

## 高校長距離選手における走行路面の違いが骨に与える影響

諸岡佳代・向井直樹・竹村雅裕・白木 仁・宮川俊平

### The influence of the running surface hardness to the bone resorption marker in the high school long distance runners

MOROOKA Kayo, MUKAI Naoki, TAKEMURA Masahiro,  
SHIRAKI Hitoshi and MIYAKAWA Shumpei

#### Abstract

The present study compared changes in urinary excretion of cross-linked N-terminal telopeptides of type I collagen, as a marker of bone resorption, of high school male athletes after running on three different surfaces. The surfaces where the subjects ran were asphalt road, artificial all-weather track, and ground and grass. Urine samples were collected immediately before and after the running, and 12 hours after the running. RESULTS & DISCUSSION: Urinary excretion of NTx increased after running on all surface conditions. Urinary excretion of NTx in 12 hours after running on the asphalt road was greater than that on the other two types surface. The present study suggests that activation of bone metabolism observed after running on hard surface is greater than that on soft surface. Further investigation should be done to locate the best road surface with minimum bone resorption.

**Key words:** bone resorption, surface, running, long distance runner, stress fracture

#### 日本語訳

本研究は、高校男子長距離選手を対象とし、異なる3走行路面上での走運動後に、骨吸収マーカーである尿中I型コラーゲンN末端ペプチド(NTx)の変化を測定したものである。走行路面は、アスファルト舗装道路、全天候舗装陸上競技場走路、土・芝とした。尿採取は走ランニング運動前、運動後、そして運動12時間後に行った。

走運動後のNTxは、全ての走行路面で増加を示した。アスファルト舗装道路の運動12時間後のNTxは、他の走行路面よりも高値であった。この結果から硬い走行路面での走運動では、軟らかい

走行路面より骨吸収の活性が見られた。今後、骨吸収を最小にする適切な走行路面の検討を行うことが必要である。

#### I. 緒言

骨は個体が荷重して活動するための強固な構造を維持すると同時に、カルシウムの貯蔵庫としての機能、ならびに加えられたメカニカルストレスに反応して骨量を増減させる働きを持つ。骨では常に吸収と形成が繰り返されており、この過程は骨の外形の変化を伴うモデリングと変化を伴わないモデリングに分けることができる。

骨モデリングは、成長過程において骨吸収部位とは異なる部位に新しい骨が形成されるため骨の形態が変化する。一方、骨リモデリングは既存の古い骨が削り取られる骨吸収と、その削られた部位に新しい骨が添加される骨形成がおこなわれており、骨の再造形とも呼ばれている。リモデリングを活性化させ、適切な骨量を保つためには力学的な刺激が必要である。力学的刺激は一定の閾値を越えないと骨量維持はできず、またある程度以上の負荷は病的な骨の反応を引き起こすと考えられている。Frost<sup>6)7)</sup>はこれをまとめ、mechanostat theoryとして発表し、酒井<sup>21)</sup>も高強度で低頻度の刺激は骨吸収に引き続き骨形成を誘発するが、低強度で高頻度の負荷は骨吸収が優位に促進され骨形成とのバランスが崩れるとしている。骨吸収に比べ骨形成での修復が追いつかず修復不能となり骨障害を生じるとしている。

骨障害の一つとして疲労骨折が挙げられる。疲労骨折は明らかな1回の瞬間的外力ではなく、繰り返し繰り返しの軽微な外力により骨強度が異常に低下する状態、または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生じる不完全骨折の名称である<sup>2-4)14)17)21)29)</sup>。この障害は、overuse syndrome(使いすぎ症候群)の代表でもある。受傷の多い種目としては陸上長距離選手が多く<sup>5)27-28)</sup>走動作の反復が疲労骨折の誘因の一つと考えられる。

疲労骨折受傷の要因としては、様々な要因が挙げられる。武藤ら<sup>16)</sup>は疲労骨折の要因は、個体の要因、方法の要因、および環境の要因と大きく3要因に大別することができるとしている。個体の要因では年齢、スポーツレベル、およびアライメント異常などが挙げられている<sup>9)11)</sup>。方法の要因では過度な練習量、急激なトレーニング量の増大が挙げられている<sup>22)</sup>。環境の要因では起伏の多い路面での走行、不適切なスポーツシューズの使用、そして硬い走行路面上での走行が挙げられている<sup>19)20)31)</sup>。疲労骨折の受傷を予防するためには、これらの要因を避けることが必要である。しかし、パフォーマンスの維持・向上のためには、練習強度や量を減少させることは難しい。そこで環境の要因である硬い走行路面上での走行に着目した研究が報告されている。大槻ら<sup>20)</sup>は、障害再発の予防のためには、下腿筋の強化、ランニングスキルの改善、ランニングシューズだけでなくサーフェスの検討をおこなうことが望ましいとしており、硬

