものと推定されている。また、厚生労働省が実施した国民健康・栄養調査においても、若年女性の 10 人に 1 人は貧血に該当する疑いがあることが示されている。さらに、若年女性においては、低栄養状態が問題になっており、20 代の 5 人に 1 人以上は BMI が 18.5 を下回る「痩せ」に分類されると報告されている。

若年女性においては、過度の痩せ願望などに起因する低栄養状態から鉄摂取量が不足し、鉄欠乏さらには貧血が誘発されているものと考えられる。その一方で、近年、鉄欠乏の発症要因として肝臓由来のホルモンである「ヘプシジン」の作用が注目されている。ヘプシジンは、鉄輸送体タンパクであるフェロポルチンと結合することで、小腸からの鉄吸収の阻害やマクロファージからの鉄の再利用を抑制し (Newlin et al. 2012)、鉄欠乏を誘発すると考えられている。

ヘプシジンの分泌は、多くの要因により制御されている。エネルギー摂取量と消費量の関係が負に傾いた場合 (相対的なエネルギー不足の状態) では、ヘプシジンの分泌は亢進する (Pasiakos et al. 2016)。また、近年、メディアなどで注目される極端な糖質制限は、体内のグリコーゲン量 (特に肝臓グリコーゲン量) を減少させ、炎症反応を誘発する (Nemeth et al. 2004) ことが考えられるため、ヘプシジンの分泌を亢進させる可能性がある。

そこで本研究では、食事摂取量に加え炭水化物摂取量を短期的に制限することで、ヘプシジンをはじめとした鉄代謝応答および体組成の変化を検討した。

2. 方法

健常な女子大学生 22 名を被験者とし、3 日間に及ぶ食事介入 (食事制限) を行った。被験者 22 名を、3 日間炭水化物摂取を制限する LCHO 群 (n=11 名、体重: 54.7 ± 2.1kg、体脂肪率: 26.4 ± 1.4%) と通常炭水化物を摂取する NCHO 群 (n=11 名、体重: 55.1 ± 1.5kg、体脂肪率: 24.4 ± 1.2%) に分けた。介入期間の 3 日間は、食事摂取量のみを制限とし、参加者には通常身体活動を維持するように指示し、身体活動量計を用いて活動量 (エネルギー消費量、歩数など) を評価した。食事介入期間の前後で体組成 (身長、体重、体脂肪量、除脂肪体重、体脂肪率など)、血液指標 (血清ヘプシジン、レプチン、フェリチン、鉄、TIBC、血漿 IL-6、総ケトン体分画など) および呼気中のアセトン濃度の測定を行なった。

介入期間前後の測定において、被験者は測定前日の 22:00 以降は絶食の状態の実験室に来室し、これらの測定を実施した。詳細な食事内容は、Table 1 に示した。1 日の食事における炭水化物摂取の割合は、通常群で約 63% (タンパク質: 23%、脂質: 37%)、低糖質群で約 40% (タンパク質: 18%、脂質: 19%) であった。

Table 1 Diet for 3 days of intervention period.

	LCHO			NCHO		
	DAY1	DAY2	DAY3	DAY1	DAY2	DAY3
Energy intake (kcal)	1078	1175	1057	1159	1183	1143
Protein (g)	59.4	63.5	65.4	50.6	50.3	52.7
Fat (g)	42.9	52.7	40.3	24.5	26.9	22.5
Carbohydrate (g)	113.6	111.7	108.2	184	184.9	182.4

3. 結果

1日あたりのエネルギー消費量 (LCHO; 1890 ± 65kcal, NCHO: 1821 ± 51kcal) および歩数 (LCHO; 10188 ± 823 歩, NCHO: 9971 ± 992. 歩) には、群間で有意差は認められなかった。

Table 2 には、食事介入期間後での体重と体脂肪量の変化率を示した。いずれの群においても、体重と体脂肪量の有意な減少がみられた。しかし、これらの減少の程度には、群間での有意差は認められなかった。

