

平成 24 年度

順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科 修士論文

大学女子ラクロス選手における骨代謝  
及び骨質に関する研究  
—競技レベルの相違に着目して—

所属系 スポーツ科学系

氏名 丸山 伸也

論文指導教員 櫻庭 景植 教授

合格年月日 平成 25 年 2 月 25 日

論文審査員 主査 鈴木 良雄

副査 原 田 隆巳

副査 橋 本 浩

目次

	項
第1章 緒言	1
第2章 関連文献の考証	3
第1節 骨強度	3
(1) 骨密度	3
(2) 骨質	3
第2節 疲労骨折	4
(1) 疲労骨折の発生機序	5
(2) 女性アスリートの疲労骨折	5
第3節 骨代謝	5
第3章 目的	7
第4章 研究方法	8
第1節 対象	8
第2節 測定項目	8
(1) 身体特性	8
(2) 音響的骨評価値(OSI)	8
(3) 骨代謝・骨質マーカー	8
第3節 統計処理	9
第5章 結果	10
第1節 身体特性	10
第2節 音響的骨評価値(OSI)	10
第3節 骨代謝・骨質マーカー	10
第6章 考察	11
第1節 競技と音響的骨評価値(OSI)の関係	11
第2節 競技レベルと骨代謝・骨質マーカーの関係	12
第7章 結論	13
第8章 要約	14
引用文献	15
Abstract	22

表 1~2、図 1~3

## 第1章 緒言

女子ラクロス競技は 110m×60m のフィールド上で、クロスを用いてボールを奪い合い得点を競う競技で<sup>11)18)</sup>、前後半 25 分の計 50 分の試合時間で行われる。女子ラクロス選手のスポーツ傷害に関しては、外傷についての報告が多い一方<sup>6)24)29)</sup>、障害の中では特に疲労骨折が高い発生率を示すことが報告されている<sup>26)</sup>。

女性競技者に頻発する骨粗鬆症、無月経、摂食障害は“Female Athlete Triad”と呼ばれ、女性競技者にとって深刻な問題である<sup>10)</sup>。桜庭らは、陸上長距離選手を対象に骨密度を測定した結果、走行距離が長い選手ほど骨密度が低値を示すことから疲労骨折のリスクが高いと報告している<sup>38)60)</sup>。骨密度以外に、骨の状態を評価する指標として、リアルタイムに骨の状態を反映する血中の骨代謝マーカーが広く用いられている<sup>16)35)37)60)61)</sup>。骨代謝は、骨芽細胞による骨形成と破骨細胞による骨吸収のバランスによって成り立ち、両者のバランスは骨強度を決定する重要な因子である<sup>42)65)</sup>。

先行研究では、運動習慣のない女子学生と比較して、大学女子新体操選手の骨形成が抑制する一方、骨吸収が亢進することが報告されている<sup>72)</sup>。さらに、Maimoun らは、32 週間のトレーニング後のトライアスロン選手はトレーニング前よりも有意に骨形成マーカーが低下したと報告している<sup>27)</sup>。以上から、高強度の運動負荷は骨代謝のバランスを崩し、疲労骨折を含む過労性骨障害を引き起こす可能性が推察できる。

また斎藤らは血中ホモシステイン・血中ペントシジン高値が骨質低下による骨折のリスクを高める原因となると報告している<sup>56)</sup>。さらに、岡は血中ホモシステイン濃度が高くなると酸化ストレスが誘導され、コラーゲンの架橋異常が起これ最終的に骨質の低下を起こすと報告している<sup>48)</sup>。網中らによると、運動によって酸化ストレスが上昇すると言う報告がある<sup>2)</sup>。

競技レベルに着目した研究では、黒岩らにより身長・体重および身体組成、運動能力テスト、筋力の検査項目で大学ラグビー選手の高競技レベル群が低競技レベル群よりも有意に優れていたと報告している<sup>23)</sup>。また、中山らは競技レベルの違いが競泳選手の骨密度に及ぼす影響が少ないと報告している<sup>43)</sup>。これらの報告では骨代謝マーカーおよび骨質関連マーカーを検討しておらず、スポーツ種目も限定されている。

先行研究より、女子ラクロスにおいて疲労骨折が頻発しているため、その予防は重要な課題である。我々は過去に女子ラクロス選手を対象とし、疲労骨折既往歴の有無

によって骨吸収が異なることを報告した<sup>70)</sup>。しかし、その報告では、競技レベル別の検討はおこなっていない。スポーツ現場では、競技レベル別の指導が求められるため、我々はその重要性が高いと考えた。

## 第2章 関連文献の考証

文献の考証の前半では骨強度について、中半では疲労骨折について、後半では骨代謝について考証を行う。

### 第1節 骨強度

骨強度の定義としては、“Bone strength reflects the integration of two main features: bone density and bone quality” とし、骨密度は骨強度の70%を説明するが、残りの30%は骨質によって規定される。

#### (1) 骨密度

Nilsson ら<sup>45)</sup>は single photon absorptiometry 法によりスポーツ選手と一般対象者の大腿骨遠位部骨密度を比較し、スポーツ選手では高値であり、とくに一流の選手で高い値を示すことを報告した。骨密度とスポーツの種目との関係については、スポーツ動作中に荷重負荷のかからない水泳よりバレーボールやバスケットボールのように荷重負荷のかかる種目の方<sup>50)</sup>が、また陸上長距離のような低強度・高頻度の荷重負荷よりも体操競技のような高強度・低頻度の荷重負荷の方<sup>51)</sup>が骨密度は高いとする報告がある。すなわち、運動負荷による骨密度への効果を期待する場合には、高めようとする骨に対しインパクトの強い荷重負荷を加えることが重要であると報告されている<sup>46)</sup>。

以上から、地面反力が大きいジャンプ系種目のアスリートは、水泳選手や陸上長距離選手と比べ骨密度が高く、日常的に骨に加わる機械的刺激が骨密度に影響を及ぼす可能性が示唆されている。

#### (2) 骨質

骨質は大きく分けると、構造的要因と材質的要因から構成されている。細分化すると、まず構造的要因は、構造（ジオメトリー）と骨微細構造で構成され、構造（ジオメトリー）は、サイズ・形状からなり、骨微細構造は、海面骨梁の微細構造・皮質骨の厚みと多孔性からなる。次に、材質的要因は、無機成分、有機成分（コラーゲン）、マイクロダメージ・マイクロクラックで構成されている。無機成分と有機成分をさら

