

平成 25 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

大学男子スキー選手の骨代謝及び骨質に関する研究

所属系（領域） スポーツ科学系

氏 名 佐藤 照友旭

論文指導教員 桜庭 景植

合格年月日 平成 26 年 2 月 27 日

論文審査員 主査 鈴木大地

副査 原田 隆巳

副査 桜庭 景植

目次

	項
第1章 緒言	1
第2章 関連文献の考証	2
第1節 骨強度	2
(1) 骨密度	2
(2) 骨質	2
第2節 疲労骨折	3
(1) 疲労骨折の発生機序	3
第3節 骨代謝	4
第3章 目的	5
第4章 研究方法	6
第1節 対象	6
第2節 測定項目	6
(1) 身体特性	6
(2) 音響的骨評価値(OSI)	6
(3) 骨代謝・骨質マーカー	6
第3節 統計処理	6
第5章 結果	7
第1節 身体特性	7
第2節 音響的骨評価値(OSI)	7
第3節 骨代謝・骨質マーカー	7
第6章 考察	8
第7章 結論	9
第8章 要約	10
引用文献	11
Abstract	14

表 1~2、図 1~3

第1章 緒言

過労性骨障害は、スポーツ選手や指導者にとっては重大な問題の一つであり、それはスキー競技も例外ではない¹⁰⁾。特にスキー競技では、シーズンが限定されているため、集中的に身体に負荷がかかることから、その競技生活はきわめて特殊といえる。スキー競技者の骨においても過度のストレスがかかることで疲労骨折やシンスプリントを受傷し、競技を中断せざるを得ない選手も散見される¹⁰⁾。しかし、スキーの損傷に関する先行研究では、スキー場における外傷発生調査が中心であり³⁶⁾、障害を検討した研究はない。

骨強度を評価する上で一般的な指標は、二重 X 線吸収法 (Dual Energy X-ray Absorptiometry; 以下 DEXA) または超音波法 (Quantitative Ultrasounds) による骨密度である^{32,37)}。加えて、血液や尿中の骨代謝を評価した報告もある^{1,3)}。先行研究でとくに利用されている骨代謝の指標は、骨型アルカリフォスファターゼ (Bone Alkaline Phosphatase; 以下 BAP)、I 型コラーゲン架橋 N-テロペプチド (N-telopeptide cross-link of type II collagen; 以下 NTX) などがある¹⁸⁾。最近では、新規骨吸収マーカーとして酒石酸抵抗性酸フォスファターゼ (Bone specific tartrate resistant acid phosphatase 5B; 以下 TRACP-5B) が報告されている¹³⁾。

さらに骨質も骨強度に影響を与える因子としてその重要性が論じられるようになってきた²⁸⁾。骨質の低下は、コラーゲン架橋構造の異常に伴う骨の脆弱化を意味し、ホモシステイン及びペントシジンの高値によって明らかになるとされている²⁸⁾。

しかし、上述の骨代謝及び骨質を検討した報告の多くは、閉経後女性や骨粗鬆症患者を対象とした研究が多く^{3,13,18,28)}、スポーツ選手を対象としたものは少ない。特にスキー競技に限定した場合、これまでの先行研究はイタリア女子スキー選手を対象とした報告のみである¹⁰⁾。

そこで本研究では、大学スキー選手を対象とし、超音波法骨強度、血清骨代謝・骨質関連指標を測定し、それらの動態を経時的に検討することを目的とした。特に本研究では、測定を試合期とシーズンオフ期の二度実施することで、年間を通した骨の経時的変化を把握し、過労性骨障害予防のための基礎的データを得ることとした。

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

Nilsson¹⁹⁾らは 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²³⁾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²⁴⁾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²⁰⁾

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³⁵⁾。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³⁴⁾。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²⁷⁾。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^{25,26,27)}。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。Papapanagiotou ら²²⁾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⁴⁾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²⁹⁾。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。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¹⁶⁾。過度の運動を続けることにより、筋疲労が起こり収縮力が低下する。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⁵⁾。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³⁹⁾。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³⁹⁾。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³⁹⁾。

第3節 骨代謝

モデリングとリモデリングは、骨代謝の基本的であり、骨吸収と骨形成の機能関連により維持されている。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¹²⁾。このメカニズムには多数の調節因子が関与していると考えられるが、その詳細はまだ不明なところが多い。