Figure 1 には、鉄代謝指標である血清フェリチン

濃度および総鉄結合能 (TIBC) の変化を示した。血清フェリチン濃度および TIBC には、食事介入期間前後 (Pre vs. Post) で有意な変化はみられなかった。また、群間 (LCHO vs. NCHO) での有意差も認められなかった。

Figure 2 には、介入前後での血清レプチン濃度および血漿 IL-6 濃度の変化を示した。血清レプチン濃度は、食事介入後において有意な低下がみられたが、群間での有意差は認められなかった。一方で、血漿 IL-6 濃度は、介入前後での有意な変化は認められなかった。また、介入後においては、NCHO 群が有意に高値を示した。

Figure 3 には、介入期間前後のヘプシジン濃度および変化率を示した。血清ヘプシジン濃度は、両群において介入後に有意に高値を示したが、群間の有意差は認められなかった。一方で、血清ヘプシジン濃度の変化率は、LCHO 群において有意な上昇がみられ、LCHO 群が高値傾向 ($p=0.09$) を示した。

Table 2 Percentage changes in body weight and fat mass.

	Δ weight	Δ fatmass
LCHO	-1.169 ± 0.292	-4.119 ± 0.919
NCHO	-1.272 ± 0.292	-3.996 ± 0.783

Mean ± SE.

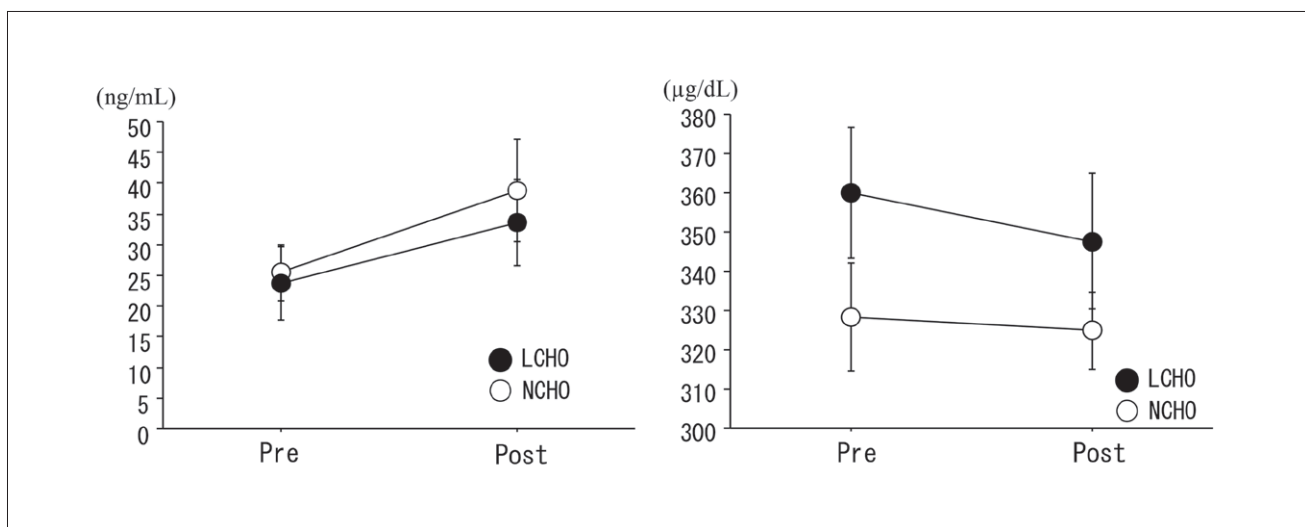


Figure 1 Changes in serum ferritin level (right) and TIBC (left) before and after intervention. Mean ± SE, *, $p < 0.05$ vs. Pre

