

研究報告

リン過剰摂取においてジャンプトレーニングが骨強度と骨代謝に及ぼす影響

梅村 義久・本田 亜紀子・王 国棟・十河 直太

Effects of jump training on bone strength and metabolism in rats fed phosphorus-enriched diet

Yoshihisa UMEMURA, Akiko HONDA, Guodong WANG, Naota SOGO

I はじめに

現代の食生活における栄養摂取状況は、カルシウム摂取が少なくなりリン酸の摂取が多くなる傾向にある。この原因はカルシウム源のミルク離れと、リン酸の含有量の多い加工食品や清涼飲料水の摂取によると考えられている¹⁾。一方、骨にハイインパクトな負荷を与えるジャンプのような運動は骨量を増加させ、骨強度を高めることが知られている^{2) 3)}。しかし、リン・カルシウム比が高い栄養摂取状態が運動の効果にどのような影響を与えるのかについては十分な検証がなされていない。

そこで、本研究ではラットを用いて、リン・カルシウム比が2.0である中程度の高リン食および2.5である高強度の高リン食条件において、ジャンプトレーニングが骨強度および骨代謝に及ぼす影響を、リン・カルシウム比が1.0である通常食を摂取させた場合と比較検討した。

II 方法

本報告は2016年度中京大学体育研究所紀要に報告した研究⁴⁾に、骨強度分析および血液の骨代謝マーカーのデータを追加して報告す

る。従って、「動物および飼育方法」「餌の設定」「ジャンプトレーニングの方法」については前報告と同じであり、前報告を引用した。

1. 動物および飼育方法

実験動物には8週齢のWistar-ST系雄ラット55匹（日本エスエルシー）を用いた。1週間の予備飼育期間中に、すべてのラットにジャンプトレーニングの練習をさせた。予備飼育終了後に、ラットをランダムに下記の6群（3つの食餌条件×2つの運動条件）に分けた。

- ① 通常食 (P/Ca比 = 1.0) コントロール群、n = 10
- ② 通常食 (P/Ca比 = 1.0) ジャンプトレーニング群、n = 10
- ③ 中程度高リン食 (P/Ca比 = 2.0) コントロール群、n = 9
- ④ 中程度高リン食 (P/Ca比 = 2.0) ジャンプトレーニング群、n = 11
- ⑤ 高強度高リン食 (P/Ca比 = 2.5) コントロール群、n = 8
- ⑥ 高強度高リン食 (P/Ca比 = 2.5) ジャンプトレーニング群、n = 7

8週間のトレーニング期間終了後、断頭にてラットを屠殺し、血液を採取して血清を冷凍保

存した。また、軟部組織を注意深く取り除き、左脛骨を摘出した。飼料と水（水道水）は飼育期間を通して自由摂取とした。また全飼育期間を通して設定温度を $23 \pm 1^\circ\text{C}$ とし、中京大学動物実験棟の飼育室にて、1匹ずつ専用ケージで飼育した。本研究は中京大学動物実験委員会の承認を得て実施した。

2. 餌の設定

本実験に使用した飼料は、リン、カルシウム、ナトリウムなどの含有量が既知である標準的な粉末飼料（CE2、日本クレア）を基礎飼料とし、先行研究⁵⁾を参考にCE2にリン酸ナトリウム ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) と塩化ナトリウム (NaCl) およびデキストリンを添加することにより、飼料に含まれるリンの量を調節するとともに、ナトリウム含有量に差異が出ないように調節した。通常食には基本の飼料100gに対してリン酸ナトリウム0.35g、塩化ナトリウム3.00g、デキストリン5.00gを添加して、リン・カルシウム比 (P/Ca) が1.0となる飼料とした。中程度高リン食には基本の飼料100gに対してリン酸ナトリウム5.69g、塩化ナトリウム1.00g、デキストリン1.66gを添加して、リン・カルシウム比 (P/Ca) が2.0となるようにした。また、高強度高リン食には基本の飼料100gに対してリン酸ナトリウム8.35gのみを加えて、リン・カルシウム比 (P/Ca) が2.5となる飼料を作成した。このように設定した餌をジャンプトレーニング期間と同期間（9週齢～17週齢）の8週間にわたって与えた。

3. ジャンプトレーニングの方法

ジャンプトレーニングは我々の先行研究²⁾と同様の方法で行った。すなわち、自製の木箱の底からジャンプをさせ箱の上端に上肢で捕まるという運動である。箱の上に登ってきたラットは、次のジャンプのために再び箱の底に戻した。箱の底には電気刺激板が用意しており、ジャンプトレーニングの練習期間およびラットがジャンプをしない場合には電流を使用した。ラットは練習日および2～3日のトレーニングにおいてジャンプトレーニングを学習するため、

