

2019 年度研究助成 研究成果報告書（HP掲載用）

研究課題名：炭水化物摂取の制限は鉄欠乏を誘発するか？：女性スポーツ競技者を対象にした検討

所属大学・機関名 立命館大学大学院 氏名 林 七虹

【研究要旨】

女性アスリートの三主徴の1つである Low energy availability (LEA)は、鉄代謝を抑制するヘプシジンの分泌を亢進させる (Badenhorst et al., 2020). 本研究は3日間の LEA 下での炭水化物 (CHO) 摂取量を変化させ、高炭水化物食と低炭水化物食でのヘプシジン分泌応答を比較した. その結果、両群とも安静時のヘプシジン濃度の上昇がみられた. 一方で、運動誘発性のヘプシジン濃度の上昇には、介入に伴う変化はみられなかった. LEA という状況下では CHO 摂取量は、ヘプシジンの分泌を介した鉄欠乏のリスクの増加に大きく影響しないことが示唆された.

【研究目的】

女性アスリートの三主徴の1つである LEA とは、運動によるエネルギー消費がエネルギー摂取量を上回る状態を指す. スポーツ競技者における LEA は鉄の吸収や再利用を阻害する肝臓由来のペプチドホルモンであるヘプシジンの分泌を介して (Badenhorst et al., 2020), 鉄欠乏のリスクを増加させることが懸念される. 持久性競技や審美系等の体重制限があるスポーツ種目の女性アスリートでは、体重の減少を目的としてエネルギーや炭水化物の摂取を制限する例が見受けられる. さらに高強度のトレーニング期間ではエネルギー消費量がエネルギー摂取量を上回り、意図せずに LEA の状態でトレーニングすることは珍しくない.

そこで本研究は LEA 下での CHO 摂取量を変化させ、高炭水化物食と低炭水化物食でのヘプシジン分泌応答を検討することを目的とする.

【研究方法】

本研究では活動的な女性を対象に実験を実施し、最終的に取得できた10名分のデータ (HCHO 群 4名, LCHO 群 6名) を示す. 実験参加者は、3日間の LEA でのトレーニング期間中に炭水化物摂取量を減少させる群 (LCHO 群; エネルギー摂取 20kcal/FFM, 35%CHO, 15%PRO, 50%FAT) もしくは炭水化物摂取量を増加させる群 (HCHO 群; エネルギー摂取量 20kcal/FFM, 70%CHO, 15%PRO, 15%FAT) の2群にランダムに分類した. LEA でのトレーニングおよび食事介入前後に、最大酸素摂取量 (VO_{2max}) の70%に相当する速度での60分間のランニング運動を負荷し、運動前、運動直後、運動1時間後お

よび運動3時間後で採血を実施した。3日間のLEAでのトレーニング期間中は、早朝空腹時の採血を行った。トレーニングとして、75%VO₂maxの運動強度での60分間のランニング（Warm-up 5分、cool-down 10分、合計75分）を実施した。食事内容は実験参加者の体組成やトレーニング時のエネルギー消費量から計算したものを、1日3食提供した。

【研究結果】

3日間の介入期間中の空腹安静時の血中グルコース濃度は介入に伴い有意な変化がみられた。血中グルコース濃度はLCHO群では減少がみられた一方で、HCHO群では血中グルコース濃度は維持された。安静時の血清鉄濃度および血清フェリチン濃度は介入期間を通して有意に上昇したが、その上昇はHCHO群とLCHO群で有意差は認められなかった。安静時の血清ヘプシジン濃度は介入期間に伴い有意な上昇がみられ、ヘプシジン濃度の変化はHCHO群とLCHO群の間で有意差がみられた。HCHO群は介入2日目に血清ヘプシジン濃度が大きく上昇した一方で、LCHO群は介入期間を通してわずかな増加みられた。介入前および介入後における運動に伴うヘプシジン濃度の変化を濃度曲線化面積（AUC）で比較した結果、両群ともに介入前後での有意差は認められなかった（HCHO $p = 0.479$, LCHO $p = 0.344$ ）。運動に伴う血清総ケトン体分画濃度のAUCは、HCHO群では介入後に有意に高値を示し（ $p = 0.028$ ）、LCHO群では介入後に高値傾向を示した（ $p = 0.069$ ）。

【考察】

現時点の10名の結果では、安静時の血清ヘプシジン濃度の上昇は3日間のLEA状況下で有意に上昇したが、介入前後における運動に伴うヘプシジン濃度の上昇の程度は介入前後で有意差がみられなかった。LEAが安静時のヘプシジン濃度を上昇させる結果は、先行研究と同様である（Ishibashi et al., 2020; Henniger et al., 2021）。一方で、運動誘発性のヘプシジン濃度の上昇はLEAやCHO摂取量の影響を大きく受けない結果となった。運動後のヘプシジン濃度の上昇は安静時のフェリチン濃度が影響することが報告されており（Peeling et al., 2014）、フェリチン濃度とヘプシジン濃度との間には正の相関関係が認められている（Peeling et al., 2017）。本研究では低フェリチン状態を呈する被験者（ $< 20\text{ng/mL}$ ）が4名（LCHO 3名、HCHO 1名）含まれていたことで、運動に対するヘプシジン応答が小さくなり、食事やトレーニングに対する影響を打ち消した可能性があると考えられる。運動に伴う血清ケトン体濃度は介入後に高値を示しており、特にLCHO群でばらつきが大きい結果となった。この結果から、LCHOの刺激に対する代謝応答は、被験者の筋および肝グリコーゲン量や血中グルコース濃度などの炭水化物利用能（CHO availability）に大きく依存する可能性が示唆される。

【結論】

3日間のLEA下でのトレーニングにおけるCHO摂取量の変化は、安静時のヘプシジン濃度および運動誘発性のヘプシジン分泌応答に影響を及ぼさなかった。LEAという状況下ではCHO摂取量は、ヘプシジンの分泌を介した鉄欠乏のリスクの増加に大きく影響しないことが示唆された。