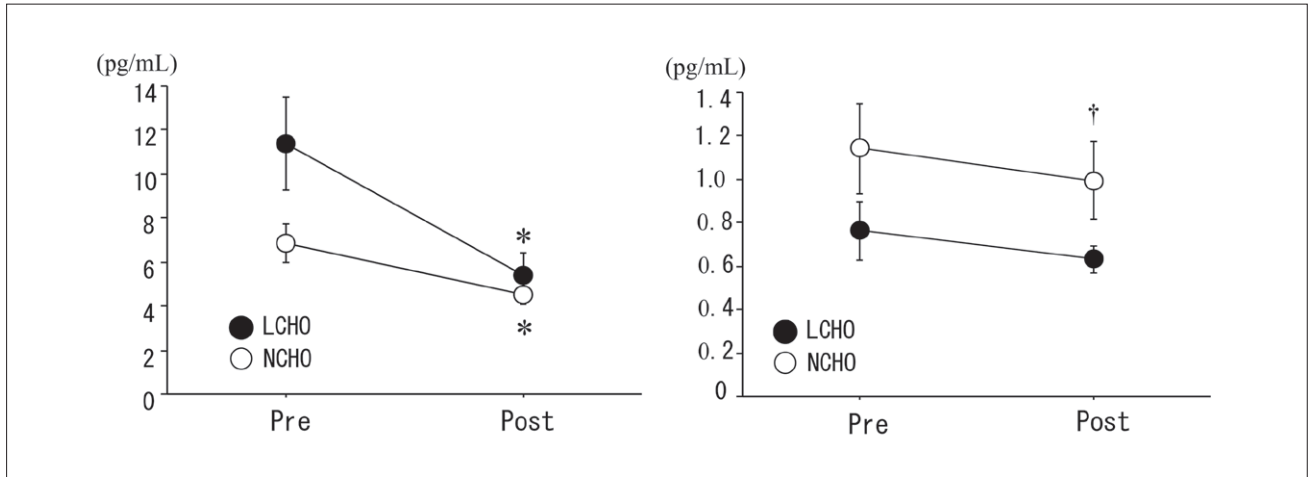


Figure 2 Changes in serum leptin (right) and plasma IL-6 (left) levels before and after intervention. Mean \pm SE, *, $p < 0.05$ vs. Pre, † ; $p < 0.05$ LCHO vs. NCHO

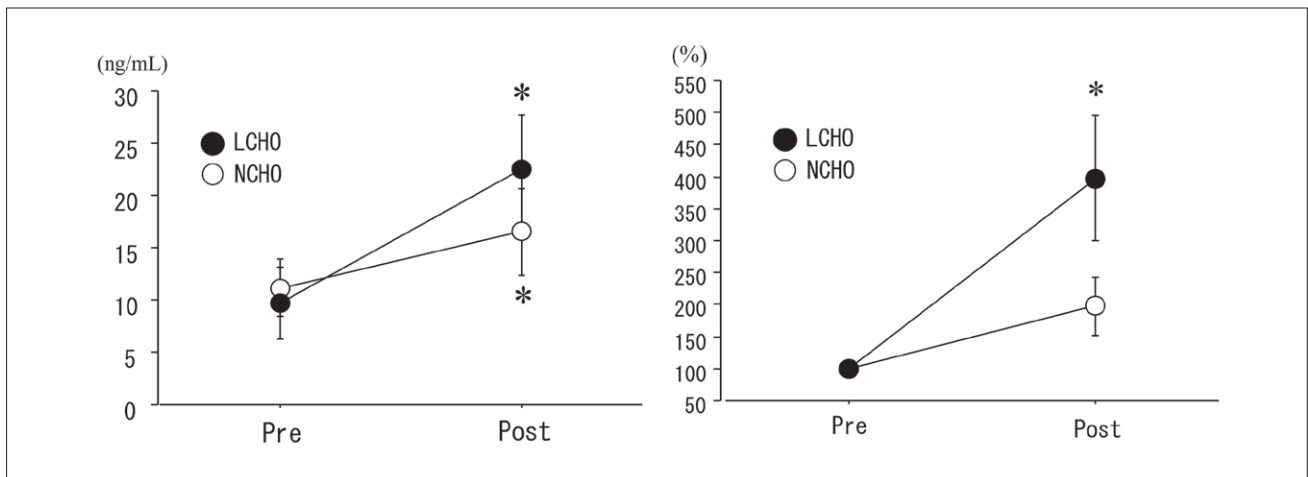


Figure 3 Changes in serum hepcidin level (right) and relative changes for serum hepcidin (left) before and after exercise. Mean \pm SE, *, $p < 0.05$ vs. Pre