に細分化すると、まず無機成分は、総石灰量・石灰化度・結晶サイズからなり、有機成分（コラーゲン）はコラーゲンのタイプ・コラーゲン架橋の状況からなる。

構造的要因とは骨組織の構築自体によって規定される要因であり、マクロ的視点である骨のサイズや形状などの骨ジオメトリーと、ミクロ的視点である海面骨梁の微細構造や皮質骨の厚みや多孔性、さらにはそれらの三次元的な構築を含み、これらを総合的に評価する必要がある。

骨組織は I 型コラーゲンを中心とした基質蛋白とミネラルから構成される。したがって、材質的要因による骨脆弱性とは基質蛋白の変化やミネラル沈着の異常などによる骨強度の低下である。I 型コラーゲンは骨基質蛋白の大部分を構成する強靱な線維性蛋白であり、コラーゲン自体の異常、コラーゲンの架橋の異常などによって骨質が劣化することが報告されている<sup>66)</sup>。コラーゲン架橋は分子間の橋渡しをすることによってコラーゲンの質を規定する構造であるが、酵素反応を介して遺伝的に規定された部位に形成される生理的なピリジノリン架橋と、酵素反応を介さずに時間依存性にランダムに形成される非生理的架橋（Advanced Glycation End products; 以下、AGEs 架橋）が存在する。その非生理的架橋の増加は骨脆弱性の要因になることが報告されている<sup>63)</sup>。ペントシジンは AGEs 架橋の代表的構造体であり、コラーゲンの分子間をつなぎ止める悪玉架橋である<sup>53)</sup>。こうした骨コラーゲンの異常は、血中ホモシステイン高値や酸化ストレスの増大が原因となる<sup>52)53)54)</sup>。ホモシステイン濃度の上昇は、骨形成や骨吸収に直接作用し、骨量減少や骨質劣化をもたらすことが明らかになってきた<sup>55)</sup>。Papapanagiotou ら<sup>49)</sup>は、サッカー、フィールドホッケーの試合のような激しい運動後にホモシステインが一過的に増加すると報告している。また、Fagnani ら<sup>12)</sup>は、継続的な運動によりホモシステイン濃度が上昇すると報告している。

以上から、血中のホモシステインは、骨質に悪影響を及ぼすことが示唆されている。さらに、ホモシステインは高強度の運動によって増加すると考えられる。

## 第 2 節 疲労骨折

疲労骨折は、1 回の瞬間的外力ではなく、繰り返しの軽微な外力により正常な強度の骨に生じることが特徴である。繰り返しの外力が、身体が自己修復する以上に、骨組織に損傷を与えた場合に、疲労骨折が生じる。力学的な過負荷による、いわゆる使い過ぎ損傷（overuse injury）と考えられている<sup>59)</sup>。疲労骨折に関連する要素として

ホルモンが指摘されている。卵巣から分泌されるホルモンは、卵胞ホルモン（エストロゲン）と黄体ホルモン（プロゲステロン）があるが、とくにエストロゲンが密接に関与する<sup>31)</sup>。福林<sup>15)</sup>による女子スポーツ選手の骨密度・月経異常・女性ホルモンの関連を調査した研究では、月経異常者では骨密度と血清エストラジオールが低いこと、骨密度と血清エストラジオールには正の相関があることが報告され、力学的な負荷以外にも、ホルモンの動態が疲労骨折に関与すると示唆している。

#### (1) 疲労骨折の発生機序

疲労骨折の発生機序には、筋力が大きく関与している<sup>30)40)</sup>。過度の運動を続けることにより、筋疲労が起これば収縮力が低下する。その結果、筋肉のエネルギー蓄積能が低下し、骨に異常な負荷がかかる。骨への応力分布は変化し、強い圧迫力あるいは伸張力が働き、骨組織の破壊が惹起される<sup>13)</sup>。一方、骨組織に対して筋力が過度に強い場合も、疲労骨折の原因となる<sup>73)</sup>。青少年期には、筋力の増強の速度に骨強度の増大速度が追いつかず疲労骨折を起こす<sup>73)</sup>。また、高齢者では、骨萎縮のため筋力に対する相対的強度が低下し、疲労骨折の原因となる<sup>73)</sup>。

#### (2) 女性アスリートの疲労骨折

女性アスリートが競技から長期離脱を余儀なくされる健康障害の三主徴（The Female Athlete Triad）は「無月経（月経異常）」・「骨粗鬆症（疲労骨折・骨量減少）」・「拒食症（摂食障害）」とされている<sup>74)</sup>。月経周期異常と疲労骨折の関係が数多く検討されている<sup>4)8)17)</sup>。女性の長距離選手において月経周期異常を呈する選手は練習量が多く、体脂肪が少ないやせ型の傾向がある<sup>37)</sup>。このような選手では疲労骨折の発生率も高く、Barrowら<sup>4)</sup>は1年間の月経の回数が少ない群ほど疲労骨折の発生率が高いことを報告している。またCookら<sup>8)</sup>は稀発月経の女子ランナーは正常月経周期のランナーに比べ腰椎骨密度が低いと報告した。これらの報告より稀発月経や二次性無月経のような月経周期異常を有する女子選手では骨密度の低下がみられ、疲労骨折の発生率が高くなっていると示唆されている。

### 第3節 骨代謝

骨は日々代謝を繰り返す。古くなった骨は破骨細胞の働きによって除去され（骨吸収）、そのあとに骨芽細胞の働きによって新しい骨が形成される（骨形成）。骨の健康

には両者のバランスが重要であり、このバランスが崩れると骨量は変化する<sup>33)</sup>。

骨強度の質的要素としては骨代謝回転、微細構造、微小骨折、石灰化の程度などが挙げられる<sup>47)</sup>。質的要素を定量的に評価する方法の一つとして骨代謝マーカーがあり、骨密度とともに骨折リスクを示す指標として優れている<sup>34)</sup>。骨代謝マーカーは、破骨細胞による骨吸収と骨芽細胞による骨形成を評価できる。骨強度の変化に寄与している骨代謝はリモデリングと呼ばれ、運動などによる骨組織に対する力学的負荷の影響を受けることが知られている<sup>41)</sup>。筋力増強トレーニングは、筋張力により骨に対して歪応力などのメカニカルストレスを生じさせ、骨形成の促進に有効であると考えられている<sup>14)</sup>。Lombardiら<sup>25)</sup>は、女性アルペンスキー選手を対象に1年間の骨代謝動態を検討した結果、トレーニング期とシーズン期を比較して、骨形成マーカー・骨吸収マーカーともに有意に増加したと報告している。Mimounら<sup>27)</sup>は、男性トライアスロン選手を対象に32週間のトレーニング前後で骨代謝マーカーを比較した結果、骨形成は有意に減少し、骨吸収には変化がなかったと報告している。Jurimaeら<sup>19)</sup>は、男性ボート選手を対象に6カ月のトレーニング前後で骨代謝マーカーを比較した結果、骨形成は有意に増加し、骨吸収は変化がなかったと報告している。Bennelら<sup>5)</sup>は、陸上選手を対象に12カ月のトレーニング前後で骨代謝マーカーを比較した結果、骨形成・骨吸収ともに変化がなかったと報告している。

