

# 運動負荷モデルラットの必須微量元素 Fe および Zn の体内変動

糸井 亜弥<sup>1</sup>, 門田真理子<sup>1</sup>, 濱谷 早紀<sup>1</sup>, 安井 裕之<sup>2</sup>, 吉川 豊<sup>1</sup>

## Fluctuation with changes in body essential trace element Fe or Zn by rat with exercise stress test

Aya Itoi<sup>1</sup>, Mariko Kadota<sup>1</sup>, Saki Hamatani<sup>1</sup>,  
Hiroyuki Yasui<sup>2</sup>, Yutaka Yoshikawa<sup>1</sup>

### 要 旨

**目的:** 体内必須微量元素 Fe と Zn が習慣化した激しい運動によってどの程度変動するのか、また、その体内分布について研究した報告はほとんどない。本研究では雄ラットをトレッドミルで強度が異なる運動をさせた時に、生体内のバイオパラメータはどのように変動するのか、Fe と Zn が体内でどのような挙動を示すのか、運動強度による体内存在量に違いが生じるのかについて検証を行った。

**方法:** 6 週齢 Wistar 系雄ラットを非運動群 (n=4)、低強度運動群 (n=4)、高強度運動群 (n=4) に分類し、1 日 1 回、週 5 日の頻度で運動させた。飼育 12 週間後、解剖を行い、血液、臓器を採取し、血球成分、Fe および Zn 量などを測定した。

**結果:** 赤血球 (RBC)、ヘモグロビン (HGB)、ヘマトクリット (HCT) は運動強度に応じて減少し、平均赤血球容積 (MCV)、平均赤血球ヘモグロビン量 (MCH) は運動強度に応じて増加する傾向が見られた。Fe 濃度は脾臓が最も高く、Zn 濃度は骨が最も高かった。

**結論:** 高強度運動群は貧血を発症していることが考えられ、激しい運動を行う男性スポーツ選手の貧血によるパフォーマンス低下を軽減させるため、今後、Fe および Zn の体内分布を詳細に検討し、データを蓄積する必要がある。

**キーワード:** 鉄 (Fe)、亜鉛 (Zn)、運動、体内分布

### I. 緒言

運動は強度によって健康への効果に違いがあり、運動強度による身体への影響は様々である。日本では、厚生労働省が「健康づくりのための身体活動基準・指針」を提言している。それによる

と、日常の身体活動量の増加によって、メタボリックシンドロームを含めた循環器疾患・糖尿病・がんなどの生活習慣病の発症及びこれらを原因として死亡に至るリスクや、加齢に伴う生活機能の低下をきたすリスクを下げることは可能であるとされている。さらに、これらの予防効果を高めるには、運動量の基準 (18~64 歳) として、息が弾み、汗をかく程度の運動を毎週 60 分行うこと

1 神戸女子大学 健康福祉学部 健康スポーツ栄養学科  
2 京都薬科大学 分析薬科学系 代謝分析学分野

が推奨されている<sup>1)</sup>。ところが、スポーツ選手が行う習慣的な激しい運動（高強度の運動）はスポーツ性貧血を発症させる場合があり、主に下記の3種類に分類される。1つ目は鉄欠乏性貧血であり、トレーニングを伴う鉄の需要増大、鉄（Fe）摂取量の低下、大量発汗によるFe喪失によるものである。2つ目の溶血性貧血は、運動中の足底部への強い衝撃の反復によって血管内の赤血球が破壊されることによって起こる。3つ目の希釈性貧血は、偽性貧血とも言われ、血液中のヘモグロビンが減少する貧血とは異なり、体液を保持する反応によって血液が希釈され、ヘマトクリット値が低下した状態となり、一見、真の貧血のように見える症状を呈する<sup>2)</sup>。鉄欠乏性貧血の生理学的原理は、Feを含む血液中の赤血球成分ヘモグロビンが全身に酸素を運搬する役割をするため、運動による呼吸によって酸素消費量が増え、それに伴い、Feの消費量も増加することに起因する<sup>3)</sup>。筋肉では、Feを含むミオグロビンがヘモグロビンによって運搬された酸素を蓄えているが、運動によってその酸素は消費され<sup>3)</sup>、また、急激に汗をかくことでミネラルを再吸収できず、汗に含まれるFeが体外に排出されることによって貧血が起こる<sup>4)</sup>。女子スポーツ選手は男子スポーツ選手に比べ、貧血の発生頻度が約3倍であると報告されており<sup>5)</sup>、男子は女子に比べ、貧血を発症する選手は少ないが、選手である現役期間中、立ちくらみ・めまい・動悸・息切れ・疲労感・食欲不振・無月経・頻脈などの貧血症状を発症する<sup>2)</sup>ことにより、パフォーマンスが低下し、自分の思うような成績があげられない選手の存在が問題視されている。