い走行路面での運動よりも、軟らかな走行路面での運動が好ましいことを述べている。受傷が多いとされる陸上競技長距離選手では、他の競技と異なり練習の目的により走行路面が変化する。これは全天候舗装陸上競技場でおこなうトラック競技だけでなく、アスファルト舗装道路上での駅伝やマラソン、土・芝でのクロスカントリー大会が行われるためである。しかしながら、これまで硬さの異なる走行路面上での走運動が、骨に対しどのような影響があるかを定量的に検討したものはない。

そこで本研究では、骨代謝の内、特に骨吸収に着目して、硬さの異なる走行路面の走運動が骨吸収に与える影響を、骨吸収マーカーを用いて定量的に示すことを目的とした。運動は、各走行路面で通常のトレーニングで最も頻度の高いペースランニングとし、走運動の前後及び運動12時間後での3時点における骨吸収マーカーの変動について検討した。

## II. 方 法

### A. 対象

被験者は骨代謝に影響する疾患、既往歴、薬剤歴のない、高校男子陸上長距離選手9名(16.6歳±0.5)を対象とした。被験者には筑波大学人間総合科学研究科倫理委員会の承認を得た実験計画および同意書を用いて研究目的や内容を説明し、実験への協力の同意を得た。

### B. 走行路面

アスファルト舗装道路(以下、道路)、全天候舗装陸上競技場走路(以下、競技場)、土・芝(以下、芝)の3走行路面上を対象とした。全走行路面とも、傾斜がない平地でおこなった。

### C. 運動

運動は他の走行路面の影響を避けるため、ウォーミングアップ、主運動場所は同一の走行路面上でおこなった。主運動は60分の集団走とし、運動速度は1kmを4分~3分40秒のペースとした。ウォーミングアップ、主運動は各被験者で走行距離が異なることがないように集団走でおこなった。測定時のシューズは被験者所有のシューズとし、各走行路面において同一のシューズを使用した。

D. 測定項目

すべての項目は採尿により測定をおこなった。採尿は、運動前(ウォーミングアップ前)、運動後、運動12時間後(翌朝第一尿)とした。運動12時間後は、朝練習の影響をなくすため起床から第1尿を採取した。測定項目としては、尿中カルシウム(以下Ca-u)、尿中リン(以下P-u)、骨吸収マーカーであるI型コラーゲン架橋N末端ペプチド(以下NTx)とし、尿濃度補正のために尿中クレアチニン値を測定しクレアチニン補正をおこなった。NTxの測定は、EIA法を用いて行った。骨代謝マーカーは日内変動があるため、走運動および測定はすべて同一時間帯に行った。

E. 統計処理

各走行路面での運動前、運動後、運動12時間後との比較をおこなうため、各走行路面で運動前の値をすべての項目で100とし、運動後、運動12時間後を比(運動後・運動12時間後/運動前×100)で示し、ANOVAにより走行路面間での各条件での変動の差の有無をFisher, Scheffeを用いて検定をおこなった。走行路面間での変動ではt検定をおこない、その結果から危険率5%以下を統計学的に有意な変化とした。

III. 結果

A. I型コラーゲン架橋N末端ペプチド(NTx)の変動

Fig. 1にNTxの変動を示す。競技場では運動後と運動12時間後とを比較すると、両群ともに運動12時間後に有意な高値を示した( $p < 0.01$ )。芝では運動前と運動後とを比較すると、運動後で有意に高値を示した( $p < 0.01$ )が、運動12時間後では減少を示した。道路では運動前と運動12時間後、運動後と運動12時間後では、両群ともに運動12時間後に有意に高値を示した( $p < 0.01$ )。特に運動12時間後は運動前の約2倍の上昇を示し、走行路面間で最も高い上昇率であった。

各走行路面で比較すると、運動12時間後の道路で、他の走行路面よりも有意に高値を示した( $p < 0.01$ )。

B. 尿中カルシウム(Ca-u)の変動

Fig. 2ではCa-uの変動を示す。各走行路面とも運動前に対して運動後に減少を示し、運動12時間後では有意に高値を示した。道路では運動12時間後に他の走行路面より有意に高値を示した。