以上のように、長期トレーニングと骨代謝の関係について一致した見解はみられない。



### 第3章 目的

本研究は大学女子ラクロス選手を対象に音響的骨評価値、骨代謝マーカーを競技レベル別に比較し、骨強度に及ぼす影響を検討することを目的とした。加えて、コラーゲン架橋構造に深く関与し、骨密度とは独立した骨折因子とされているペントシジン、ホモシステインも測定した。

## 第4章 研究方法

### 第1節 対象

対象は大学女子ラクロス選手 67 名とした。競技レベルは、関東学生リーグ 1 部に所属し全日本大学選手権大会優勝経験を有する選手 49 名を高競技レベル群(以下、H群)と、関東学生リーグ 4 部に所属する選手 18 名を低競技レベル群(以下、L群)とした。練習時間は H 群が約 15hours/week、L 群が約 6hours/week であった。測定は全てリーグ戦終了後(オフ期)に行った。測定に先立ち、全ての被験者に対して、測定に伴う危険性について十分に説明を行い、文書にて同意を得た。なお、本研究は、順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科研究等倫理委員会の承認を得て実施した。

### 第2節 測定項目

#### (1) 身体特性

身体特性の項目は、身長、体重、体脂肪率とした。体重、体脂肪率の測定には TANITA 社製体組成計 (MC-190) を使用した。

#### (2) 音響的骨評価値 (OSI)

超音波骨評価装置 (ALOKA 社製、AOS-100) を使用し、右踵骨の音響的骨評価値 (Osteo Sono-Assessment Index : OSI) を算出し、骨強度指標とした。OSI の測定は振動子で固定したのち、中心周波数 0.5MHz の低周波パルス波の送受信を行い、踵骨通過後の超音波伝播速度 (speed of sound : SOS) と超音波減衰(透過)係数 (transmit index : TI) から演算 ( $SOS^2 \times TI$ ) により算出した。

#### (3) 骨代謝・骨質マーカー

骨代謝マーカーとして、骨形成の指標である骨型アルカリフォスファターゼ (BAP)、骨吸収の指標である I 型コラーゲン架橋 N-テロペプチド (S-NTx)、酒石酸抵抗性酸フォスファターゼ (TRACP-5b) を測定した。さらに、コラーゲン架橋関連マーカーとして、ペントシジン、ホモシテインを測定した。血液サンプルは 3,000rpm で 10 分間遠心分離後、血清を分取し、測定まで -80°C で冷凍保存した。なお、分析は (株)SRL に委託した。なお、被験者には血液採取 12 時間以内の食事及び 24 時間以内の運動を

禁止した。血液の採取は、日内変動を避けるため午前 9 時～11 時 30 分の間に行った。

### 第 3 節 統計処理

すべての値を平均値±標準偏差で示した。有意差の検定には、Excel for windows. 2010 を用いて対応のない t-test を行った。なお、有意水準はすべて危険率 5%未満とした。

## 第5章 結果

### 第1節 身体特性

H群（高競技レベル群）およびL群（低競技レベル群）の身体特性の結果を表1に示した。H群の身長は $160.4 \pm 5.8$  cm、体重は $56.7 \pm 5.8$  kg、体脂肪率は $25.4 \pm 4.3\%$ であった。L群の身長は $160.6 \pm 5.4$  cm、体重は $53.9 \pm 6.1$  kg、体脂肪率は $25.8 \pm 4.7\%$ であった。H群とL群との比較において、全ての項目において有意な差はみられなかった。

### 第2節 音響的骨評価値 (OSI)

OSIの結果を図1に示した。OSIはH群 ( $3.4 \pm 0.4$ ) がL群 ( $3.1 \pm 0.3$ ) よりも有意に高値を示した ( $p < 0.01$ )。

### 第3節 骨代謝・骨質マーカー

骨形成マーカーであるBAPの結果を図2に示した。BAPにおいて、H群 ( $18.9 \pm 5.0$  U/L) がL群 ( $26.4 \pm 7.1$  U/L) よりも有意に低値を示した ( $p < 0.01$ )。

骨吸収マーカーであるS-NTx (H群:  $16.5 \pm 5.4$  nmBCE/L, L群:  $16.5 \pm 6.6$  nmBCE/L) およびTRACP-5b (H群:  $331.7 \pm 110.5$  mU/dL, L群:  $281.4 \pm 93.5$  mU/dL) については群間で有意な差はみられなかった (表2)。

コラーゲン架橋関連マーカーであるホモシステインの結果を図3に示した。ホモシステインにおいてH群 ( $9.17 \pm 3.1$  nm/mL) がL群 ( $6.9 \pm 1.5$  nm/mL) よりも有意に高値を示した ( $p < 0.01$ )。ペントシジン (H群:  $0.037 \pm 0.008$   $\mu$ g/mL, L群:  $0.0036 \pm 0.008$   $\mu$ g/mL) については有意な差はみられなかった (表2)。

## 第6章 考察

馬淵らの報告では、女子ラクロス選手において疲労骨折が高い発症であったことから<sup>26)</sup>、我々はその予防は重要であると考えた。Wakamatsuら<sup>70)</sup>の報告では疲労骨折既往歴の有無と骨代謝動態を調査し、疲労骨折経験者は骨吸収マーカーである TRACP-5b の値が明らかに高値を示したことから、TRACP-5b は疲労骨折の評価に有用であるとしている。ただし、その報告では競技レベル別（またはレギュラー・非レギュラー群）の比較は行っていない。そこで、我々は女子ラクロス選手の骨代謝・骨質動態を競技レベル別に比較し、骨強度に与える影響を検討した。その結果、超音波法骨強度は H 群（高競技レベル群）が L 群（低競技レベル群）に比べて有意に高かったにも関わらず、骨形成マーカーである BAP は有意に低く、さらに骨質劣化の要因であるホモシステインは有意に高いという結果が得られた。これらの知見は競技レベルの高い選手において、骨強度値としては高いとされる一方、その骨代謝・骨構造が低下している可能性を示唆する。

