

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 26 日現在

機関番号：34411

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650413

研究課題名(和文)レジスタンス運動は鉄及びカルシウムの再利用を促進して必要量を減少するか

研究課題名(英文) Does resistance exercise facilitate iron and calcium recycle in the body to reduce their requirement?

研究代表者

岡村 浩嗣 (Okamura, Koji)

大阪体育大学・体育学部・教授

研究者番号：10330151

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：レジスタンス運動トレーニングが鉄やカルシウムの体内での再利用を促進して、これらの栄養素の必要量が多いとされるアスリートで摂取量を増やす必要はないのではないかという仮説を検証することを目的として実施した。その結果、鉄に関してはレジスタンス運動トレーニングは鉄の吸収を抑制するが体内での再利用を促進し、鉄の栄養状態が維持されていたことから、レジスタンス運動トレーニングを行っているアスリートでは鉄の摂取量を必ずしも増やす必要のないことが示唆された。一方、カルシウムに関しては骨のカルシウム含量や破断強度、剛性を指標として検討したが、鉄のような体内での再利用の促進は明らかではなかった。

研究成果の概要(英文)：This study investigated hypothesis whether resistance exercise training facilitates recycling of iron and calcium in the body and the requirement of these nutrients could be less than thought in athletes whose requirements of these nutrients are regarded high. The results showed that resistance exercise training decreases iron absorption, whereas the iron status maintained due to facilitating iron recycle in the body, suggesting that athletes engaging resistance exercise training might not necessarily increase iron intake. Since bone calcium content, rupture strength and stiffness showed no effect of resistance exercise training, the exercise do not appear to facilitate calcium recycling in the body.

研究分野：運動栄養学

キーワード：鉄 カルシウム 運動 吸収 再利用 ヘプシジン 貧血 骨

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 鉄とカルシウムは日本人で不足しやすい栄養素である。スポーツ選手でも、この二つの栄養素は不足しないように注意することが重要とされている。

(2) スポーツ選手で鉄欠乏性貧血は、それほど珍しいものではない。疲労骨折などのカルシウム不足が一因と考えられる健康問題もスポーツ選手で見られる。

(3) 食事・栄養調査によると、筋肉を強化するトレーニング(レジスタンス運動トレーニング)を行うスポーツ選手では鉄の摂取量が十分とはいえない場合でも貧血でないことが多いのに対し、レジスタンス運動トレーニングをあまり行わない持久系のスポーツ選手の方が貧血は多い。

(4) 鉄やカルシウムなどのミネラルは体内ではタンパク質とともに代謝される。このため体タンパク質の合成がより強く刺激されるレジスタンス運動トレーニングを行うと、ミネラルの利用が影響を受ける可能性が考えられる。具体的には寿命を終えた赤血球が分解されて放出された鉄が、新たな赤血球合成に再利用される割合が高まることなどが考えられる。

## 2. 研究の目的

レジスタンス運動トレーニングが鉄やカルシウムの生体内での再利用を促進するかどうか検討すること。

## 3. 研究の方法

### (1) 鉄に関する研究

①ラットに鉄含量が標準飼料の1/3の鉄欠乏食(鉄12 mg/kg飼料)を与えて6週間、飼育した。飼育室の照明は8時から20時を暗期、20時から8時を明期とした。ラットはレジスタンス運動トレーニングを行う群(運動群)と運動トレーニングを行わない群(非運動群)に分けた。運動群にはラットの活動期にあたる暗期の17時から18時に、5分間のクライミング運動を週3回(原則として2日に1回)、6セット行わせた。各セット間には5分間の休息期間を設けた。6週間の飼育期間後に安楽死させた。

②飼育期間中は毎日、摂食量を測定するとともに糞をすべて採取した。飼料と糞は灰化後に鉄濃度を測定し、摂食量と糞量を乗じて鉄の摂取量、排泄量およびバランスを算出した。