C. 尿中リン(P-u)の変動

Fig. 3ではP-uの変動を示す。芝では運動後に他の走行路面よりも高い傾向を示した。運動12時間後では運動後よりわずかであるが減少を示し、他の走行路面とは異なる傾向を示した。他の走行路面とも時間の経過により上昇の傾向はみられるが、どの群間においても有意な差はみられなかった。

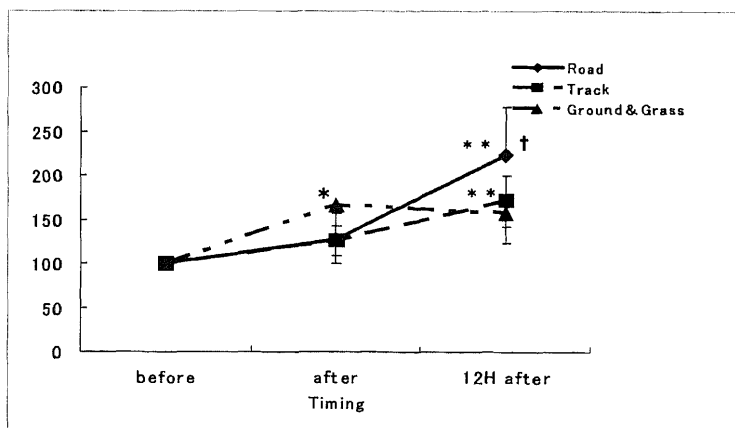


Fig.1 The change of NTx with time.

The value before running assumed 100, after running and 12H after running showed fraction.

\*Greater than High, before group ( $p < 0.01$ ) .

\*\*Greater than High, before and after group ( $p < 0.01$ ) .

† Greater than High, Track and Ground & grass ( $p < 0.01$ )

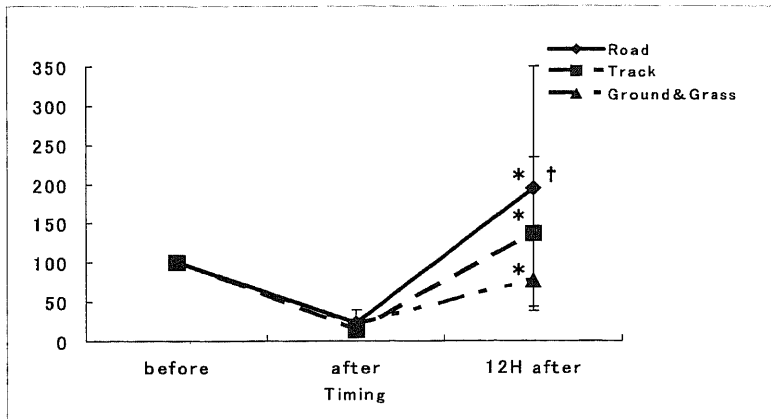


Fig.2 The change of Ca-u with time.

The value before running assumed 100, after running and 12H after running showed fraction.

\*Greater than High, after group ( $p < 0.05$ ) .

† Greater than High, Track and Ground & grass ( $p < 0.05$ )

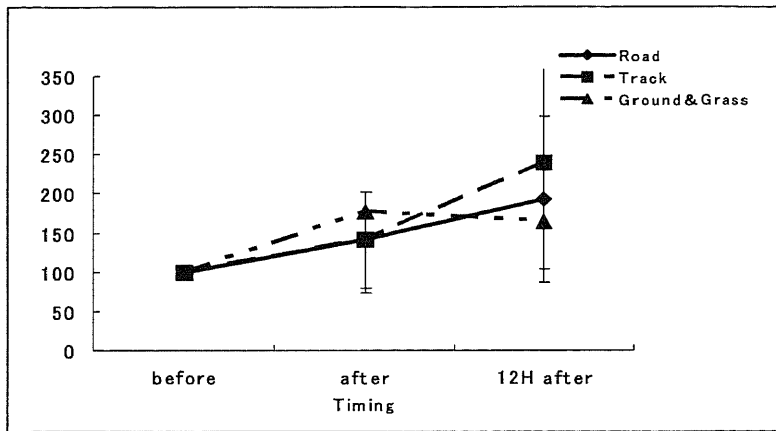


Fig.3 The change of P-u with time.

The value before running assumed 100, after running and 12H after running showed fraction.

