

レジスタンス運動の鉄栄養状態に対する影響

210D04 藤井 嵩子

指導教員 岡村 浩嗣

必須微量元素である鉄の欠乏は世界で最も一般的な栄養問題の一つである。そのため、これまで鉄栄養状態に対する運動および栄養の影響に関する研究が数多く行われており、運動自体が鉄状態を変化させることが知られている。運動の鉄栄養状態への影響の研究では、エアロビック運動を対象にしたものが多く、その多くがエアロビック運動は生体内鉄状態に悪影響を及ぼすという結果である。それに対してレジスタンス運動を対象にしたものは少ない。近年、レジスタンス運動の鉄栄養状態改善効果が示唆された。これまで、鉄栄養状態の改善については栄養の影響を中心に研究がされ、運動により鉄欠乏を予防・改善するという観点から研究した実験は少ない。しかし、運動による鉄欠乏の防止は鉄欠乏罹患者が多い発展途上国においても経済的に合理的であり、一般人よりも鉄の摂取量が多く設定されているスポーツ選手にとっては栄養管理への負担が軽減される。以上のことから、鉄状態と身体活動の関連性について更なる研究を進めていくことは重要であると考え、本研究を行った。

実験 1 では、レジスタンス運動の中等度鉄欠乏ラットの鉄栄養状態に及ぼす影響について検討した。レジスタンス運動を行った運動群では非運動群に比べてヘム生合成の律速酵素である骨髄 ALAD 活性と血中ヘモグロビン濃度が高値傾向を示し、レジスタンス運動の鉄栄養状態改善効果が明らかとなった。また、レジスタンス運動には鉄の吸収率を高める効果がないことが示唆されていることから、増加した鉄量は再利用率が高まったことにより体内に貯留されたと推察された。つまり、レジスタンス運動の鉄栄養状態改善効果は鉄の再利用能の亢進である可能性が示唆された。さらに、運動群では非運動群と比べて骨格筋中の鉄含量が増加し、その他の組織中の鉄含量に有意な差が見られなかった。このことから、レジスタンス運動を行うことで鉄の体内分布が変化したことが示唆された。以上のことから、レジスタンス運動は鉄の体内での再利用及び再分配を変化させて鉄の栄養状態を改善する可能性が示唆された。

実験 2 では、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対する高タンパク質食の影響について検討した。血漿鉄は高タンパク質食群で普通タンパク質食群に比べて高値傾向を示した。レジスタンス運動に鉄の吸収率を高める効果がないことが示唆されていることから、高タンパク質食の摂取により鉄の吸収が高まったと推察される。血漿鉄は優先的にヘモグロビンの合成に用いられることが報告されている。しかし、本実験では両群で血中ヘモグロビン濃度に有意な差が見られず、さらに、ヘモグロビン生合成の律速酵素である骨髄 ALAD 活性にも有意な差は見られなかった。このことから、ヘモグロビン合成には血漿鉄の上昇よりも骨髄 ALAD 活性の上昇が重要であることが示唆された。

実験 3 で、食餌タイミングが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

効果に及ぼす影響について検討した。運動直後に骨髄 ALAD 活性は上昇し、時間の経過とともに低下することが明らかとなった。また血漿鉄も同様に、運動直後で上昇し、時間の経過とともに低下した。このことから、骨髄 ALAD 活性と血漿鉄濃度の上昇するタイミングが一致することが、ヘモグロビン生合成の促進に繋がる可能性が示唆された。しかし、運動直後に食餌を摂取する群と運動4時間後に食餌を摂取する群で、骨髄 ALAD 活性および全ての血液指標で群間に有意な差が見られなかったことから、食餌タイミングの違いは鉄栄養状態に影響しないことが示唆された。しかし、骨格筋肥大に対する食餌タイミングの影響を観察した実験では8週間の実験期間を要しており、本章で行った研究はヘモグロビンに対する食餌のタイミングの影響を観察するには実験期間が短かった可能性が示唆された。

そこで実験4では、実験期間を8週間に延長して、長期間の食餌のタイミングの違いが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及ぼす影響について検討した。その結果、血中ヘモグロビン濃度を始めとする全ての血液指標および骨髄 ALAD 活性に群間で有意な差は見られなかった。このことから、長期であっても食餌タイミングは鉄欠乏ラットの鉄栄養状態に影響しないことが明らかとなった。

レジスタンス運動の鉄栄養状態への影響を検討した研究は少なく、メカニズムについては十分に理解されていない。本研究では、レジスタンス運動の鉄栄養状態改善効果は鉄の再利用能が促進されるためであることを示唆した。また、ヘモグロビン生合成には血漿鉄濃度の上昇よりも骨髄 ALAD 活性の上昇が重要であること、食餌摂取は骨髄 ALAD 活性を高めないため、運動による骨格筋肥大を促進する運動後速やかなタイミングで食餌を摂取しても、鉄欠乏ラットのヘモグロビン濃度は上昇しないことを明らかにした。

関連論文

1. Fujii T, Asai T, Matsuo T, Okamura K. Effect of resistance exercise on iron status in moderately iron-deficient rats. *Biological Trace Element Research*. 144(1-3):983-91. 2011.
2. Fujii T, Matsuo T, Okamura K. Effect of a high protein diet on the anemia mitigating effect of resistance exercise in rats. *Nutritional Segment*: 2(2) NS/1561. 2011.
3. Fujii T, Matsuo T, Okamura K. The effects of resistance exercise and post-exercise meal timing on the iron status in iron-deficient rats. *Biological Trace Element Research*. 147(1-3):200-5. 2012.