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²¹⁾。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¹⁴⁾。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¹⁷⁾。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⁶⁾。Lombardiら¹⁰⁾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¹¹⁾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⁸⁾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²¹⁾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、大学スキー選手を対象とし、超音波法骨強度、血清骨代謝・骨質関連指標を測定し、それらの動態を経時的に検討することを目的とした。特に本研究では、測定を試合期とシーズンオフ期の二度実施することで、年間を通した骨の経時的変化を把握し、過労性骨障害予防やスキー競技や生涯スキースポーツにおける基礎的データを得ることとした。

第4章 研究方法

第1節 対象

対象は、N大学スキー選手8名であった。事前に研究の主旨、内容および注意点について説明し、研究へ参加する同意を書面より得た。測定はオフの時期を終えた後(5月、以下シーズンオフ期)及び大会に参加している試合期(2月、以下試合期)の2回実施した。

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(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℃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章 身体特性

試合期（2月）とオフ期（5月）に測定した年齢、身長、体重、体脂肪率を表1に示した。年齢、身長、BMI において有意な差は認められなかった一方、体重、体脂肪率において試合期よりもシーズンオフ期が有意に高かった($p < 0.05$)。

第2章 音響的骨評価値 (OSI)

試合期とオフ期に測定した右踵骨の音響的骨評価値の結果を表2に示した。骨強度評価値は試合期で 3.48 ± 0.47 、オフ期で 3.47 ± 0.44 であり、統計処理の結果有意な差は認められなかった。

第3章 骨代謝及び骨質マーカー

骨代謝及び骨質マーカーの結果を表2及び図1に示す。骨代謝のうち BAP 及び TRACP-5B は、試合期（2月）とオフ期（5月）で有意な変化が認められなかった。一方、NTX は試合期で 30.0 ± 5.23 nmBCE/L、オフ期で 23.4 ± 4.77 nmBCE/L となり、統計処理の結果、試合期が有意に高いという結果となった(図1)。

骨質マーカーのペントシジン及びホモシステインは、シーズンオフ期と試合期との間に有意な差はみられなかった(表2)。

第6章 考察

本研究は大学スキー選手を対象とし、試合期とシーズンオフ期に骨強度、骨代謝・骨質関連マーカーがどのように変化するかを検討した。本研究の結果、試合期と比較しシーズンオフ期では、体重・体脂肪が有意に高いという結果を得た。この結果は、長いシーズンを終えた選手が一ヶ月間の休暇中に練習を実施しないことによるものと考えられ、今後実際のシーズンオフの指導に生かすべき重要な情報であるといえる。

疲労骨折は、骨強度の一指標である骨密度が低い選手にリスクが高いとされている^{9,32)}。しかし、骨密度が低いものの骨過労性障害(疲労骨折を含む)を発症しないトップ選手もいるため、骨密度のみで骨過労性障害を予測することは難しい。近年、骨強度の70%は骨密度に、残りの30%は骨質(骨代謝、コラーゲン架橋)に依存すると提唱されている¹⁵⁾。

本研究では、骨密度の一指標として超音波法を用いた音響骨評価値を測定したが経時的変化は認められなかった。可能性として、骨強度を把握する上で非常に精度の高いDEXA法を用いれば結果がかわるかもしれないが^{7,30,38)}、本データは骨密度が、試合期とシーズンオフ期で違いがないことを示唆するものである。

一方、血液サンプルをもとにした解析では、BAP及びTRACP-5Bに経時変化がないものの、NTXは有意となった(表2及び図1)。NTXと競技選手との関連性を検討した報告は少ない^{31,32)}。桜庭らによると、女子長距離選手を対象に尿中NTXを測定したところ、過労性骨障害の受傷者において有意な増加が認められたと報告されている³¹⁾。このことから尿中NTXは他のマーカーに比べ、より鋭敏に骨吸収の活性を反映すると示唆している。一方、Shibataらは、中年女性を対象に6ヶ月間のウォーキングを行わせた結果、NTXの有意な変化はみられなかったと報告している³³⁾。本研究で得られたデータは桜庭らの報告と同様の結果であった。BAP及びTRACP-5Bにおいて差が認められなかった点については、イタリア女子スキー選手を対象とした研究結果と一致していないため¹⁰⁾、測定のタイミングや対象者の選定など今後更なる検討が必要である。