③安楽死させた時に採取した血液を用いてヘマトクリット値、ヘモグロビン濃度、血漿鉄濃度、総鉄結合能、トランスフェリン飽和率を測定した。

④安楽死時に採取した肝臓、小腸、屠体、皮膚、全身の鉄含量を測定した。これらの検体はミキサーで均質化し、凍結乾燥後にさらにミルで粉碎した。この検体を湿式灰化し、鉄濃度を原子吸光高度計で測定して、それぞれの組織の鉄含量を算出した。

### (2) カルシウムに関する研究

①実験条件：表1に示したカルシウム欠乏食および運動条件でラットを飼育した。飼育終了時に安楽死させ大腿骨と脛骨を採取し、カルシウム含量、破断強度および剛性を指標として評価した。

②運動条件：トレッドミル走は速度30 m/分で20分間の走運動を隔日で週3回とした。クライミングは鉄に関する研究で行ったクライミング運動トレーニングと同様の条件で行わせた。タワーケージによる運動は、45 cm × 60 cmの床面積で高さ180 cmの金網製ケージの天井に設置した給水瓶や給餌器から飲水したり摂食したりするために、ラットが金網の壁面を自発的に昇降する運動であった。タワーケージによる運動条件では、給餌器を床に置いた場合と天井に設置した場合の二つの条件で検討した。タワーケージ+クライミングでは、タワーケージで飼育したラットにクライミング運動トレーニングも行わせた。水泳は30°Cの水温のプールで30分間、隔日で週3回行わせた。

③骨カルシウム含量の測定：骨はオープンで乾式灰化後に水溶液とし、原子吸光高度計でカルシウム濃度を測定した。

表1 カルシウムに関する実験の条件など

実験番号	飼料カルシウム(%)	運動条件	期間(週)
1	< 0.01	なし	4
		トレッドミル走	
		クライミング	
	0.15	なし	
		トレッドミル走	
		クライミング	
	0.25	なし	
		トレッドミル走	
		クライミング	
	0.5 (充足食)	なし	
		トレッドミル走	
		クライミング	
2	0.4	なし	4
		トレッドミル走	
		タワーケージ	
		タワーケージ+クライミング	
	0.5	なし	
		トレッドミル走	
		タワーケージ	
		タワーケージ+クライミング	
3	0.15	なし	4
		水泳	
		タワーケージ床飼料	
		タワーケージ天井飼料	
	0.5	なし	
4	0.15	なし	4
		水泳	
		タワーケージ床飼料	
	0.5	なし	

④骨の破断強度および剛性の測定：水平に置いた骨の midpoint に力を加え、デジタルフォースゲージおよびレオメーターで測定した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 鉄に関する研究

鉄に関する研究では、本研究までの段階で食餌中の鉄含量や運動条件は確立されていたため、その条件で検討した。

表2のように血中の鉄指標には運動群と非運動群で差がなかった。また、表3のように測定した組織および全身の鉄含量にも群間で差はなかった。一方、図1のように6週間の飼育期間中に糞中に排泄された鉄は運動群が非運動群よりも有意に多かった(非運動群  $8.5 \pm 0.6$  mg/6週間、運動群  $10.2 \pm 1.0$  mg/6週間)。鉄の摂取量には群間で差がなかった(非運動群  $15.1 \pm 0.9$  mg/6週間、

表2 血中鉄指標

	非運動群	運動群
ヘマトクリット (%)	$28.7 \pm 3.4$	$27.0 \pm 5.1$
ヘモグロビン (g/dL)	$9.0 \pm 0.8$	$8.6 \pm 1.0$
血漿鉄 ( $\mu\text{g/mL}$ )	$0.51 \pm 0.15$	$0.56 \pm 0.19$
総鉄結合能 ( $\mu\text{g/mL}$ )	$5.6 \pm 0.4$	$5.4 \pm 0.2$
トランスフェリン飽和率 (%)	$9.1 \pm 2.5$	$10.5 \pm 3.6$