参考論文

1. Fujii T, Matsuo T, Okamura K. Exercise, nutrition and iron status. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*. 1(1):133-137. 2012.

Effect of Resistance Exercise on Iron Status in Moderately Iron-Deficient Rats

Takako Fujii • Tsuyoshi Asai • Tatsuhiko Matsuo • Koji Okamura

Abstract Resistance exercise increases heme synthesis in the bone marrow, but it does not improve the hemoglobin status in severe iron-deficient rats on a diet containing less than 5 mg iron/kg. The current study investigated whether resistance exercise could mitigate hemoglobin status via increasing heme synthesis in moderately iron-deficient rats. Male 4-week-old Sprague–Dawley rats were fed an iron-deficient diet containing 12 mg iron/kg for 3 weeks. The rats were divided into two groups: a sedentary (S) group ($n=7$) or an exercise (E) group ($n=7$). The rats in the E group performed a climbing exercise (5 min \times 6 sets/day, 3 days/week). The aminolevulinic acid dehydratase activity, hematocrit, and hemoglobin tended to be higher in group E than S. The iron content in the flexor hallucis longus muscle was significantly higher in E than S, whereas the content in the liver, spleen, kidney, and heart did not significantly differ between the groups. Therefore, resistance exercise appears to improve hemoglobin via increasing heme synthesis in the bone marrow in moderately iron-deficient rats.

Nutritional Segment:2(2) NS/1561, 2011

Takako Fujii, Tatsuhiko Matsuo and Koji Okamura

Effect of a high protein diet on the anemia mitigating effect of resistance exercise in rats

Resistance exercise mitigates iron-deficiency anemia in rats. Dietary protein promotes iron absorption. The purpose of this study was to examine whether a high protein diet could enhance the anemia mitigating effect of resistance exercise in rats. Fifteen male rats (4 weeks old) were divided into two groups, a high protein diet group (H, 35% of energy) or a normal protein diet group (N, 20% of energy). Both diets were moderately iron-deficient (12 mg Fe/kg diet). All rats performed a climbing exercise (5 min \times 6 sets/d, 3 d/w) for 3 weeks. The plasma iron concentration tended to be higher in the H group. Although the hepatic aminolevulinic acid dehydratase activity tended to be higher in the N group, hemoglobin, hematocrit, total iron binding capacity and transferrin saturation did not differ between the groups. The iron content in the skeletal muscle was significantly higher, while that in the heart tended to be slightly higher in the H group in comparison to the N group; whereas the content in the liver, kidney and spleen did not differ. Therefore, a high protein diet does not appear to enhance the anemia mitigating effect of resistance exercise in rats.

The Effects of Resistance Exercise and Post-Exercise Meal Timing on the Iron Status in Iron-Deficient Rats

Takako Fujii • Tatsuhiro Matsuo • Koji Okamura

Abstract Resistance exercise increases heme synthesis in the bone marrow and the hemoglobin in iron-deficient rats. Post-exercise early nutrient provision facilitates skeletal muscle protein synthesis compared to late provision. However, the effects of post-exercise nutrition timing on hemoglobin synthesis are unclear. The current study investigated the effect of post-exercise meal timing on the activity of the key enzyme involved in hemoglobin synthesis, δ -aminolevulinic acid dehydratase (ALAD), in the bone marrow and examined the hemoglobin concentration in iron-deficient rats. Male 4-week-old Sprague–Dawley rats were fed an iron-deficient diet containing 12 mg iron/kg and performed climbing exercise (5 min \times 6 sets/day, 3 days/week) for 3 weeks. The rats were divided into a group fed a post-exercise meal early after exercise (E) or a group fed the meal 4 h after exercise (L). A single bout of exercise performed after the 3-week training period increased the bone marrow ALAD activity, plasma iron concentration, and transferrin saturation. Although the plasma iron concentration and transferrin saturation were lower in the E group than the L group after a single bout of exercise, the basal hematocrit, hemoglobin, and TIBC after 3 weeks did not differ between the groups. Therefore, resistance exercise increases the bone marrow ALAD activity, while the post-exercise meal timing has no effect on the hemoglobin concentration in iron-deficient rats.

J Phys Fitness Sports Med, 1(1): 133-137 (2012)

JPFSM: Short Review Article

Exercise, nutrition and iron status

Takako Fujii, Tatsuhiro Matsuo and Koji Okamura

Abstract Iron deficiency is still a problem in developing countries as well as developed countries. Moreover, an athletic population has a high rate of iron deficiency anemia; most of whom participate in aerobic exercise. Therefore, most studies which have been conducted to investigate the effect of exercise on iron status have used aerobic exercise. A considerable number of studies suggest that aerobic exercise has harmful effects on the iron levels in the body. Therefore, most of the studies on improving iron deficiency focus on the effect of nutrition. However, mild resistance exercise improves iron status in the body. These results suggest the possibility of a difference in the effect of different types of exercise on iron status. Exercise would be economically advantageous as a measure to improve iron deficiency in developing countries that have a high rate of iron deficiency. Future studies might thus be needed to clarify the relationship between iron status and physical activity.