骨質を規定するコラーゲンは、骨の単位体積あたり50%を占める主要な線維蛋白である²⁸⁾。細胞外に分泌されたコラーゲン分子は、規則正しく配列する際に隣り合う分子間や分子内に架橋結合が形成されるが、最近加齢や過度のストレスによりその架橋構造が悪影響(悪玉架橋)を受けると報告されている²⁸⁾。そこで、過労性骨障害の評価を行う場合には、骨密度・骨代謝のみならず「骨質」も同時に評価することが提唱されている^{15,28)}。斎藤は、骨を過剰に硬くする悪玉架橋は、酸化ストレスにより誘導される後期糖化生成物: Advanced glycation end products (AGEs)であり、ペントシジンがその代

表的であると述べている²⁸⁾。さらに、善玉架橋が少なくかつ悪玉架橋が多い人は、血中ホモシステインが高値であり、このことが細胞の老化につながる酸化ストレスが高い状態をもたらしていると報告している²⁸⁾。本研究では、これらの骨質マーカーの測定を実施したが、二項目ともに有意差は認められなかった。両項目ともに閉経後の骨粗鬆症患者を対象とした測定結果よりも平均値が低いことから、若年競技選手では年間を通じて大きな変化がないのかもしれない。

第7章 結論

本研究では、スキー選手を対象に試合期と比較しシーズンオフ期とを測定した結果、体重・体脂肪が有意に高い値を示した($p < 0.05$)。BAP 及び TRACP-5B に経時変化がないものの、NTX において有意に低値を示した($p < 0.01$)。NTX は食事などの影響に伴う日内・日間変動の問題も指摘されているため¹³⁾、今後は骨代謝・骨質マーカーの性差及び加齢による変化、測定の頻度・タイミング、骨過労性障害の実態把握などの検討を加える必要がある。また、現在、数多くの競技でピリオダイゼーション(期分け)が行われている。つまり、試合でベストパフォーマンスを発揮するために、年間を通して練習の強度、時間、種類を調節している。そのため、練習の強度が著しく高い期間や逆に練習の強度を高められない時期もある。そこで、それぞれの時期(トレーニング期、試合期、オフ期など)で骨の状態を把握できれば障害予防につながると考える。本研究の結果は、スキー競技を実施する競技選手の雪上および陸上トレーニングにおける指標である可能性が示唆された。

第8章 要約

本研究は、大学スキー選手を対象とし、超音波法骨強度、血清骨代謝・骨質関連指標を測定し、それらの動態を経時的に検討することを目的とした。特に本研究では、測定を試合期とシーズンオフ期の二度実施することで、年間を通した骨の経時変化を把握し、過労性骨障害予防やスキー競技や生涯スキースポーツにおける基礎的データを得ることとした。

対象は、N大学スキー選手8名であった。測定はオフの時期を終えた後(5月、以下シーズンオフ期)及び大会に参加している試合期(2月、以下試合期)の2回実施した。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 (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。

試合期と比較しシーズンオフ期では、体重・体脂肪が有意に高いという結果を得た。この結果は、長いシーズンを終えた選手がヶ月間の休暇中に練習を実施しないことによるものと考えられ、今後実際のシーズンオフの指導に生かすべき重要な情報であるといえる。一方、血液サンプルをもとにした解析では、BAP 及び TRACP-5B に経時変化がないものの、NTX は有意となった($p<0.01$)。

本研究の結果、スキー選手を対象に試合期とシーズンオフ期とを測定した結果、NTX において有意差を認めたことから重要な指標であるといえる。NTX は食事などの影響に伴う日内・日間変動の問題も指摘されているため⁸⁾、今後は骨代謝・骨質マーカーの性差及び加齢による変化、測定の頻度・タイミング、骨過労性障害の実態把握などの検討を加える必要がある。また、数多くの競技でピリオダイゼーション(期分け)が行われている。つまり、試合でベストパフォーマンスを発揮するために、年間を通して練習の強度、時間、種類を調節しそれぞれの時期(トレーニング期、試合期、オフ期など)で骨の状態を把握できれば障害予防につながると考える。本研究の結果は、スキー競技を実施する競技選手のコンディショニングにおける指標である可能性が示唆された。

引用文献

- 1) Banfi G, Lombardi G, Colombini A, Lippi G. Bone metabolism markers insports medicine. Sports Med. 40: 697-714. 2010
- 2) 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.
- 3) Delmas PD, Eastell R, Garnero P, Seibel MJ, Stepan J; Committee of Scientific Advisors of the International Osteoporosis Foundation. The use of biochemical markers of bone turnover in osteoporosis. Committee of Scientific Advisors of the International Osteoporosis Foundation. Osteoporos Int. 11 : S2-17, 2000
- 4) 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.
- 5) Frankel, V. H. Nordin, N. (1989). Basic biomechanics of the skeletal system. Lea & Febiger, Philadelphia.
- 6) 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.
- 7) 井尻吉信, 山東勤弥(2011): 体組成(body composition)の評価(2)BIA, DEXA, 栄養-評
- 8) 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.
- 9) 小池達也, 大久保衛, 山野慶樹, 辰巳一郎, 大木毅, 佐藤哲也(1995): エリート女性長距離ランナーにおける低骨塩量と疲労骨折, 臨床スポーツ医学, 12-12, 1425-1429.
- 10) 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.
- 11) 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.