必須微量元素はヒトの生命の維持、生体の発育、成長、正常な生理機能に不可欠の元素である。Feは微量元素の中では最も体内存在量が多

い元素であり、体重70 kgのヒトの場合、約3.5 g存在し、約6割がヘモグロビンに含まれ、全身の細胞への酸素の供給を行っている。また、亜鉛（Zn）は体重70 kgのヒトの場合、約2.5 g存在し、大部分が筋肉と骨に含まれ、血液にも存在している<sup>6)</sup>。Znはたんぱく質の合成と分解、特に赤血球膜を作るたんぱく質の合成に関与しており、重度のZn欠乏時には形成性造血障害が起こり、赤血球産生へ重大な影響を及ぼすなど貧血と密接に関わっている<sup>7)</sup>。Nishiyamaらによると、女性スポーツ選手の貧血患者にFeとZnを同時に投与すると、Fe単独投与では改善されない貧血症状が改善されたと報告されており<sup>8)</sup>、激しい運動が貧血を発症させ、FeとZnによって改善する関係性が示唆される。しかし、FeとZnが習慣化した激しい運動によって体内でどの程度変動するのか、また、その分布について研究した報告はほとんどない。本研究では、雄ラットをトレッドミルで強度が異なる運動をさせた時に、生体内のバイオパラメータはどのように変動するのか、FeとZnが体内でどのような挙動を示すのか、運動強度による体内存在量に違いが生じるのかについて検証を行った。

## II. 方法

### 1. ラットの飼育およびトレッドミルによる実験

6週齢 Wistar 系雄ラットを、無作為に非運動群（n=4）、低強度運動群（n=4）、高強度運動群（n=4）に分類し、飼料および Elix 水を12週間自由摂取させた。運動手段は、室町機械(株)製トレッドミル MK-680を使用した。本機器は、速度と傾斜を調節できる回転ベルトならびに電気刺激によってラットを強制的に運動させる走行装置である。運動強度は、富島らの報告<sup>9)</sup>を参考に、低強度運動は走行速度15 m/分、走行継続時

間60分、傾斜角度0度に、高強度運動は走行速度20 m/分、走行継続時間30分、傾斜角度20度に設定し、1日1回、週5日の頻度で運動させた。

飼育12週間後、解剖を行い、血液、臓器を採取した。

## 2. 血液採取

血液をヘパリン含有真空採血管で採取し、シスメックス(株)製動物用多項目自動血球計数装置 KX-21NV を用いて、全血中の赤血球 (RBC)・ヘモグロビン (HGB)・ヘマトクリット (HCT)・平均赤血球容積 (MCV)・平均赤血球ヘモグロビン量 (MCH) の血球成分を測定した。その後、遠心分離機 (4℃、3,000 rpm、10分) にかけて、血漿を分離した。血漿は富士フィルム(株)製動物用臨床化学分析装置富士ドライケム3500V を用いて、トリグリセライド (TG)・総コレステロール (TCHO)・HDL コレステロール (HDL)・クレアチンフォスフォキナーゼ (CPK) の生化学成分を測定した。

## 3. 臓器採取

臓器は、骨・脂肪組織・肝臓・腎臓・脾臓・精巣を採取した。骨は、室町機械(株)製骨強度試験機 TK-252C を使用し、大腿部の骨強度 Energy と Stiffness を測定した。さらに、骨の切断面の長径と短径をデジタルノギスで計測し、太さ (面積) を計算した。

## 4. 湿式灰化および高周波プラズマ質量分析装置による Fe および Zn 量の測定

血清は50  $\mu$ L、骨・脂肪組織・肝臓・腎臓・脾臓・精巣は0.05 g を精秤し、硝酸、過塩素酸、過酸化水素を用いて湿式灰化させ、内標準として In (濃度 1 mg/L) を10  $\mu$ L ずつ加え、測定用サ

ンプルを作成した。アジレント・テクノロジー(株)製誘導結合プラズマ質量分析計 (Inductively coupled plasma - mass spectrometry : ICP-MS 7700) によって Fe および Zn を定量した。

## 5. 倫理的配慮

全ての実験は、我が国の動物実験関連法規・指針を遵守した神戸女子大学動物実験倫理委員会の内規に従い、神戸女子大学動物実験倫理委員会の承認を得た上で実施した (承認番号 A84,A101,A126)。本研究はヒトでの実施は不可能であり、動物実験に変わる手段がなかった。動物の飼育は、飼育ケージ内の広さと清潔さに配慮し、周辺の換気・温度等を常時コントロールし、栄養学的に適した飼料と新鮮な水が容易に得られる環境で行った。