### 第1節 競技と音響的骨評価値 (OSI) の関係

先行研究において、スポーツ選手における継続的な運動が骨に局所的な影響を及ぼすことについての報告は多くなされている<sup>1)20)22)44)75)</sup>。骨強度の増加には、活発な身体活動を行うことが重要であると報告されている<sup>3)36)71)</sup>。より多くメカニカルな刺激が加わる部位の骨量が高くなることが報告されていることから、骨の適応は、局所に特異的におきる<sup>22)64)</sup>。また、スポーツの種目により骨密度が異なることが報告されている。松本<sup>32)</sup>は、柔道選手やハンドボール選手などでは水泳選手・陸上長距離選手よりも全身の骨密度が高いことを報告している。Creightonら<sup>9)</sup>は、日常的に大きな運動負荷が加わる跳躍系競技選手（バスケットボール、バレーボール）が、非競技者に比べて高い骨密度を示すと報告している。本研究においても先行研究と同様に、H 群が L 群よりも高い OSI 値を示した。一方、向井<sup>37)</sup>は長距離走などの持久力強化運動は、骨密度の増加の効果が低いと報告している。Sanborn<sup>62)</sup>は、陸上長距離選手は長距離走の継続的なトレーニングにより、一般人よりも骨密度が低いと報告している。本研究の結果は、Creighton らの報告を支持する結果であり、日常的に長い練習時間（H 群; 15hours/week, L 群; 6hours/week）と筋力トレーニングを行っている高い競技レベルの選

手は、骨密度が高い可能性が示唆された。しかし、本研究では、定量的超音波法での骨評価値を用いており DEXA 法を用いた骨密度の評価を行っていない。今後は DEXA 法を用いた骨密度の評価が不可欠だが<sup>67)</sup>、DEXA と OSI とは高い正の相関関係にあることから<sup>68)</sup>、本研究の結果は、高い競技レベルのラクロス選手が高い骨密度であると言える。

## 第2節 競技レベルと骨代謝・骨質マーカーの関係

骨形成マーカーである BAP は H 群が L 群よりも有意に低値を示した。先行研究では、適度な運動負荷は骨形成を亢進させるが<sup>42)69)</sup>、過度な負荷は骨形成を抑制すると報告されている<sup>39)</sup>。実際に Brahm ら<sup>7)</sup>は、陸上長距離選手では身体負荷が過剰になり、非競技者よりも骨形成マーカーが低くなると報告している。本研究の結果は Brahm らの報告を支持する結果であり、H 群は骨形成が低下していた。つまり、競技レベルが高い女子ラクロス選手は高い骨強度を有する一方、日常的な高強度のトレーニングによって、骨形成が抑制されている可能性が考えられる。

近年、骨強度に影響を与える因子としてコラーゲン架橋構造の重要性が論じられている<sup>21)57)61)</sup>。コラーゲン架橋構造は、酵素の作用を介して形成される生理的架橋（善玉架橋）と、ペントシジンのような非酵素的反応（糖化、酸化）により形成される Advanced Glycation End products (AGEs 架橋) の2つに分類される<sup>21)</sup>。善玉架橋は架橋形成を活発にするが、AGEs 架橋は骨に悪影響をもたらすことが知られている<sup>58)</sup>。また、メチオニンの代謝過程で生成されるホモシステインは悪玉架橋を増加させ、骨折のリスクを高めると報告されている<sup>55)</sup>。このホモシステインは、骨密度とは独立した骨強度因子であることも報告されている<sup>55)</sup>。本研究では、ペントシジンには有意な差はみられなかった一方、ホモシステインが L 群よりも H 群において有意に高値を示した。ホモシステインは高強度運動後に一過的に増加する<sup>49)</sup>ことから、H 群は高強度・長時間運動の繰り返しによってホモシステインが増加し、コラーゲン架橋構造が劣化しつつあることが推察される。

## 第7章 結論

本研究では、大学女子ラクロス選手を対象に競技レベル別に音響的骨評価値 (OSI)、BAP、S-NTx、TRACP-5b、ペントシジン、ホモシステインを比較検討した。その結果、高競技レベル群は低競技レベル群と比較して有意に OSI が高い値を示した ( $p < 0.01$ )。また、骨形成マーカーである BAP は有意に低値を示した ( $p < 0.01$ )。さらに、ホモシステインは高競技レベル群が低競技レベル群に比べて有意に高い値を示した ( $p < 0.01$ )。

以上の結果から、競技レベルの高い選手は高い骨強度を示すものの、骨形成が低下し、コラーゲン架橋構造の劣化が進んでいる可能性が明らかとなった。

## 第8章 要約

本研究は大学女子ラクロス選手を対象に音響的骨評価値、骨代謝マーカーを競技レベル別に比較し、骨強度に及ぼす影響を検討することを目的とした。加えて、コラーゲン架橋構造に深く関与し、骨密度とは独立した骨折因子とされているペントシジン、ホモシステインも測定した。

対象は大学女子ラクロス選手 67 名とした。高競技レベル群 49 名（身長：160.4±5.8 cm、体重：56.7±5.8 kg、体脂肪率：25.4±4.3%）と低競技レベル群 18 名（身長：160.6±5.4 cm、体重：53.9±6.1 kg、体脂肪率：25.8±4.7%）であった。

測定項目は、身体特性、音響的骨評価値（Osteo Sono-Assessment Index：OSI）、骨代謝マーカーとして、骨形成の指標である骨型アルカリフォスファターゼ（BAP）、骨吸収の指標である I 型コラーゲン架橋 N-テロペプチド（S-NTx）、酒石酸抵抗性酸フォスファターゼ（TRACP-5b）を測定した。さらに、コラーゲン架橋関連マーカーとして、ペントシジン、ホモシステインを測定した。

高競技レベル群・低競技レベル群との比較において、身体特性では有意な差はなかった。しかし、高競技レベル群は音響的骨評価値で有意に高値を示した（ $p<0.01$ ）。また、BAP は有意に低値を示した一方（ $p<0.01$ ）、S-NTx、TRACP-5b では有意な差はなかった。さらに、ホモシステインでは有意に高値を示したが（ $p<0.01$ ）、ペントシジンでは有意な差はなかった。