- 12) 三木隆己 (1998). 骨代謝マーカーの手引き. Osteoporosis Japan. 4, 109-207.
- 13) 三木隆己, 石井光一, 中弘志, 正木秀樹, 市村正一, 望月善子, 茶木修, 倉澤健太郎, 稲葉雅章, 西沢良記(2006): 新規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(TRACP-5b)測定キットオステオリンクス「TRAP-5b」の臨床的検討 - 骨粗鬆症に対するビスフォスフォネート治療における検討-, 医学と薬学, 55-4, 443-458.
- 14) 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.
- 15) 森諭史(2010): 骨強度における骨質の役割, THE BONE, 24-3, 223 - 228.
- 16) 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.
- 17) 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.
- 18) 日本骨粗鬆症学会. 骨粗鬆症診療における骨代謝マーカーの適正使用ガイドライン(2004年度版). 12: 191-207, 2004.
- 19) Nilsson, BE. Westlin, NE. (1971). Bone density in athletes. Clin. Orthop. 77, 179-182.
- 20) 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.
- 21) No authors listed (2001). NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy. JAMA. 285(6), 785-795.
- 22) 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.
- 23) Risser, WL. Lee, EJ. LeBlanc, A. Poindexter, HB. Risser, JM. Schneider, V. (1990). Bone density in eumenorrhic female college athletes. Med Sci Sports Exerc. 22(5), 570-574.
- 24) 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.
- 25) 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.
 - 26) 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.
 - 27) 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.
 - 28) 斎藤充(2009): 新しい骨質マーカーとしてのペントシジンおよびホモシステイン測定の有用性, *臨床病理*, 57-9, 876-883.
 - 29) 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.
 - 30) 酒井由美子, 小池城司, 沼田信, 種田潔, 神宮純江(2010): 日本人成人女性において二重エネルギーX線吸収法(dual energy X-ray absorptiometry)による全身骨密度値で骨粗鬆症リスクは評価できるか? *福岡医学雑誌*, 101-4, 69-74.
 - 31) 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.
 - 32) 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.
 - 33) Shibata Y, Ohsawa I, Watanabe T, Miura T, Sato Y(2003): Effects of physical training on bone mineral density and bone metabolism, *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, 22-4, 203-208.
 - 34) 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.
 - 35) 田中栄 (2010). 骨、骨質、骨強度. *診断と治療*. 98(11), 1785-1789.
 - 36) 時崎暢, 竹田秀明, 鮫島康仁, 渡會公治, 松下隆(2003): スキーブーツ内で発生したスキー外傷, *臨床スポーツ医学*, 20-9, 1080-1082.
 - 37) 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.
 - 38) 山下敏彦, 石井清一 (1994). 疲労骨折. *体力科学*. 43(2), 145-154.

- 39) 山本真人, 萩野浩(2010): 超音波による骨折リスク評価, THE BONE, 24-3, 273-277.

A study of bone metabolism markers and bone quality markers in collegiate male skiers.

Teruyuki Sato

Abstract

Although previous reports focus on the movement analysis and teaching technique, the risk of bone overuse osteopathy including stress fracture using serum blood sample remains unclear. The aim of this study was to investigate the changes in bone metabolism and quality markers during season. Male university skiers (n = 8, slalom and giant slalom) were tested at both the competitive season and the end of the relative rest period. Quantitative ultrasound of the right calcaneus, serum levels of bone alkaline phosphatase, N-telopeptide cross-link of type I collagen, tartrate-resistant acid phosphatase 5b, homocysteine, and pentosidine were measured. While no significant differences were observed between two points for quantitative ultrasound assessment, bone alkaline phosphatase, tartrate-resistant acid phosphatase 5b, homocysteine, and pentosidine, the levels of N-telopeptide cross-link of type I collagen at the competitive season was significantly higher in those at the end of rest period ($p < 0.05$). Since N-telopeptide cross-link of type I collagen reflect the response of bone resorption, the present results reveal that bone resorption is expressly promoted at competitive season. We conclude that N-telopeptide cross-link of type I collagen is a useful marker for monitoring condition in male skiers. In addition, it may be important to prevent the overuse bone overuse osteopathy including stress fracture.