## 6. 統計処理

SPSS Statistics Ver.24 (IBM) を用いて平均値および標準偏差を算出し、棄却検定を行った。運動強度の違いによる各群の平均値の差は一元配置分散分析による有意性を検定後、多重比較 (Bonferroni) を行った。週齢 (6週齢 vs.18週齢) の平均値の差は対応のあるサンプルの T 検定 (paired T-test) によって検定した。有意水準は5%未満 (両側検定) とした。

## III. 結果

### 1. 摂食量・飲水量

表1には摂食量、飲水量を示した。摂食量、飲水量は、各群で有意差が認められなかった。

表1 摂食量・飲水量 (18週齢)

	摂食量 (g)	飲水量 (g)
非運動群	16.2 $\pm$ 1.6	24.5 $\pm$ 0.1
低強度運動群	15.1 $\pm$ 0.2	23.8 $\pm$ 1.6
高強度運動群	11.2 $\pm$ 4.3	17.4 $\pm$ 7.2

運動強度の差 (一元配置分散分析) なし

## 2. 体重

図1には6週齢時と18週齢時の体重の変化を示した。6週齢の体重は12週間後、全ての群で有意に増加した。18週齢の体重は、非運動群に比べ、低強度運動群および高強度運動群で有意に減少した（非運動群 vs. 低強度運動群  $P<0.001$ , 非運動群 vs. 高強度運動群  $P<0.001$ ）。

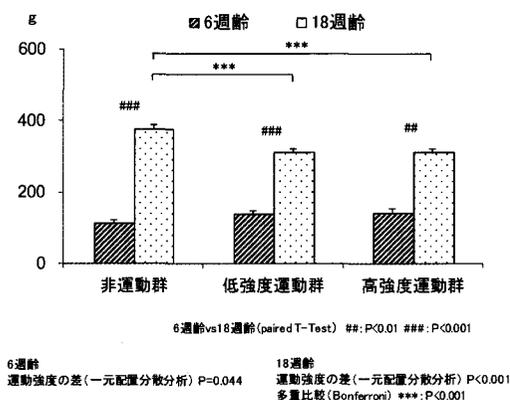


図1 体重の変化

## 3. 臓器重量

図2には体重1kg当たりの脂肪組織・肝臓・腎臓・脾臓・精巣の重量を示した。運動強度の

違いによって差が認められたのは、脂肪組織 ( $P<0.001$ )、肝臓 ( $P=0.016$ )、腎臓 ( $P=0.039$ )、精巣 ( $P=0.006$ ) であった。脂肪重量は非運動群に比べ、低強度運動群と高強度運動群で低値を示した（非運動群 vs. 低強度運動群  $P<0.001$ ; 非運動群 vs. 高強度運動群  $P<0.001$ ）。肝臓重量は、低強度運動群が最も高値を示し（非運動群 vs. 高強度運動群  $P<0.05$ ; 低強度運動群 vs. 高強度運動群  $P<0.05$ ）、腎臓重量と精巣重量は、低強度運動群が最も高値を示した（腎臓 非運動群 vs. 低強度運動群  $P<0.05$ ; 精巣 非運動群 vs. 低強度運動群  $P<0.01$ ）。脾臓重量には運動強度の違いに差が認められなかった。

## 4. 血球成分

表2には動物用多項目自動血球係数装置によって測定したRBC・HGB・HCT・MCV・MCHの値を示した。血球成分値は各群2匹の測定であったため統計処理が不可能である。RBC・HGB・HCTは、運動強度に応じ、減少する傾向が見られた。一方、MCV・MCHは運動強度に応じ、増加する傾向が見られた。

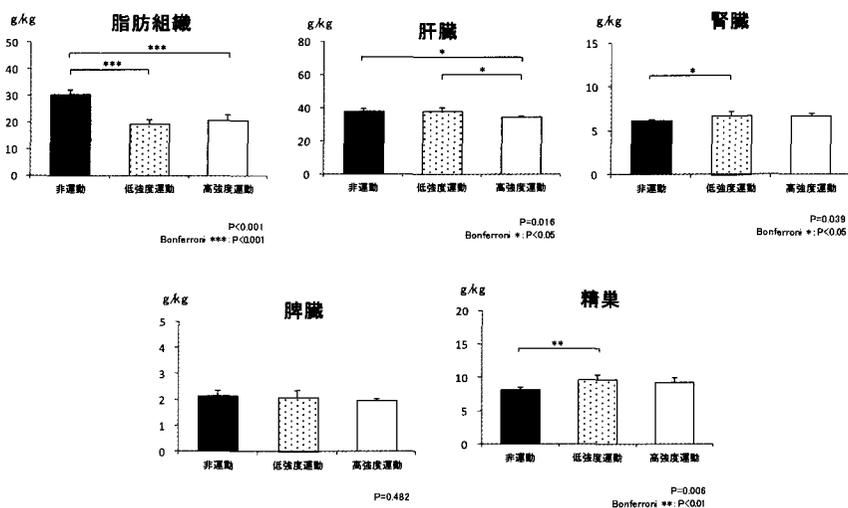


図2 体重1kg当たりの脂肪組織・肝臓・腎臓・脾臓・精巣の重量

表 2 血球成分

	RBC 10 <sup>4</sup> /μL	HGB g/dL	HCT %	MCV fL	MCH pg
非運動群	975	15.4	51.6	52.9	15.8
低強度運動群	940	15.3	51.1	54.4	16.3
高強度運動群	886	14.7	48.4	54.6	16.6