本研究の結果、超音波法骨強度は高競技レベル群が低競技レベル群に比べて有意に高かったにも関わらず、骨形成マーカーは有意に低く、さらに骨質劣化の要因であるホモシステインは有意に高いという結果を得た。これらの知見は競技レベルの高い選手において、骨強度値としては高いとされる一方、その骨代謝・骨構造が低下している可能性を示唆する。



#### 引用文献

- 1) 赤嶺卓哉, 田口信教, 田中孝夫, 荻田太 (2001). 若年者スポーツ選手と高齢者における骨塩量と運動習慣の骨に与える効果についての研究. *デサントスポーツ科学*, 22, 139-147.
- 2) 網中雅仁, 渡辺尚彦, 高田礼子, 山内博, 吉田勝美 (2008). 短時間および長時間の過激な運動負荷による酸化ストレスの影響. *厚生*の指標, 55(10), 6-10.
- 3) Arasheben, A. Barzee, KA. Morley, CP. (2011). A meta-analysis of bone mineral density in collegiate female athletes. *J Am Board Fam Med*, 24(6), 728-734.
- 4) Barrow, GW. Saha, S. (1988). Menstrual irregularity and stress fractures in collegiate female distance runners. *Am. J. Sports Med*, 16, 209-216.
- 5) Bennell, KL. Malcolm, SA. Khan, KM. Thomas, SA. Reid, SJ. Brukner, PD. Ebeling, PR. Wark, JD. (1997). Bone mass and bone turnover in power athletes, endurance athletes, and controls: a 12-month longitudinal study. *Bone*, 20(5), 477-484.
- 6) Bowers, AL. Horneff, JG. Baldwin, KD. Huffman, GR. Sennett, BJ. (2010). Thumb injuries in intercollegiate men's lacrosse. *Am J Sports Med*, 38(3), 527-531.
- 7) Brahm, H. Ström, H. Piehl-Aulin, K. Mallmin, H. Ljunghall, S. (1997). Bone metabolism in endurance trained athletes: a comparison to population-based controls based on DXA, SXA, quantitative ultrasound, and biochemical markers. *Calcif Tissue Int*, 61(6), 448-454.
- 8) Cook, SD. Harding, AF. Thomas, KA. Morgan, EL. Schnurpfeil, KM. Haddad, RJ, Jr. (1987). Trabecular bone density and menstrual function in women runners. *Am. J. Sports Med*, 15, 503-507.
- 9) Creighton, D. L. Morgan, AL. Boardley, D. (2001). Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes. *J Appl Physiol*, 90(2), 565-570.
- 10) Ducher, G. Turner, AI. Kukuljan, S. Pantano, KJ. Carlson, JL. Williams, NI. De Souza, MJ. (2011). Obstacles in the optimization of bone health

- outcomes in the female athlete triad. *Sports Med.* 41(7), 587-607.
- 11) Enemark-Miller, EA. Seegmiller, JG. Rana, SR. (2009). Physiological Profile of Women's Lacrosse. *Journal of Strength & Conditioning Research.* 23(1), 39-43.
  - 12) Fagnani, F. Spaccamiglio, A. Grasso, L. Termine, A. Angeli, A. Pigozzi, F. Borrione, P. (2009). N-terminal proB-type natriuretic peptide and homocysteine concentrations in athletes. *J Sports Med Phys Fitness.* 49(4), 440-447.
  - 13) Frankel, V. H. Nordin, N. (1989). *Basic biomechanics of the skeletal system.* Lea & Febiger, Philadelphia.
  - 14) Frost, HM. (2001). From Wolff's law to the Utah paradigm: insights about bone physiology and its clinical applications. *Anat Rec.* 262(4), 398-419.
  - 15) 福林徹 (1990). 女子運動選手における月経異常と骨塩濃度の関連. *臨床スポーツ医学.* 8, 815-819.
  - 16) 福永仁夫, 曾根照喜, 友光達志 (2001). 骨代謝マーカーの年齢・性別の基準値. *Osteoporosis Japan.* 9, 123-129.
  - 17) 福島一雅, 斉藤明義, 佐藤賢治, 布袋屋浩, 佐藤勤也 (1996). 女子スポーツ選手における疲労骨折と月経異常, 骨密度の関連について. *臨床スポーツ医学.* 13(5), 493-497.
  - 18) Hoffman, JR. Ratamess, NA. Neese, KL. Ross, RE. Kang, J. Magrelli, JF. Faigenbaum, AD. (2009). Physical Performance Characteristics in National Collegiate Athletic Association Division III Champion Female Lacrosse. *J Strength Cond Res.* 23(5), 1524-1529.
  - 19) Jurimae, J. Purge, P. Jurimae, T. von Duvillard, SP. (2006). Bone metabolism in elite male rowers: adaptation to volume-extended training. *Eur J Appl Physiol.* 97(1), 127-132.
  - 20) Kannus, P, Haapasalo, H. Sievänen, H. Oja, P. Vuori. I. (1994). The site-specific effects of long-term unilateral activity on bone mineral density and content. *Bone.* 15(3), 279-284.
  - 21) 小出かつら, 上出直人, 北川淳, 高平尚伸 (2009). 筋力増強トレーニングが骨代謝動態に与える影響—若年成人女性を対象とした比較対照試験—. *日本生理人類学.* 14(4), 7-13.

