

レジスタンス運動は鉄欠乏ラットの鉄栄養状態を改善する 摂取エネルギー制限下でも改善する

209M01 浅井烈
指導教員 岡村浩嗣

貧血、ヘム合成、組織鉄、鉄再利用 【目的】

鉄の摂取不足による鉄欠乏性貧血では、ヘム生合成が低下するために血中ヘモグロビン濃度が低下する。松尾らは鉄欠乏ラットに自発的レジスタンス運動を行わせるとヘム合成能が亢進し、鉄の栄養状態が改善することを報告している。

鉄欠乏性貧血の運動選手では、鉄だけでなくエネルギーも不足していることが多い。エネルギーの不足はタンパク合成を低下させるので、ヘモグロビン合成も低下させる可能性がある。したがって、運動選手の貧血の予防・改善には、鉄だけでなくエネルギーも不足しないようにすることが重要と考えられる。レジスタンス運動が、鉄が不足している場合の鉄栄養状態の改善に効果的なことを示した松尾らの研究では、エネルギーは不足していない。

そこで本研究では、レジスタンス運動が鉄欠乏食による鉄欠乏状態を改善する効果が、エネルギーを制限した条件でもみられるか検討した。

【方法】

4週齢のSD系雄ラット30匹を対象とし、すべてのラットに鉄含有量を通常食の3分の1に減じた鉄欠乏食を与えた。ラットはエネルギー摂取量と運動の2要因により、(1)食餌を制限せずエネルギーを充足させて運動させない充足・安静群(7匹)、(2)(1)と同様に食餌を制限しないが運動させる充足・運動群(7匹)、(3)食餌量をエネルギーを充足させたラットの70%に制限しエネルギーを不足させて運動させない不足・安静群(8匹)、(4)(3)と同様にエネルギーを不足にするが運動させる不足・運動群(8匹)に分けた。運動させたラットにはクライミング運動を隔日で週3回、5分間の運動と5分間の休憩を6回繰り返し行わせた。以上の条件で3週間飼育した。

統計処理はエネルギー摂取量と運動の2要因による二元配置分散分析とTukey-Kramer法により行い、危険率5%未満を統計的に有意とした。

【結果】

実験終了時の体重と実験期間中の総摂食量は、エネルギー制限で有意に低値を示したが、運動の影響は見られなかった。

測定したすべての臓器重量はエネルギー制限で有意に低値を示した。運動によって長母趾屈筋の重量は有意に増大したが、その他の臓器には運動の影響は認められなかった。

血中の鉄に関する指標は、すべての群が鉄欠乏状態であることを示した(表1)。エネルギー制限によって、血中ヘモグロビン濃度(Hb)は有意に高値を示し、トランسفェリン飽和率(TfS)は高い傾向にあった(表1)。総鉄結合能(TIBC)はエネルギー制限によって有意に低値を示した(表1)。運動によってHb、血漿鉄濃度およびTfSは有意に高値を示し、TIBCは有意に低値を示した(表1)。

組織1g当たりの鉄含有量は、エネルギー制限によって肝臓と腎臓で有意に高値を示した。臓器当たりの鉄含有量は、エネルギー制限によって脾臓で低い傾向を示したが、その他の臓器にエネルギー制限の影響はみられなかった。運動で腎臓の鉄含有量が有意に増大したが、その他の臓器に対する影響は見られなかった。

表1 血液中鉄指標

		充足・安静		充足・運動		不足・安静		不足・運動		二元配置分散分析		
		平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	食餌	運動	食×運
Hb	(g/dL)	10.6	2.4	12.2	2.3	12.7	1.2	14.1	1.2	<0.01	0.04	0.81
血漿鉄濃度	(μg/mL)	0.50	0.12	0.94	0.66	0.70	0.17	0.84	0.23	0.48	0.04	0.23
TIBC	(μg/mL)	5.3	0.9	5.3	0.5	4.8	0.7	3.7	0.8	<0.01	0.03	0.09
TfS	(%)	9.4	3.8	17.8	15.8	14.7	4.6	22.6	6.5	0.08	<0.01	0.87