#### IV. 考 察

今回の測定では、走行路面の違いが骨にどのような影響を及ぼすかを骨吸収マーカーである I 型コラーゲン架橋 N 末端ペプチドを用いて示した。鈴木ら<sup>23)</sup>は、NTx は破骨細胞による骨吸収を直接反映しており、現在では最も特異性が高いマーカーであると述べている。NTx が高値を示す場合には、骨吸収が促進され、骨破壊が起こっていると考えられる。今回の測定では、異なる走行路面

における走運動を行い、運動前と運動後、運動 12 時間後を NTx、Ca-u ならびに P-u の値を用いてそれぞれ比較した。

今回の測定では、運動の前後および運動 12 時間後の骨吸収の変動をみた。NTx は全走行路面において運動前よりも運動後、運動 12 時間後で上昇を示し、運動により骨吸収が促進されたと考えられる。特に道路では運動 12 時間後で高い上昇を示した。しかし芝では、運動 12 時間後で運動後とほぼ

変化がなかった。これらの結果から、硬い走行路面ほど骨吸収が促進されたと考えられる。これに対して、運動後の芝では最も高い上昇を示した。軟らかい走行路面でも骨吸収に影響があったことから、運動の目的によって適切な硬さの走行路面が存在する可能性があり、疲労骨折の再発予防及び予防の面からも適切な走行路面を選択し運動をおこなうべきであると考えられる。

時間の経過をみると、各走行路面において相違がみられた。Thosen<sup>26)</sup>らは運動による骨吸収の増加は24~72時間程度持続することを示している。また向井ら<sup>15)</sup>はマラソン後に骨吸収マーカーであるD-Pryは、レース後から増加し5日後に有意に高値を示し、高骨代謝回転は長期的に持続することを示している。各走行路面で運動前と運動後、運動12時間後を比較すると運動12時間後で高値を示し、特に硬い走行路面で高い上昇を示していた。この結果から骨吸収は長時間、運動の影響を受けていたと考えられ、今回の測定と一致していた。しかし、今回の測定では運動12時間後までの測定だったため、各走行路面で骨吸収の影響がどの程度まで持続し、走行路面による相違があるかを示すことはできなかった。

運動時間についてAshizawa<sup>1)</sup>らは、月または年単位での長期間の有酸素運動で、骨吸収マーカーが有意に低下することを述べている。また柴田ら<sup>24,25)</sup>は、ウォーキングを長期的に行うことにより骨吸収マーカーが減少し、逆に骨形成が促進されたと報告している。このように、ある一定以上の負荷刺激が加わると骨形成が促進される。しかし、負荷刺激が骨に加わりすぎると骨の疲労性障害が起ること<sup>30)</sup>、あるいは持久力強化を主とする運動負荷は、骨密度増加には逆効果である<sup>25)</sup>との報告もある。今回の測定は各走行路面での運動が骨吸収に影響を示すかをみたものであり、単運動で短時間での変動をみるための測定であった。陸上長距離選手の骨密度は他の競技と比較して低くなる傾向があることから、この単運動の負荷刺激が蓄積され、それが長期間に及ぶと骨密度に対し大きく影響していく可能性があるとし唆された。

大菌<sup>18)</sup>はI型コラーゲンやオステオカルシンなどの種々の骨特異・非特異的タンパク質による骨基質にCa、Pなどのミネラルが付着しているとしている。そのため、骨代謝をみるためには骨吸収マーカーだけでなく、CaやPの変化も重要である。

運動前と運動後のCa-uとP-uは、運動後で低値になり、翌日以降には元に戻っていた<sup>1)</sup>との報告がある。今回の測定では、全走行路面で運動後のCa-uが運動前と比較すると有意な低値を示し、Ca-uの体外への排出が抑制されていた。これは、Ca濃度は筋収縮時に必要なことから運動により体内のCaの消費が増えたためと考えられる。全走行路面で運動後のCa-u値はほぼ同値であったことから、走行路面による相違はないと考えられた。

今回の測定では、運動12時間後のCa-uは全走行路面で増加を示したが、増加量は各走路において相違が見られた。向井ら<sup>15)</sup>は持久力運動をおこなった次日(24h後)は、Ca-uの排出が増加を示したとしている。運動12時間後では、道路で芝より有意に高値を示した。この結果から走行路面が硬いほうがCa-uの排出が高くなると考えられる。また、運動後から運動後12時間後のCa-uとNTxの促進から、より道路で骨代謝回転が亢進していると推測できる。