表3 体組織の鉄含量

	非運動群	運動群
肝臓 (mg/g)	$0.037 \pm 0.005$	$0.034 \pm 0.002$
小腸 (mg/g)	$0.014 \pm 0.002$	$0.019 \pm 0.007$
屠体 (mg/g)	$0.093 \pm 0.009$	$0.100 \pm 0.014$
皮膚 (mg/g)	$0.016 \pm 0.002$	$0.019 \pm 0.003$
全身 (mg)	$9.052 \pm 0.095$	$9.117 \pm 1.183$

運動群  $15.0 \pm 1.2$  mg/6週間) ので、見かけの吸収量(非運動群  $6.63 \pm 0.74$  mg/6週間、運動群  $4.80 \pm 0.79$  mg/6週間) および吸収率(非運動群  $43.8 \pm 3.5\%$ 、運動群  $32.0 \pm 4.7\%$ ) は運動群が非運動群よりも有意に低値だった。

運動群で鉄の吸収量が少なかったにも関わらず、血中および組織中の鉄状態は非運動群と差がなかったこと、さらに全身の鉄含量も少なくなかったことは、運動群では鉄の体内での再利用が高まっていたことを示唆している(図2)。

##### (2) カルシウムに関する研究

表1に示した食餌および運動条件で検討した。その結果、いずれの実験条件下でもカルシウム欠乏食で骨のカルシウム含量の減少、

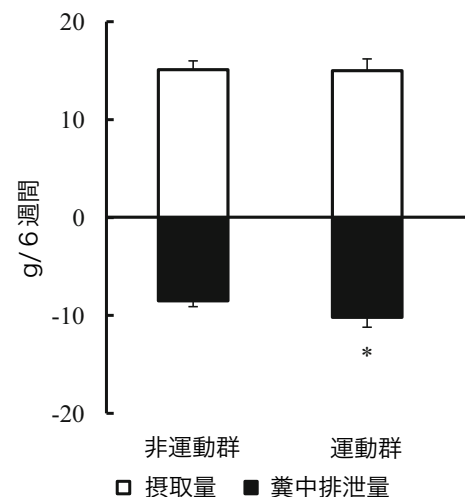
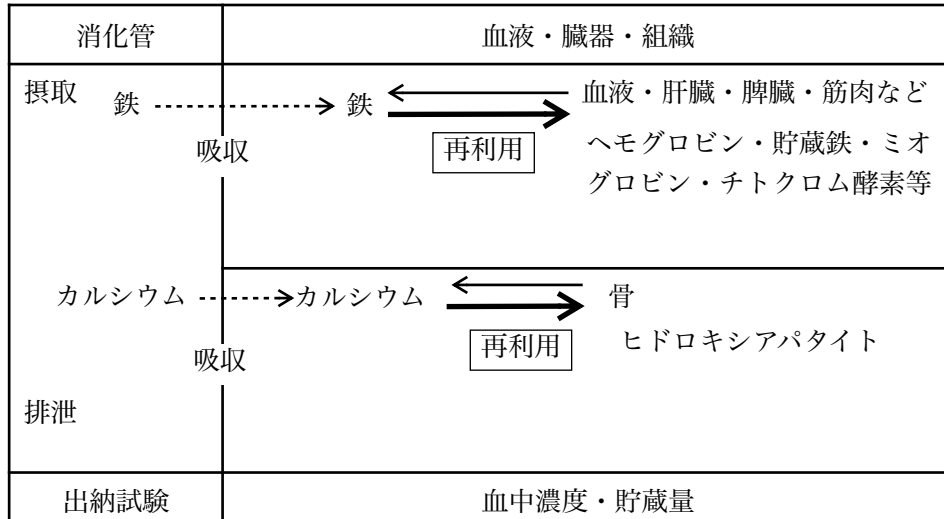