各群 2 匹の測定により、統計処理不可

### 5. 生化学成分

図 3 には動物用臨床化学分析装置によって測定した TG・TCHO・HDLC・CPK の結果を示した。運動負荷の有無によって差が認められたのは、TG (P=0.004) と TCHO (P=0.017) であった。TG は非運動群が最も高く (非運動群 vs. 高強度

運動群 P<0.01)、運動強度に応じて低値の傾向を示した。TCHO も非運動群が最も高いが、低強度運動よりも高強度運動群で高値の傾向を示した。HDLC は非運動群で、CPK は高強度運動群で高い傾向が見られ、どちらも低強度運動群で低い傾向が見られた。

### 6. 骨強度と太さ

図 4 には骨強度試験機によって測定した大腿骨の骨強度 Energy および Stiffness と、大腿骨の太さ (面積) を示した。Energy は骨を破断

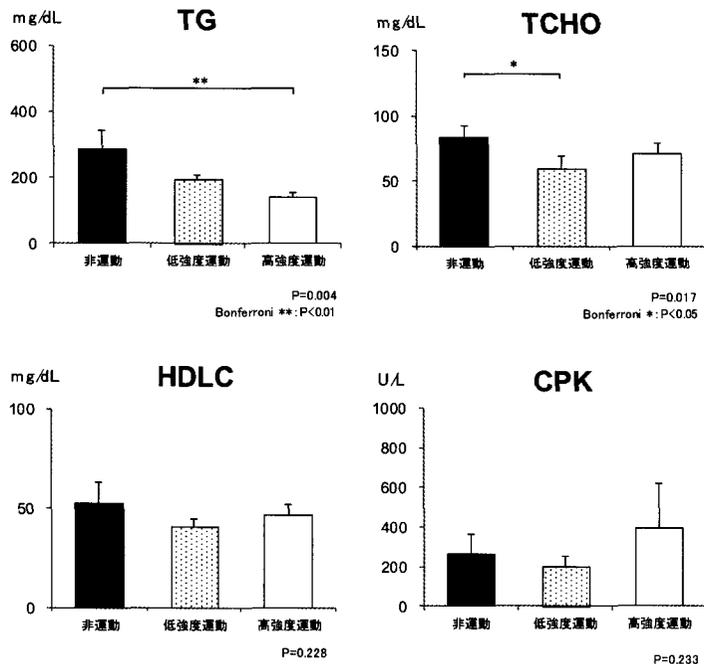


図 3 生化学成分

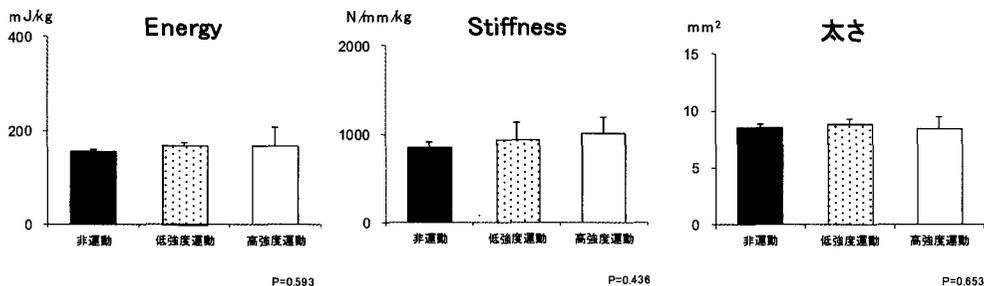


図 4 骨強度と骨の太さ

するのに要したエネルギーであり、破断エネルギーを表す。また、Stiffness は日本語としては剛性であり、一般的には、曲げやねじりの力に対する寸法変化（変形）のしづらさの割合を表す。Energy と Stiffness は運動強度に応じ、高い傾向を示した。太さは Energy、Stiffness と異なり、低強度運動で太く、高強度運動で細い傾向が見られた。

### 7. 血清・骨・脂肪組織・各臓器の Fe および Zn 濃度

図5には ICP-MS によって測定した血清・骨・脂肪組織・肝臓・腎臓・脾臓・精巢の Fe 濃度を、図6には ICP-MS によって測定した血清・骨・脂肪組織・肝臓・腎臓・脾臓・精巢の Zn 濃度を示した。Fe 濃度は脾臓が最も高く、次いで肝臓