表1. 試合期及びオフ期における身体特性の変化

	試合期 (n=8)	オフ期 (n=8)	P値
年齢 (yr)	19.5 ± 1.3	20.0 ± 1.1	N.S.
身長 (cm)	170.9 ± 4.8	171.1 ± 5.1	N.S.
体重 (kg)	67.8 ± 6.6	69.5 ± 6.8	p < 0.05
体脂肪 (%)	11.7 ± 4.31	13.7 ± 5.00	p < 0.05
BMI	23.2 ± 1.6	23.7 ± 1.4	N.S.

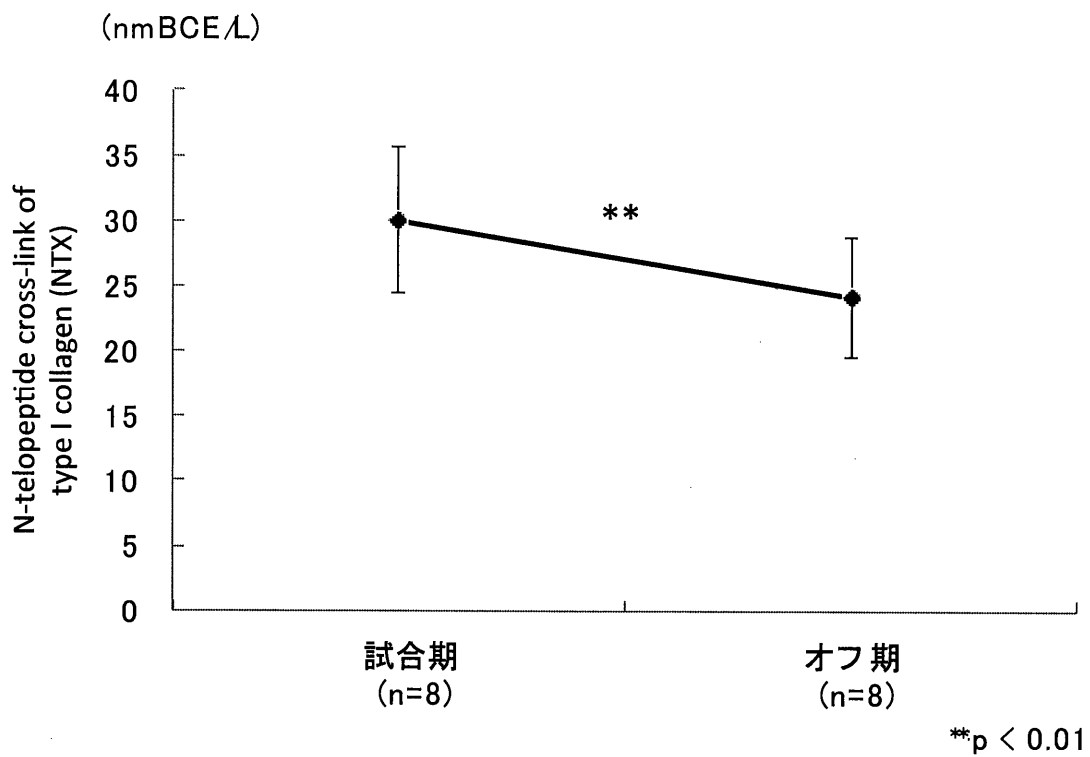
Means ± S.D.

N.S.(Not Significant)

表2. 試合期及びオフ期における骨関連指標の変化

	試合期 (n=8)	オフ期 (n=8)	P値
骨密度 (OSI)	3.48 ± 0.47	3.47 ± 0.44	N.S.
骨代謝マーカー			
BAP (U/L)	25.0 ± 8.8	24.4 ± 6.5	N.S.
TRACP-5b (mU/dL)	557.4 ± 95.1	539.5 ± 88.9	N.S.
骨質関連マーカー			
ホモシステイン (nm/mL)	11.5 ± 7.2	19.4 ± 20.9	N.S.
ペントシジン (µg/mL)	0.02 ± 0.004	0.03 ± 0.006	N.S.
Means ± S.D.	N.S.(Not Significant)		

BAP: Bone Specific Alkaline Phoshatase



NTX: N-telopeptide cross-link of type I collagen (serum)

図1. 試合期及びオフ期における血中NTXの変化