- 22) 呉堅, 鳥居俊, 黒田善雄 (1995), スポーツ選手における前腕骨塩量の検討 - 利き腕と非利き腕の比較 - 臨床スポーツ医学. 12(6), 728-732.
- 23) 黒岩純, 春口廣, 上田大(2001). 大学ラグビー選手権優勝チームにおける体力ー関東学院大学ラグビー選手の特性ー. 運動とスポーツの科学. 7(1), 87-95.
- 24) Lincoln, AE. Caswell, SV. Almquist, JL. Dunn, RE. Clough, MV. Dick, RW. Hinton, RY. (2012). Effectiveness of the women's lacrosse protective eyewear mandate in the reduction of eye injuries. *Am J Sports Med.* 40(3), 611-614.
- 25) Lombardi, G. Colombini, A. Freschi, M. Tavana, R. Banfi, G. (2011). Seasonal variation of bone turnover markers in top-level female skiers. *Eur J Appl Physiol.* 111(3), 433-440.
- 26) 馬淵博行, 藤野雅広, 岡本裕美子, 桃原司, 長尾光城 (2006). ラクロス選手におけるスポーツ外傷・傷害のアンケート調査結果. 川崎医療福祉学会誌. 16(2), 373-376.
- 27) Maimoun, L. Galy, O. Manetta, J. (2004). Competitive season of triathlon does not alter bone metabolism and bone mineral status in male triathletes. *Int J Sports Med.* 25, 230-234.
- 28) Marsh, DW. Richard, LA. Verre, AB. Myers, J. (2010). Relationships among balance, visual search, and lacrosse-shot accuracy. *J Strength Cond Res.* 24(6), 1507-1514.
- 29) 増本項, 小山亜希子 (1999). 大学女子ラクロス競技における傷害調査. 臨床スポーツ医学. 16(9), 1089-1092.
- 30) Matheson, G. O., Clement, D. B., McKenzie, D. C. Taunton, JE. Lloyd-Smith, DR. MacIntyre, JG. (1987). Stress fractures in athletes. A study of 320 cases. *Am. J. Sports Med.* 15, 46-58.
- 31) 松田貴雄, 秦祥彦, 釘宮基泰, 菊池博, 森照明, 大場俊二 (2010). 女性アスリートの疲労骨折. 臨床スポーツ医学. 27(4), 383-388.
- 32) 松本高明 (1998). 青少年期スポーツ選手の骨密度ー種目間の相違ー. 臨床スポーツ医学, 15, 727-731.
- 33) 三木隆己 (1998). 骨代謝マーカーの手引き. *Osteoporosis Japan.* 4, 109-207.

- 34) Miller, PD. Hochberg, MC. Wehren, LE. Ross, PD. Wasnich, RD. (2005). How useful are measures of BMD and bone turnover?. *Curr Med Res Opin.* 21(4), 545-554.
- 35) 望月善子, 西沢良記, 大石曜, 大津礼子, 三浦俊英, 五十嵐吉彦, 稲葉憲之 (2005). 新規に開発された血中酒石酸抵抗性酸フォスファターゼ骨型アイソザイム (TPACP-5b) 測定キット オステオリンクス「TRAP-5b」による日内および日間変動と最小有意変化の検討. *医学と薬学.* 54(6), 895-902.
- 36) Mudd, LM. Fornetti, W. Pivarnik, JM. (2007). Bone mineral density in collegiate female athletes: comparisons among sports. *J Athl Train.* 42(3), 403-408.
- 37) 向井直樹 (1998). 女子長距離ランナーの骨密度と骨代謝マーカー、疲労骨折発生との関係. *臨床スポーツ医学.* 15(7), 737-740.
- 38) 向井直樹 (2003). 疲労骨折の発生メカニズム(1)(生理学的・女性ホルモン). *臨床スポーツ医学.* 20, 37-40.
- 39) Mullins, NM. Sinning, WE. (2005). Effects of resistance training and protein supplementation on bone turnover in young adult women. *Nutr Metab (Lond).* 2, 19.
- 40) 武藤芳照 (1990). 疲労骨折. *スポーツと疲労骨折.* 武藤芳照, 伊東晴夫, 片山直樹編. 南江堂, 東京, 1-33.
- 41) 中村利孝 (1997). 黒川 清 (監修), 第一部 基礎, 第Ⅷ章 骨の形態と機能, 腎と骨代謝ハンドブック, 日本メディカルセンター, 東京都, 93-103.
- 42) 中村利孝 (2000). 運動と骨代謝. *臨床スポーツ医学.* 7(10), 1191-1197.
- 43) 中山正教, 木村靖夫, 南里妃名子 (2008). 視覚障害を有する競泳選手の骨密度に関する研究—特に練習頻度及び競技レベルに着目して—. *体力科学.* 157(6), 977.
- 44) Nelson, ME. Fiatarone, MA. Morganti, CM. Trice, I. Greenberg, RA. Evans, WJ. (1994). Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fracture: a randomized controlled trial. *JAMA.* 272(24), 1909-1914.
- 45) Nilsson, BE. Westlin, NE. (1971). Bone density in athletes. *Clin. Orthop.* 77, 179-182.

- 46) 西田弘之, 竹本康史, 桑原信治, 鷲野嘉映, 横山強, 杉浦春雄, 中神 勝 (1999). スポーツ種目別にみた大学女子選手の橈骨骨密度と生活習慣について. 学校保健研究. 41(5), 429-437.
- 47) No authors listed (2001). NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy. JAMA. 285(6), 785-795.
- 48) 岡達三 (2009). ホモシステインと酸化ストレス. ビタミン. 83(5・6), 321-322.
- 49) Papapanagiotou, A. Gissis, I. Papadopoulos, C. Souglis, A. Bogdanis, GC. Giosos, I. Sotiropoulos, A. (2011). Changes in homocysteine and 8-iso-PGF(2a) levels in football and hockey players after a match. Res Sports Med. 19(2), 118-128.
- 50) Risser, WL. Lee, EJ. LeBlanc, A. Poindexter, HB. Risser, JM. Schneider, V. (1990). Bone density in eumenorrheic female college athletes. Med Sci Sports Exerc. 22(5), 570-574.
- 51) Robinson, TL. Snow-Harter, C. Taaffe, DR. Gillis, D. Shaw, J. Marcus, R. (1995). Gymnasts exhibit higher bone mass than runners despite similar prevalence of amenorrhea and oligomenorrhea. J Bone Miner Res. 10(1), 26-35.
- 52) Saito, M. Fujii, K. Marumo, K (2006). Degree of mineralization-related collagen crosslinking in the femoral neck cancellous bone in cases of hip fracture and controls. Calcif Tissue Int. 79(3), 160-168.
- 53) Saito, M. Marumo, K (2010). Collagen cross-links as a determinant of bone quality: a possible explanation for bone fragility in aging, osteoporosis, and diabetes mellitus. Osteoporos Int. 21(2), 195-214.
- 54) Saito, M. Marumo, K. Soshi, S. Kida, Y. Ushiku, C. Shinohara, A (2010). Raloxifene ameliorates detrimental enzymatic and nonenzymatic collagen cross-links and bone strength in rabbits with hyperhomocysteinemia. Osteoporos Int. 21(4), 655-666.
- 55) 斎藤充, 丸毛啓史 (2010). ホモシステインと骨. 骨粗鬆症治療. 9(1), 56-63.
- 56) 斎藤充, 丸毛啓史 (2010). 骨粗鬆症における骨質の変化. BIO Clinica. 25(14), 1220-1225.
- 57) 斎藤充, 丸毛啓史 (2010). 骨強度と骨質. 臨床整形外科. 45(11), 986-993.