で高い傾向が見られた。Zn 濃度は骨が最も高かった。血清 Fe 濃度は低強度運動群で高い傾向を示した。骨における Zn 濃度は低強度運動群が最も高く、高強度運動群で低い傾向を示した。精巢における Zn 濃度は低強度運動群で高い傾向を、非運動群で低い傾向を示した。

### IV. 考察

本研究における摂食量、飲水量には、運動強度による有意差が認められなかったため、体重に対する摂食量と飲水量の影響はなかったと考えられる。

運動は脂肪を燃焼させる効果が実証されている<sup>4)</sup>。本研究でも、脂肪重量は運動群で低値を示し、毎日の運動が脂肪量増加を抑制し、体重減少に関係したと考えられる。肝臓重量は持久的な運動によって増加し、ミトコンドリアの増加とグリ

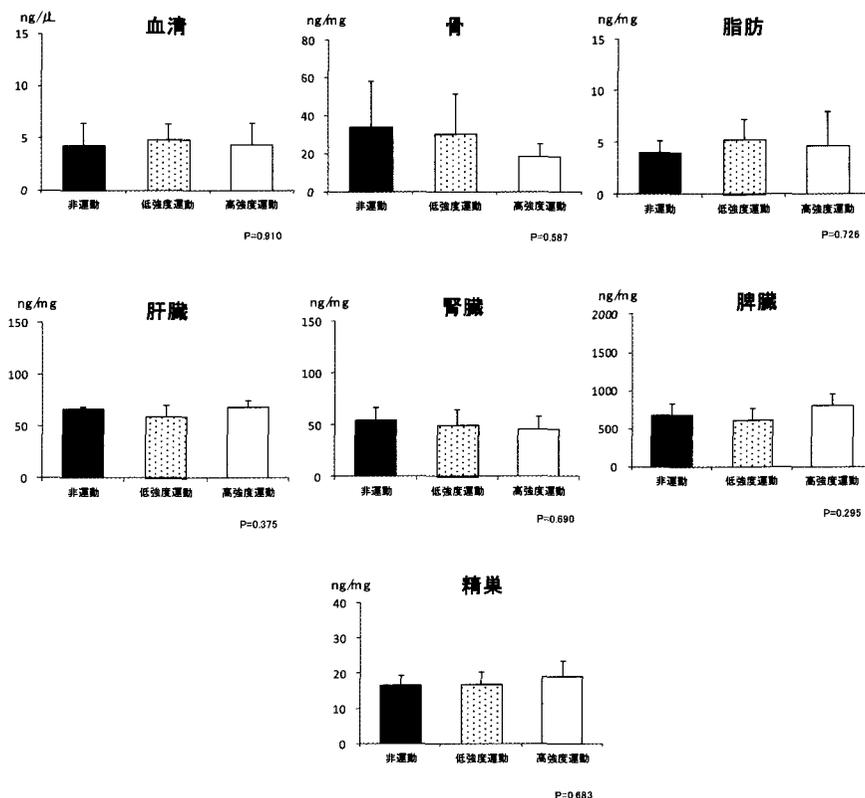


図5 血清・骨・脂肪組織・肝臓・腎臓・脾臓・精巢の Fe 濃度

運動負荷モデルラットの必須微量元素 Fe および Zn の体内変動

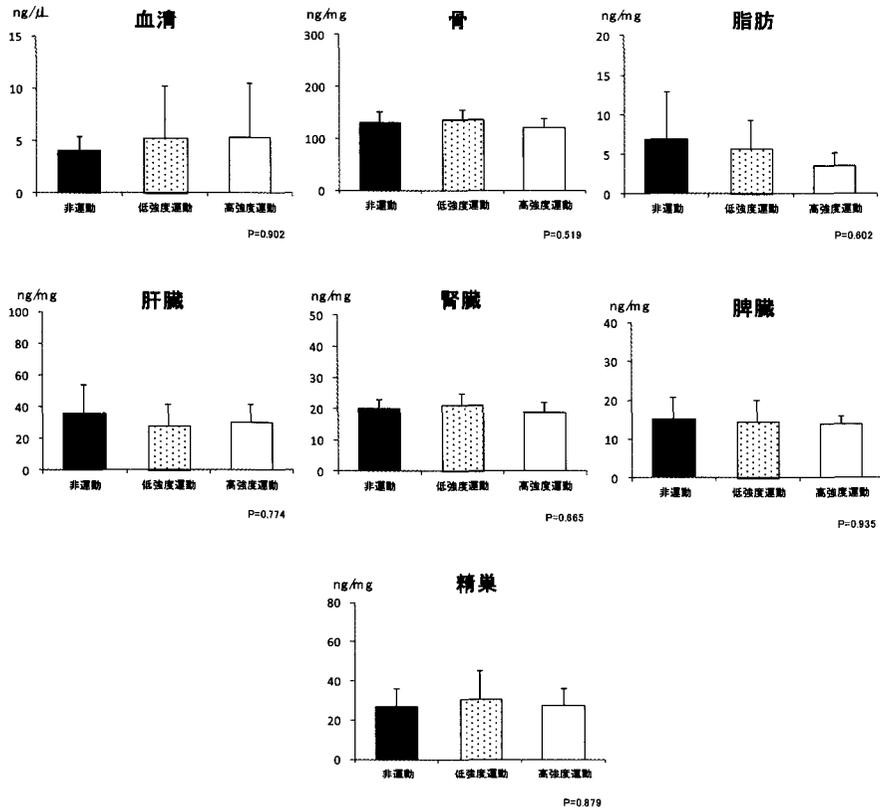


図6 血清・骨・脂肪組織・肝臓・腎臓・脾臓・精巣のZn濃度

コーゲンの貯蔵の増大によるものと考えられている<sup>10)</sup>。持久的な運動に関わる全身持久力は心肺機能の高さを指し、低強度の運動を長時間行うことによって向上する<sup>4)</sup>。従って、本研究の肝臓重量は低強度運動群で高値を示したと考えられるが、運動の効果があつたにもかかわらず、高強度運動群が非運動群よりも低値を示したことについては再度検証する必要がある。男性競技者を対象に生体器官の重量の変化を検討した山田ら<sup>10)</sup>やMidorikawaら<sup>11)</sup>によると、腎臓重量は、運動よりも食事の影響を受けやすく<sup>10)</sup>、食事たんぱく質の増加によって増加すると報告されている<sup>11)</sup>。本研究で使用した飼料は特殊配合されていない一般飼料であり、各群の摂食量は統計的に同じであったため、たんぱく質摂取量にも違いがない