その後はほとんど電流を受けることはなくジャンプをするようになった。木の箱の高さを40cmに設定し、ジャンプ回数は1日20回として、週に5回、8週間のトレーニング（9週齢～17週齢）を行わせた。この間、コントロール群のラットには特別なトレーニングは行わなかった。

4. 骨密度、骨強度の測定

摘出した左脛骨について、骨強度試験機 (TK-252C/RDT, 室町機械) を用いて骨幹中央部で3点支持の骨破断試験を行い、最大曲げ荷重と骨破断までの要した破断エネルギーを測定した。3点支持における両端支点間の距離は16mmとして、その中間位で上からプランジャーを10mm/minの速度で変位させて骨の破断を行った。

5. 血清骨代謝マーカー等の測定

凍結保存した血清を用いて、骨形成マーカーとしてGlaオステオカルシン (MK128, Rat Gla-Osteocalcin High Sensitive EIA Kit, タカラバイオ)、骨吸収マーカーとしてGluオステオカルシン (MK148, Rat Glu-Osteocalcin High Sensitive EIA Kit, タカラバイオ) を酵素免疫抗体法にて測定した。

6. 統計的手法

各項目については、すべて平均値±標準偏差で示した。各測定項目については食餌要因×トレーニング要因の2要因における二元配置の分散分析を行い、食餌要因に有意差がある場合にはTukey HSD法にて下位検定を行い、食餌要因間の比較を行った。すべての結果において有意な交互作用は検出されなかったため、各水準における多重比較は行わなかった。危険率5%以下を有意水準とした。

Ⅲ 結果

左脛骨の最大曲げ荷重は通常食コントロール群 $129.7 \pm 12.6 \text{ N}$ 、通常食ジャンプトレーニング群 $153.6 \pm 15.0 \text{ N}$ 、高リン食 (2.0) コントロール群 $127.3 \pm 12.1 \text{ N}$ 、高リン食 (2.0) ジャ

ジャンプトレーニング群 137.4 ± 14.8 N、高リン食 (2.5) コントロール群 93.0 ± 22.7 N、高リン食 (2.5) ジャンプトレーニング群 101.0 ± 18.2 N であり、トレーニングによって最大曲げ荷重は有意に増加することが確認された ($P < 0.01$)。一方、食餌要因においては、高リン食 (2.5) 条件が他の2条件と比べて有意に低値を示した ($P < 0.01$)。交互作用は有意ではなかった。

破断エネルギーは通常食コントロール群 62.0 ± 11.9 mJ、通常食ジャンプトレーニング群 74.3 ± 9.0 mJ、高リン食 (2.0) コントロール群 53.7 ± 6.3 mJ、高リン食 (2.0) ジャンプトレーニング群 59.6 ± 11.9 mJ、高リン食 (2.5) コントロール群 32.2 ± 15.2 mJ、高リン食 (2.5) ジャンプトレーニング群 49.0 ± 12.5 mJ であり、トレーニングによって破断エネルギーは有意に増加した ($P < 0.01$)。一方、食餌要因については、通常食 > 高リン食 (2.0) > 高リン食 (2.5) の順に有意に高値を示した ($P < 0.01$)。交互作用は有意ではなかった。

血清の骨形成マーカーである Gla オステオカルシン濃度の結果については図1に示した。トレーニング要因については有意な差が認められなかったが、食餌要因は有意であり高リン食 (2.5) 条件では他の2条件と比べて有意に高値を示した ($P < 0.01$)。交互作用は有意ではなかった。

血清の骨吸収マーカーである Glu オステオカ

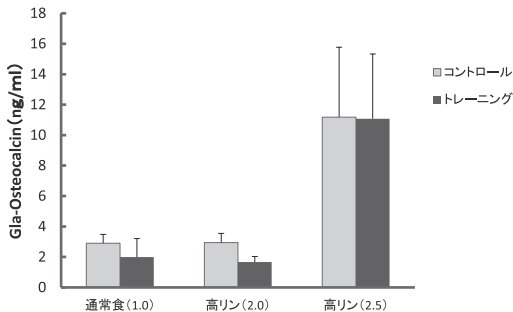


図1 血清骨形成マーカー (Gla オステオカルシン) 濃度食餌要因においては、高リン食 (2.5) 条件が他の食餌条件に比べて有意に高い ($P < 0.01$)。トレーニング要因においては有意差なし。