図1 鉄の摂取量、糞中排泄量およびバランス

図2 鉄とカルシウムの体内での再利用



新陳代謝で生ずる鉄やカルシウムの再利用が亢進すると、吸収量が増大しなくても貯蔵量が維持されたり増加したりすると考えられる。本研究ではこの考え方に基づいて出納試験、血中濃度、貯蔵量などを評価指標とした。

骨の破断強度や剛性の低下は認められたものの、運動によって明らかなカルシウム含量の増加や破断強度や剛性の増大は認められなかった。

これらの結果は、少なくとも今回の条件下では、本研究での評価指標に影響するほど図2に示すようなカルシウムの再利用は増えなかったことを示している。

### (3) まとめ

本研究の結果、レジスタンス運動トレーニングは鉄の生体内での再利用を促進することが示唆された。一方、カルシウムの再利用を促進するかどうかは明らかにできなかった。

持続的な運動でも鉄の吸収は減少するとの報告がある。鉄の吸収が低下することによって鉄の体内での再利用が高まることも考えられる。持続的な運動ではヘモグロビンなどの鉄状態は悪化する。これに対して、レジスタンス運動を用いた本研究では、鉄の吸収は減少したが鉄状態は悪化しなかった。これらのことは、鉄の体内での再利用がレジスタンス運動では高まるのに対して、持続的運動では高まらないことを示唆している。

スポーツ選手では鉄の必要量は多いとされている。しかし、鉄は摂りにくい栄養素の一つである。本研究の結果は、スポーツ選手のなかでもレジスタンス運動系の競技・種目の

選手では鉄の摂取量は増やす必要がないことを示すものかもしれない。

授乳期には1日当たりコップ1杯の牛乳に含まれる量に相当する約200 mgのカルシウムが母乳として母体から失われる。授乳期間中に運動すると母体の骨密度の低下を軽減することが報告されている (Lovelady CAら 2009)。このことは運動によってカルシウムの体内での再利用が高まることを示唆している。本研究では運動がカルシウムの再利用を促進することは明らかにできなかった。しかし、実験条件をさらに検討する価値はあると思われる。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計4件)

- ① Effects of resistance exercise on iron absorption and balance in iron-deficient rats. Fujii T, Matsuo T, Okamura K. Biol Trace Elem Res. (2014) 161: 101-6.査読有
- ② Exercise, nutrition and iron status. Fujii T, Matsuo T, Okamura K. J Phys Fitness Sports Med. (2012) 1: 133-137.査読有
- ③ The effects of resistance exercise and post-exercise meal timing on the iron

status in iron deficient rats. Fujii T, Matsuo T, Okamura K. Biol Trace Elem Res. (2012) 147:200-205.査読有

〔学会発表〕 (計6件)

- ① Resistance exercise improves the iron status without increasing the absorption in iron-deficient rats. Fujii T, Nakashima A, Tanaka C, Matsuo T, Okamura K. Experimental Biology 2014、2014年4月28日、サンディエゴ (米国)
- ② Resistance exercise decreases iron absorption without deteriorating the iron status in rats. Okamura K., Asai T, Kondo E, Okumura Y, Fujii T, Matsuo T. Experimental Biology 2014、2014年4月28日、サンディエゴ (米国)
- ③ 運動後の食餌タイミングは鉄欠乏ラットにおけるレジスタンス運動の鉄栄養状態改善効果に影響しない。藤井嵩子、中島あゆみ、徐旻珺、園生智広、松尾達博、岡村浩嗣。日本栄養・食糧学会、2013年5月25日、名古屋大学 (愛知・名古屋)。
- ④ Post-exercise meal timing does not influence hemoglobin synthesis in iron deficient rats. Fujii T, Nakashima A, Xu M, Sonou T, Matsuo T, Okamura K. Experimental Biology 2013、2013年4月21日、ボストン (米国)

〔その他〕

ホームページ等

[www.okamurakoji.info](http://www.okamurakoji.info)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

岡村浩嗣 (OKAMURA, Koji)

大阪体育大学・大学院スポーツ科学研究研究科・教授

研究者番号：10330151