と考えられる。それにも関わらず、低強度運動群で腎臓重量が高値を示した要因については、運動による変化と考えられる。運動による臓器重量の変化については精巣でも認められており、回転式ケージでリスを自発運動させた研究<sup>12)</sup>によると、運動群の精巣重量は非運動群に比べ、約10倍多く、血中テストステロン濃度も数倍高かったことが報告されており、運動がオスの生殖腺機能を刺激することを示唆している。Grandysら<sup>13)</sup>によると、適度な持久性トレーニングは血中のテストステロン濃度を増加させるが、激しい持久性トレーニングでは、血中のテストステロン濃度が慢性的に低下し、生殖機能の低下を引き起こすことが報告されている。本研究の低強度運動群で精巣重量が多かった要因は、適度な運動によるテストステロン

の増加によるものと考えられる。

RBC数の低下は、持久性トレーニングを実施している選手に特有に発現し、酸素運搬の役割を持つRBCの低下に伴い、酸素と結合する性質をもつHGB量も減少する<sup>14)</sup>。また、HCT値は、血液に占める全RBC容積の割合を表すため、RBCの割合に応じて高くなる<sup>15)</sup>。貧血の診断指標であるRBC、HGB、HCTは運動強度に応じ、減少傾向を示した。一方、貧血のタイプの診断指標であるMCV、MCHは運動強度に応じて増加傾向を示した。MCVは1個当たりのRBCの平均的な容積を示し、容積が小さい場合、運搬可能な酸素量が少ないことを意味する。MCHはRBC1個に含まれるHGB量の平均値を示し、Feが不足すると、Feとたんぱく質から合成されるHGBが減少し、酸素の運搬機能が弱くなり、MCVとMCHの値が低い場合は鉄欠乏性貧血と診断される<sup>15)</sup>。従って、本研究の高強度運動群は貧血の発症の可能性があり、鉄欠乏性以外の貧血に該当すると考えられる。

TG、TCHO、HDLCはいずれも動脈硬化性疾患の危険性を判断する血清脂質の指標であり、過食、飲酒、運動不足によってTGとTCHOは高値を、HDLCは低値を示す<sup>16)</sup>。吉武ら<sup>17)</sup>によると、運動強度が高いほどTGが減少する効果は早期に現れ、運動前のTGの値が高いほど、運動によるTGの減少は大きく、HDLCは運動期間が10週以下では有意な増加がみられず、12週以上の継続した運動によって有意な増加が見られたと報告されている。また、中牟田ら<sup>18)</sup>によると、TCHOの変化は3週間程度では見られず、6週間以上の継続した運動が必要であり、運動強度に応じて低値を示すことが報告されている。本研究で、TCHOが低強度運動よりも高強度運動群で高値を示したことについては、再度検証する必要がある。