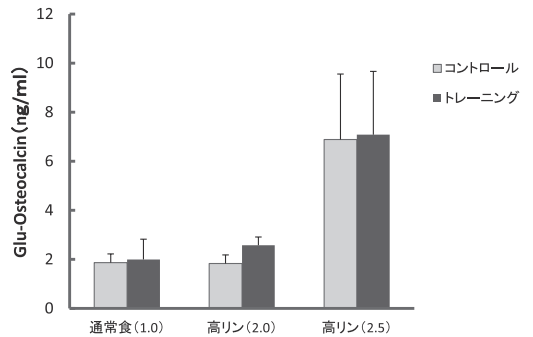


図2 血清骨吸収マーカー (Glu オステオカルシン) 濃度食餌要因においては、高リン食 (2.5) 条件が他の食餌条件に比べて有意に高い ($P < 0.01$)。トレーニング要因においては有意差なし。

ルシン濃度の結果については図2に示した。Gla オステオカルシン濃度の結果と同様に、トレーニング要因については有意な差が認められなかったが、食餌要因は有意であり高リン食 (2.5) 条件では他の2条件と比べて有意に高値を示した ($P < 0.01$)。交互作用は有意ではなかった。

なお、前報⁴⁾で報告したようにジャンプトレーニング期間終了後の体重は、トレーニング要因による差は検出されなかった。食餌要因については有意な差が検出され、高リン食 (2.5) 条件の体重が他の2群に比べて有意 ($P < 0.01$) に低値を示した。

IV 考察

本研究ではリン:カルシウム比2.0の中程度高リン食およびリン:カルシウム比2.5の高強度高リン食においても、ジャンプトレーニングは骨強度および破断エネルギーを高めることを明らかとした。交互作用がないことから、運動の骨に与える効果は本研究の栄養摂取条件では影響されないことが示された。

一方、リン:カルシウム比2.5の高強度高リン食条件においては、骨強度および破断エネルギーが通常食条件に比べて低下することが明らかとなった。リン:カルシウム比2.0の中程度の高リン食条件においても破断エネルギーが通常食条件に比べて有意に低下していた。リンの過

剰摂取は、腸管でのカルシウムの吸収を減少させ、血中のカルシウム濃度の減少とリン酸濃度の増加を引き起こす。この結果、副甲状腺ホルモンの分泌が亢進して、骨塩量を低下させ骨強度を減少させたと考えられる⁶⁾。

本研究ではジャンプトレーニングは骨形成マーカーおよび骨吸収マーカーの濃度に影響を与えなかった。本研究で測定したGlaオステオカルシンおよびGluオステオカルシンは運動による骨代謝の変化を捉えられないと考えられる。一方、リン:カルシウム比2.5の高強度高リン食条件においては他の栄養条件にくらべて、骨形成と骨吸収が亢進して、骨代謝が高回転となっていることが示された。この結果については副甲状腺ホルモンなどの骨代謝関連因子の影響であると考察される⁶⁾。

本研究は2015年度中京大学体育研究所の共同研究費を得て行われた。

参考文献

- 1) MS Calvo, J Uribarri. Public health impact of dietary phosphorus excess on bone and cardiovascular health in the general population. *Am J Clin Nutr*, 98: 6-15, 2013.
- 2) Umemura Y, Ishiko T, Yamauchi T, Kurono M, Mashiko S. Five jumps per day increase bone mass and breaking force in rats. *J Bone Miner Res*, 12: 1480-1485, 1997.
- 3) Kato T, Terashima T, Yamashita T, Hatanaka Y, Honda A, Umemura Y. Effect of low-repetition jump training on bone mineral density in young women. *J Appl Physiol* 100: 839-843, 2006.
- 4) 梅村義久, 本田亜紀子, 王国棟, 十河直太. リン過剰摂取と運動が脛骨の形態に及ぼす影響. *中京大学体育研究所紀要* 30:51-54, 2016.
- 5) Bégot L, Collombet JM, Renault S, Butigieg X, Andre C, Zerath E, Holy X. Effects of high-phosphorus and/or low-calcium diets on bone tissue in trained male rats. *Med Sci Sports Exerc*, 43: 54-63, 2011.
- 6) Bai RJ, Cheng XG, Yan D, Qian ZH, Li XM, Qu H, Tian W. Rabbit model of primary hyperparathyroidism induced by high-phosphate diet. *Domest Anim Endocrinol*, 42: 20-30, 2012.