3. 考察

3日間の食事制限は、空腹安静時の血清ヘプシジン濃度を上昇させた。また、その変化の程度は低糖質条件が高値傾向を示した。一方で、炎症を反映するインターロイキン6 (IL-6) や鉄指標 (血清フェリチン濃度、TIBC) は介入前後での有意な変化が認められなかった。また、エネルギーバランスを反映するといわれているレプチンや体組成 (体重および体脂肪量) は有意な低下がみられた。

短期間の炭水化物制限は、空腹安静時の血中ヘプシジン濃度を上昇させる傾向にあることから、炭水化物制限を長期的に実施した場合には鉄代謝に影響を及ぼす可能性があることが示唆された。ヘプシジ

ンは、食事からの鉄吸収や鉄の再利用を阻害することから、炭水化物制限による安静時のヘプシジン濃度の上昇は、鉄欠乏を誘発するものと考えられる。また、今回の結果からは、炭水化物摂取を制限しない場合でも、摂取カロリーをコントロールすることで、同程度の体重減少および体脂肪量減少の効果を得られることが明らかになった。これらの知見は、一般女性だけでなく女性アスリートにも還元することができ、多くの女性に関連する鉄欠乏という問題を解決するうえで重要な資料であるといえる。

今後は、食事制限前後での運動に伴うヘプシジンをはじめとした鉄代謝や炎症反応の変化について検討する必要があるだろう。

4. 結論

若年女性における3日間の食事摂取量(エネルギー摂取量)の制限は、体重および体脂肪量を有意に減少させた。また、3日間の食事摂取量の制限に伴い空腹安静時における血清ヘプシジン濃度の有意な上昇が認められた。一方で、この際に炭水化物の摂取量を制限した場合には、血清ヘプシジン濃度が高値傾向を示した。

上述の結果は、食事摂取量の制限はヘプシジンの分泌を亢進させること、この際に炭水化物の摂取量を制限した場合には、ヘプシジンの分泌増大が亢進することを示唆するものである。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、研究助成を賜りました公益財団法人 浦上食品・食文化振興財団に厚く御礼を申し上げます。

Influence of reduction of body weight via severe carbohydrate restriction on iron metabolism

Kazushige GOTO¹⁾, Nanako HAYASHI²⁾, and Aya ISHIBASHI³⁾

¹⁾ *Faculty of Sport and Health Science, Ritsumeikan University*

²⁾ *Graduate School of Sport and Health Science, Ritsumeikan University*

³⁾ *Japan Institute of Sports Sciences*

Hepcidin, which is an iron regulating hormone, reduces iron absorption from the duodenum and inhibits iron release from macrophages. **PURPOSE:** The purpose of the present study was to clarify the effects of combined energy restriction and carbohydrate restriction, during three consecutive days in young females. **METHOD:** Twenty-two young females were divided into a “carbohydrate restriction group (LCHO)” and a “normal carbohydrate group (NCHO).” Participants were provided with prescribed meals (approximately 1100 kcal per day), consisting of 63% and 40% carbohydrate in the NCHO group and LCHO group, respectively. Body composition and blood variables (i.e., serum ferritin, TIBC, serum leptin, plasma IL-6, and serum hepcidin) were measured before and after the intervention period. In addition, physical activity levels were evaluated during the intervention period using an activity monitor. **RESULTS:** Energy expenditure did not differ significantly between the two groups. Body mass and fat mass showed similar reductions after the intervention period ($p < 0.05$), with no significant differences between the groups. Serum ferritin and TIBC levels did not change after the intervention period. A significant decrease was observed in serum leptin levels in both groups ($p < 0.05$). Serum hepcidin levels were significantly increased after the intervention period in both groups ($p < 0.05$). Further, the relative increase in hepcidin level tended to be higher in the LCHO group. **CONCLUSION:** Both caloric and carbohydrate restriction during three consecutive days promoted increased hepcidin levels in both groups. In addition, the relative changes in hepcidin levels were higher when carbohydrate intake was restricted.