CPKは、骨格筋や心筋が損傷を受けたことによって高値を示す<sup>15)</sup>。本研究のCPKが低強度運動群で低い傾向を示したのは、高強度運動群のように骨格筋や心筋が損傷を受けるほどの強い強度ではなかったと推察される。

骨強度は「骨量（骨密度）」と、海綿骨と骨梁で構成される微細構造や骨代謝などを示す「骨質」の2つの要因から成り立っている<sup>19)</sup>。持久的トレーニングは骨強度を高めるとされる<sup>4)</sup>。一方で、陸上長距離競技を行っている男子大学生は、同年齢の骨密度と比較すると低値であったことが報告されている<sup>20)</sup>。骨密度の増加には、瞬間的な筋収縮による曲げ荷重や地面からの瞬間的な衝撃荷重といった骨に対する大きなメカニカルストレスが加わる運動（柔道・バスケットボール・バレーボールなど）が有効であることが示唆されており<sup>21)</sup>、骨への影響は運動の強度のみならず、運動種目にも関係すると考えられる。本研究による骨の強度は運動強度に応じて高い傾向を示したが、太さはEnergyとStiffnessの結果と異なり、Energy、Stiffnessと太さの関係は明らかでなかった。

体内のFeは約50%がヘモグロビンに含まれ、その他は筋肉中のミオグロビンおよび肝臓や脾臓中のフェリチンに含まれている<sup>22)</sup>。本研究によるFe濃度は、先行研究<sup>23)</sup>と同様、脾臓が最も高く、次いで肝臓で高かった。運動強度の違いによる体内Fe濃度に関する先行研究は見当たらず、今後、データの蓄積が必要である。また、持久的トレーニングを日常的に行っている者は血清Fe濃度も日常的に低いことが報告されている<sup>23)</sup>が、本研究では、有意な差は認められなかった。

Znは全身の細胞組織や骨に蓄えられ、長時間の激しい運動によって吸収が抑制されるだけでなく、尿中のZnが増加し、多量に発汗し、多くのZnを失うため、長距離走の競技選手はZn不足

に陥りやすい<sup>24)</sup>。本研究においては、Zn 濃度は骨が最も高かった。骨における Zn 濃度は低強度運動群が最も高く、高強度運動群で低い傾向を示したため、激しい運動によって Zn を損失させた可能性が考えられる。Zn が生体内から欠乏すると、皮膚およびその付属器官の障害、生殖機能と発育不全、骨格の異常、食欲不振などを起こしやすい<sup>4)</sup>。また、Zn 欠乏は精子形成能力を低下させ、精巣の萎縮を招くと報告されている<sup>25)</sup>。骨と精巣による Zn 濃度はいずれも低強度運動群で高値を示しており、適度な運動によって Zn が体内に蓄積することが示唆された。

女性は月経や妊娠によって、多くの Fe を必要とするため、貧血は男性より女性に多く発症する<sup>5)</sup>。運動とスポーツに関する研究についても女性を対象にした研究が多く<sup>26,27)</sup>、男性スポーツ選手を対象とした研究あるいは本研究のように雄ラットに対する研究は少ない。男性スポーツ選手においても貧血を発症させるリスクは大きく、現役期間中、貧血の影響でパフォーマンスが低下する者の存在を考えると、先天的なオスの貧血モデルラットによる研究についても、今後検討していくと新しい発見があるだろう。

## V. 結論

運動負荷雄性ラットの血球成分では、RBC、HGB、HCT は運動強度に応じて減少し、MCV、MCH は運動強度に応じて増加する傾向が見られた。Fe 濃度は脾臓が最も高く、Zn 濃度は骨が最も高かった。高強度運動群は貧血を発症していることが考えられ、男性スポーツ選手の貧血によるパフォーマンス低下を軽減させるため、今後、Fe および Zn の体内分布を詳細に検討し、データを蓄積する必要がある。

## 謝辞

動物用多項目自動血球計数装置、骨強度試験機の使用にあたり、神戸女子大学健康福祉学部健康スポーツ栄養学科 梶原苗美特任教授ならびに鈴木一永教授にお礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 厚生労働省：健康づくりのための身体活動基準2013, <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple-att/2r9852000002xpqt.pdf> 最終アクセス日2017年3月14日。
- 2) 前島悦子：基礎から学ぶ体育・スポーツの科学．大阪体育大学体育学部（編），大修館書店，東京，62，2007。
- 3) 田垣住雄：ミオグロビンと臨床．日本獣医師会雑誌，5（9）：301-304，1952。
- 4) 高松薫，山田哲雄，今村裕行，奥野直，麻見直美，加藤尊，下村雅昭，谷口裕美子，橋場直彦，福田理香：運動生理・栄養学 第3版，高松薫，山田哲雄（編），建帛社，東京，p.17,76，pp.26-27，pp.56-57，2016。
- 5) 河野一郎：女性スポーツ選手の貧血の状況．臨床スポーツ医学，6：489-492，1989。
- 6) 糸川嘉則：ミネラルの事典．朝倉書店，東京，pp.220-221,p.224，2003。
- 7) Paterson PG, Bettger WJ: Effect of dietary zinc intake on the hematological profile of the rat. *Comp Biochem Physiol A Comp Physiol*, 83（4）：721-725，1986。
- 8) Nishiyama S, Inomoto T, Nakamura T, Higashi A, Matsuda I: Zinc status relates to hematological deficits in women endurance runners. *J Am Coll Nutr*, 15: 359-363，1996。
- 9) 富島奈々子，田中雅侑，金指美帆，前沢寿亨，藤野英己：低強度及び高強度走行運動がラット