ヘム合成の律速酵素であるアミノレブリン酸脱水酵素(ALAD)の肝臓での活性は、組織 1g 当たりではエネルギー制限で有意に高値を示したが、肝臓の臓器当たりでは逆にエネルギー制限で有意に低値を示した。肝臓 ALAD 活性に運動の影響はみられなかった。

3 日間の糞中鉄排泄量にエネルギー制限の影響は見られなかつたが、運動によって糞中鉄排泄量は有意に高値を示した。見かけの鉄吸収率は運動によって有意に低値を示した(表 2)。

【考察】

本実験ではすべてのラットが鉄欠乏状態であった。しかし、血中の鉄指標は運動群が非運動群よりも良好だった。運動により長母趾屈筋が肥大したことから、運動で骨格筋タンパク質合成が刺激されたと考えられる。運動は肝臓でのアルブミンの合成など、骨格筋タンパク質以外のタンパク質の合成も刺激する。したがつて、本実験では運動によりヘム合成が刺激された可能性がある。本実験で運動したラットで Hb の低下が改善されたことは、この可能性を支持している。

しかし、本実験では肝臓の ALAD 活性に運動の影響は見られなかつた。ヘム合成系の酵素活性は運動によって上昇するが、その後は時間の経過と共に低下することが報告されている。本実験では、ラットを最後の運動から 24 時間以上経過した時点で解剖した。本実験で、肝臓 ALAD 活性に運動の影響が見られなかつたのは、運動から解剖までの時間が長かつたためだったことが推察される。

本実験では、血中の鉄指標はエネルギーを制限したラットがエネルギーを充足させたラットよりも良好であった。本実験では、エネルギー制限したラッ

トの体重増加が小さかつたために、体重あたりの鉄の摂取量がエネルギーを充足させたラットよりも約 20% 多くなつた。このことが、エネルギーを制限したラットで血中鉄指標の悪化が改善された原因だつた可能性を排除できない。したがつて、本実験結果よりエネルギー制限が鉄欠乏食による鉄栄養状態の悪化を改善したと結論することはできないと考えられる。

見かけの鉄の吸収率が運動群で非運動群よりも低値だったにも関わらず、鉄栄養状態は運動群が非運動群よりも良好だった。鉄の吸収率は通常は 10% 程度だが、体内的貯蔵鉄が減少すると上昇する。本実験でも、鉄の見かけの吸収率は非運動群で 57% であり、吸収率は上昇していた。しかし、運動群では見かけの吸収率は極めて低く、充足・運動群では負の値であった。運動は鉄の排泄量を増大し吸収率を低下させるとの報告がある一方で、鉄の排泄量を減少させ吸収率を上昇させるとする報告もある。Strause らは、運動は鉄の吸収率を高めると共に体内の鉄の分布状態を変化させたり、ミオグロビンや赤血球の合成などを刺激することを報告している。ヘモグロビンなどの合成には、食事由來の鉄の他に分解した赤血球などに由來する鉄が再利用される。Ruckman らは運動によって体内での鉄の再利用が亢進することを示唆している。本実験では、運動によって鉄の再利用が亢進したために、吸収率が低かつたにも関わらず鉄の栄養状態の悪化が改善された可能性が考えられる。

本実験結果より、レジスタンス運動は鉄欠乏食を与えたラットの鉄栄養状態の悪化を、エネルギー摂取量を制限した場合にも改善することが示唆された。

表2 見かけの鉄吸収率

	(g/3 days)	充足・安静		充足・運動		不足・安静		不足・運動		二元配置分散分析		
		平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	食餌	運動	食 × 運
摂食量	(g/3 days)	64.4	6.2	67.2	5.7	45.0	0.2	44.9	0.4	<0.01	0.47	0.35
糞量	(g/3 days)	5.7	1.0	5.5	0.6	5.2	0.4	4.5	0.4	<0.01	0.04	0.35
鉄摂取量	(μg/3 days)	1321	128	1378	117	1370	7	1366	11	0.46	0.48	0.34
鉄排泄量	(μg/3 days)	564	98	1610	148	592	264	1352	205	0.72	<0.01	0.07
見かけの鉄吸収率	(%)	57.3	6.1	-16.9	18.5	56.8	19.4	0.9	15.1	0.63	<0.01	0.12