- 58) Saito2011 斎藤充, 木田吉城, 加藤壮紀, 丸毛啓史 (2011). 骨質マーカーとしての血清ペントシジンとホモシステイン. 整形・災害外科. 54(6), 723-729.
- 59) 酒井昭典 (2003), 疲労骨折の発生メカニズム(2). 臨床スポーツ医学. 20, 41-48.
- 60) 桜庭景植, 石川拓次 (2008). 女子長距離選手ランナーの骨塩量および骨代謝マーカーと疲労骨折に関する研究. デサントスポーツ科学. 29, 183-189.
- 61) 桜庭景植 (2010). 疲労骨折と骨代謝. 臨床スポーツ医学. 27(4), 375-382.
- 62) Sanborn, C. F. (2000) Disordered eating and the female athlete triad. Clin. Sports Med 19: 199-213.
- 63) Suzuki, Y. Murakami, T. Haruna, Y. Kawakubo, K. Goto, S. Makita, Y. Ikawa, S. Gunji, A. (1994). Effects of 10 and 20 days bed rest on leg muscle mass and strength in young subjects. Acta Physiol Scand Suppl. 616, 5-18.
- 64) 高梨泰彦, 三浦隆行 (2001). 女子陸上ホッケー選手における踵骨骨梁面積率の左右差について～スポーツの骨量に与える影響に関する一考察～. 中京大学体育研究所紀要. 15, 17-22.
- 65) 高柳富士丸 (1994). 運動負荷と骨代謝. 日本災害医学. 42(3), 179-183.
- 66) 田中栄 (2010). 骨、骨質、骨強度. 診断と治療. 98(11), 1785-1789.
- 67) 鳥居俊 (1993). 疲労骨折と骨密度. 臨床スポーツ医学. 10(8), 918-924.
- 68) Tsuda-Futami, E. Hans, D. Njeh, CF. Fuerst, T. Fan, B. Li, J. He, YQ. Genant, HK. (1999). An evaluation of a new gel-coupled ultrasound device for the quantitative assessment of bone. Br J Radiol. 72, 691-700.
- 69) Vincent, KR. Braith, RW. (2002). Resistance exercise and bone turnover in elderly men and women. Med Sci Sports Exerc. 34(1), 17-23.
- 70) Wakamatsu, K. Sakuraba, K. Suzuki, Y. Maruyama, A. Tsuchiya, Y. Shikakura, J. Ochi, E. (2012). Association between the stress fracture and bone metabolism/quality markers in lacrosse players. Open Access Journal of Sports Medicine. 3, 67-71.
- 71) Wolman, RL. Faulmann, L. Clark, P. Hesp, R. Harries, MG. (1991). Different training patterns and bone mineral density of the femoral shaft in elite, female athletes. Ann Rheum Dis. 50(7), 487-489.
- 72) 山崎先也, 岡本啓, 松久ミユキ, 野原隆司, 田口貞善 (2001). 新体操女子選

- 手のトレーニング期の骨代謝動態. 日本運動生理学. 8(2), 99-105.
- 73) 山下敏彦, 石井清一 (1994). 疲労骨折. 体力科学. 43(2), 145-154.
- 74) Yeager, K. K. (1993). The female athlete triad. *Med. Sci. Sports Exerc* 25, 775-777.
- 75) Yung, PS. Lai, YM. Tung, PY. Tsui, HT. Wong, CK, Hung, VW, Qin, L. (2005). Effects of weight bearing and non-weight bearing exercises on bone properties using calcaneal quantitative ultrasound. *Br. J. Sports Med.* 39(8), 547-551.

A study of bone metabolism and bone quality on female lacrosse players.

-Focused on the competitive level-

Shinya Maruyama

## Abstract

We aimed to investigate the differences in bone metabolism and quality among female university lacrosse players, based on the examinations of physical characteristics, the osteo-sono assessment index (OSI), bone formation markers (BAP). We also examined their bone resorption markers (S-NTx and TRACP-5b), and collagen cross-link markers (homocysteine and pentosidine), which are considered to be factors in fractures aside from bone density, but to be deeply related to bone quality.

The participants were 67 female university students who play lacrosse. We divided them into two groups, Division 1 (49 High-level players (H); height: 160.4±5.8cm; weight: 56.7±5.8kg, body fat percentage: 25.4±4.3%) and Division 4 (18 Low-level players (L); height: 160.6±5.4cm, weight: 53.9±6.1kg, body fat percentage: 25.8±4.7%).

We examined the following: physical quality, the osteo-sono assessment index (OSI); bone alkaline phosphatase (BAP), which is used as an index of bone formation; n-telopeptide cross-link of type I collagen (serum) (S-NTx) and tartrate-resistant acid phosphatase 5b (TRACP-5b), which are used as indices of



bone absorption; pentosidine, the homocysteine, which are used as collagen cross-link markers.

In the course of our investigation, we have found no significant difference in the physical characteristics between the H and L groups. However, the H group showed significantly higher OSI than the L group ( $p < 0.01$ ). Furthermore, the H group had significantly lower BAP levels than the L group ( $p < 0.01$ ), though no significant differences were observed for S-NTx or TRACP-5b levels. Moreover, although the homocysteine levels in the H group were significantly higher than those in the L group ( $p < 0.01$ ), no significant difference was observed for pentosidine levels.

As a result of our investigation, we have found that [1] while OSI of the H group is significantly higher than that of the L group, [2] the BAP levels of the H group is significantly lower than those of the L group, and [3] the homocysteine, which may cause degradation of bone quality, of the H group is significantly higher than that of the L group. These results suggest a possibility that while higher level players have high bone strength, their bone formation was deteriorating and their bone quality was degrading.