- ヒラメ筋の代謝及びミトコンドリア数に与える影響. 第 49 回日本理学療法学会大会 抄録集, 1023, 2014.
- 10) 山田茂, 村松敬子, 木崎恵梨子, 大橋文: 絶食時の持久力トレーニングが骨格筋重量及びその他臓器組織重量に及ぼす影響. 実践女子大学生活科学部紀要, 49: 29-32, 2012.
- 11) Midorikawa T, Kondo M, Beekley M, Koizumi K, Abe T: High REE in Sumo Wrestlers Attributed to Large Organ-Tissue. *Mass Med Sci Sports Exerc*, 39: 688-693, 2007.
- 12) 徳山薫平, 奥田拓道: 動物の生殖腺機能と運動訓練. 第25回日本体力医学会四国地方会, 体力科学, 39 (5): 365, 1990.
- 13) Grandys M, Majerczak J, Duda K, Zapart-Bukowska, Kulpa J, Zoladz JA: Endurance training of moderate intensity increase testosterone concentration in young, healthy men. *International journal of sports medicine*, 30 (7): 489-495, 2009.
- 14) 岩垣丞恒, 新居利広, 山村雅一, 橋本真英: 長距離選手における赤血球 MCV と plasma HDL の関係. 東海大学スポーツ医科学雑誌, 13: 41-46, 2001.
- 15) 田中明, 宮坂京子, 藤岡由夫: 臨床医学 疾病の成り立ち. 羊土社, 東京, pp.23-24, 25-28, 188-190, 2011.
- 16) 江橋博, 新畑茂充, 奥本正, 大森一伸: 健康とスポーツの生理科学 改訂版 12. スポーツと血液成分, 12-3 運動と血液成分の変化, 12-3-c 血清脂質. ふくろう出版, 岡山, 142, 2005.
- 17) 吉武裕, 太田壽城: 成人病に対する有酸素運動の効果. 栄養学雑誌, 50 (2): 59-68, 1992.
- 18) 中牟田正幸, 中谷昭: マウスの血液性状に及ぼす鍛練の影響 第 8 報 発育期マウスの鍛練群と非鍛練群の安静時における血漿中の総蛋白質量、中性脂肪量、遊離脂肪酸量、総コレステロール量、血糖量、乳酸量及び非蛋白窒素量の比較. 奈良教育大学紀要, 27 (2): 89-96, 1978.
- 19) 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員会: 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン2015年版, 第 1 章 骨粗鬆症の定義・疫学および成因, [http://www.josteo.com/ja/guideline/doc/15\\_1.pdf](http://www.josteo.com/ja/guideline/doc/15_1.pdf) 最終アクセス日平成29年3月22日.
- 20) 虎石真弥, 上西一弘: 大学生男子陸上長距離選手の骨状態と骨におけるビタミン K 栄養状態の関連. 栄養学雑誌, 69 (3): 115-125, 2011.
- 21) 北川淳: 骨粗鬆症の現状と対策, 理学療法学, 41 (7): 455-461, 2014.
- 22) 刈米重夫: 鉄欠乏の臨床. 日本内科学会雑誌, 77 (9): 1327-1337, 1988.
- 23) Hunding A, Jordal R, Paulev PE: Runner's anemia and iron deficiency. *Acta Med Scand*, 209 (4): 315-318, 1981.
- 24) 大森俊夫, 西牟田守: 大学生男子長距離陸上選手の亜鉛出納. 体力科学, 47 (3): 279-286, 1998.
- 25) 山根靖弘: 生体中の微量元素の役割. 保健物理, 25 (3): 269-277, 1990.
- 26) 川原貢: 女性アスリートを診る—産婦人科的問題とその対策—女性アスリートの貧血. 産科と婦人科, 82 (3): 271-276, 2015.
- 27) 鈴木光実, 朱美賢, 鈴木なつ未, 目崎登: 女性アスリートにおける急性運動が溶血と酸化ストレスに及ぼす影響. 体力科学, 55 (2): 259-268, 2006.