表2.高競技レベル群および低競技レベル群における  
骨代謝・コラーゲン架橋関連マーカーの比較

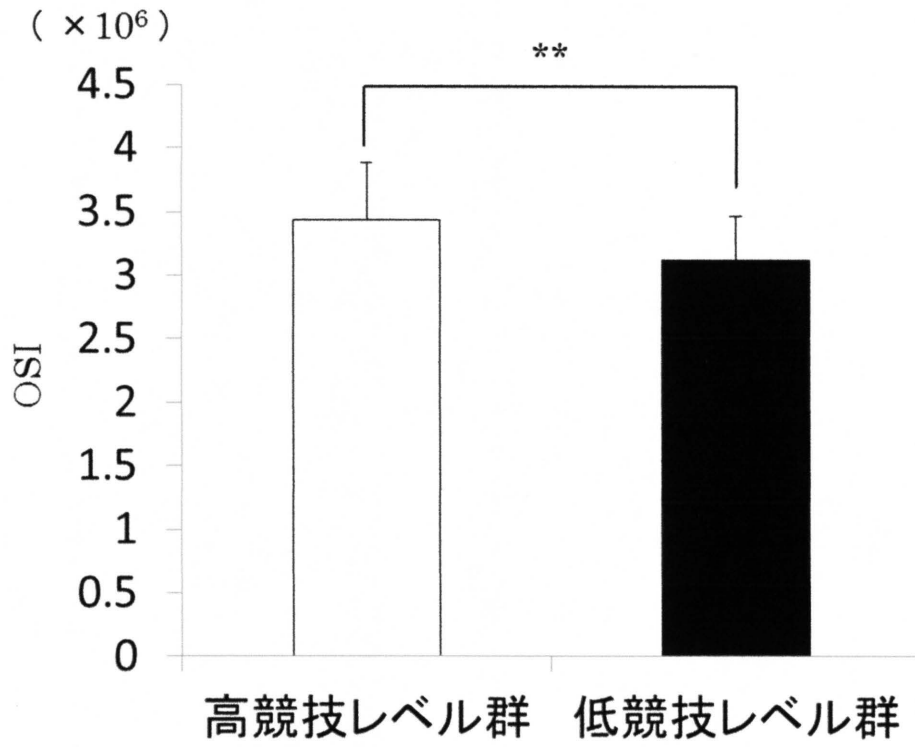
	高競技レベル群 (n = 49)	低競技レベル群 (n = 18)	P値
S-NTx (nmBCE/L)	16.5 ± 5.4	16.5 ± 6.6	N.S.
TRACP-5b (mU/dL)	331.7 ± 110.5	281.4 ± 93.5	N.S.
ペントシジン (µg/mL)	0.037 ± 0.008	0.036 ± 0.008	N.S.

Means ± S.D.

N.S. (Not Significant)

S-NTx: n-telopeptide cross-link of type I collagen(serum)

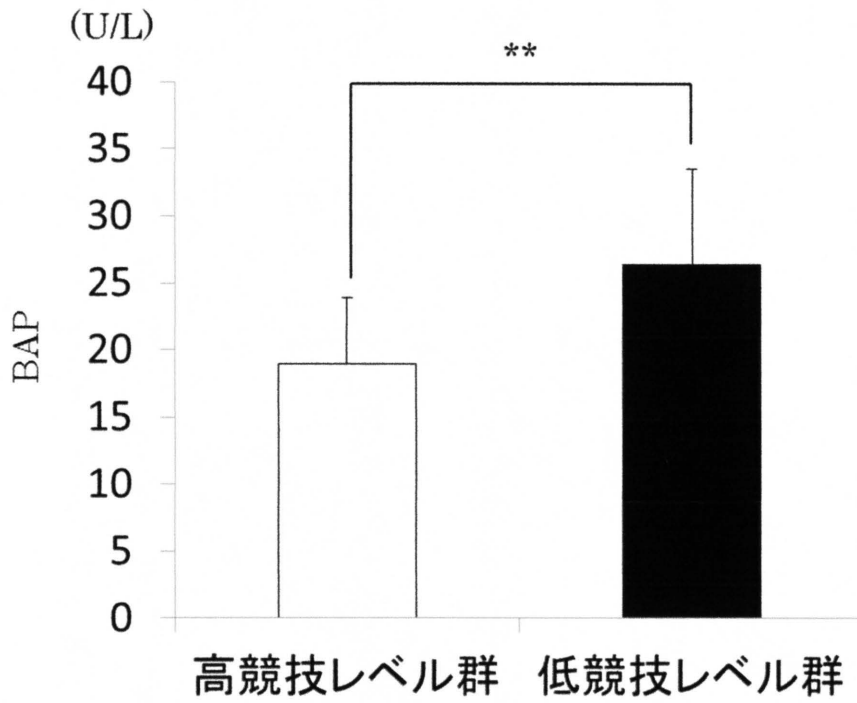
TRACP-5b: tartrate-resistant acid phosphatase 5b.



\*\*: $p < 0.01$

OSI: osteo-sono assessment index

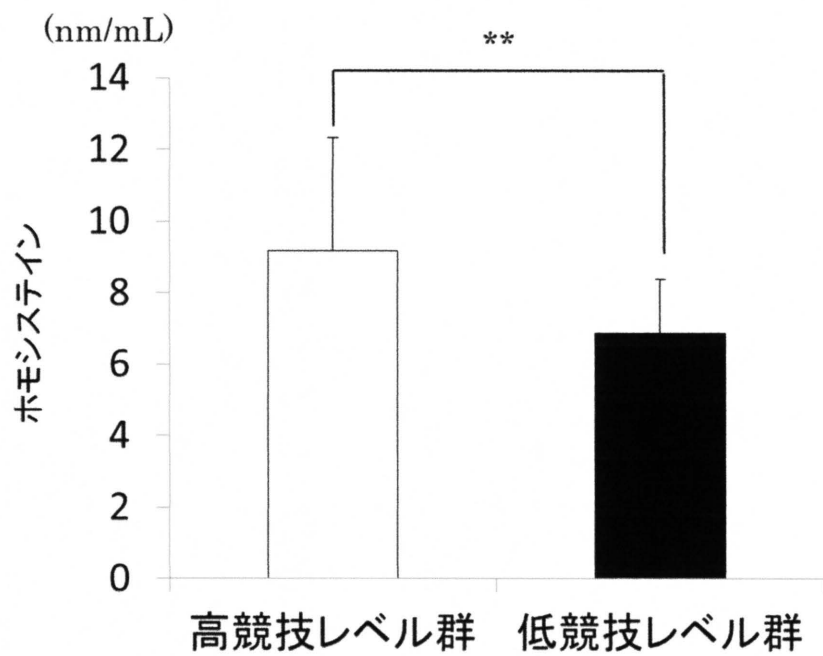
図1.高競技レベル群および低競技レベル群におけるOSIの比較



\*\*: $p < 0.01$

BAP: bone alkaline phosphatase

図2.高競技レベル群および低競技レベル群におけるBAPの比較



\*\*: $p < 0.01$

図3.高競技レベル群および低競技レベル群におけるホモシステインの比較