P-uは各走行路面においてNTxと同じような上昇、下降をたどっていた。骨は骨基質にCaやPのようなミネラルが付着してできていることから、P-uは運動により骨基質とともに代謝されると考えられ、そのためNTxとほぼ同様の変動を示したと考えられる。今回の結果から、同一対象で同一運動を異なる走行路面でおこなうと、硬い走行路面で骨に対する影響が大きく、走行路面の相違が骨吸収に与える影響も異なることが示唆された。走行路面の違いが骨吸収に影響を与えることから、骨量増加や疲労骨折の予防において、適切な走行路面の選択がアスリートだけでなく一般ランナー、若年者、高齢者の運動指導をおこなう上で重要であると考えられた。

本研究では、採尿から骨吸収マーカーであるNTxと骨成分であるCa-uとP-uのみを測定した。山口<sup>30)</sup>は骨芽細胞の分化を調整するホルモンである副甲状腺ホルモン(PTH)、ビタミンD、エストロゲン、グルココルチコイドおよび骨原細胞から骨芽細胞の分化に関与するアルカリフォスファターゼ(ATP)も関係しているとしている。今回の測定では、骨吸収による影響しか知ることができなかった。そのため、骨の形成状態、骨形成速も示すことができなかった。骨形成は骨吸収により誘導されるため、最も骨吸収に影響があった道路

で走運動が骨形成に対しても影響が大きいと推測される。しかし、今回の測定だけでは判断することができなかった。

今後は、走行路面の硬さによる骨の影響を骨吸収だけでなく骨形成についても測定を行い、長期的に比較することに加え、走運動に適した走行路面についての更なる検討を行う必要がある。なお今回の測定では、被験者に対し食事の制限を設けなかった。吉村<sup>33)</sup>は骨代謝マーカーはほとんど食事の影響をうけないとしているが、カルシウムやビタミンなどは骨代謝に対し影響を与えるため、測定前後で食事調査をおこなう必要もある。

さらに被験者の対象を広げること、硬さの異なる走行路面で運動後に異なる栄養を摂取し骨代謝の影響を検討することも必要である。

## V. 結 語

- A. 負荷した走運動により、骨吸収マーカーに変動が見られた。
- B. 長距離選手がトレーニングでおこなう走行路面では、硬い走行路面上での運動が骨吸収を促進する傾向が示された。
- C. 同一の種類で、同一の運動強度でも運動走路面の相違により骨吸収に与える影響が異なる可能性がある。
- D. 走運動に最適な走行路面について、さらに検討が必要である。

## 引用文献

- 1) N.Ashizawa, et al(1998):Effects of a Signal Bout of Resistane Exercise on Calcium and Bone Metabolism in Untrained Young Males. *Calcif Tissue International*, 62:104-108
- 2) K.L.Bennell, et al(1996):Risk Factors for Stress Fractures in Track and Field Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, Vol.24 No.6:810-817
- 3) K.L.Bennell, et al(1998):A 12-Month Prospective Study of the Relationship Between Stress Fractures and Bone Turnover in Athletes. *Calcified Tissue International*, 63:80-85,
- 4) K.L.Bennell, et al(2004):Ground Reaction Forces and Bone Parameters in Females with Tibial Stress Fracture. *Medicine & Science in Sports & Exercise*,397-404
- 5) K.L.Bennell, et al(1996):The Incidence and Distribution of Stress Fractures in Competitive Track and Field Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, Vol.24 No.2:211-217
- 6) H.M.Frost(1998):Vital biomechanics:Prosed general concepts for skeletal adaptations to mechanical usage. *Calcif Tissue International*,42:145-156
- 7) H.M.Frost(1997):Why do long-distance runners not have more bone? A vital biomechanical explanation and an estrogen effect. *J.Bone Miner.Res*,15:9-16
- 8) H.M.Frost(1987):Bone“mass” andthe” mechanostat”. *Annat Rec*, 219:1-9
- 9) 萩野浩(2003):骨形成・骨吸収のメカニズムとメカニカルストレス. *臨床スポーツ医学*, Vol.20 臨時増刊号,東京:14-23
- 10) 石川誠一(2000):大腿骨骨幹部および脛上部骨折の病態と治療. *関節外科*, Vol.19 No.6:71-80
- 11) S.L.James, et al(1987):injuries to runners. *The American Journal of Sports Medicine*, Vol 6 :40-50
- 12) 小山由喜(2002):足（中足部、前足部、足底部）のオーバーユース症候群、*MB ORthop*,15(6):51-56
- 13) G.O.Matheson et al(1987):Stress fractures in athletes.A study of 320 case. *The American Journal of Sports Medicine*, Vol 15 :46-58
- 14) 森論史(2003):骨の細胞、構造と疲労. *臨床スポーツ医学*, Vol.20 臨時増刊号,東京:2-13
- 15) 向井直樹ら(1999):長距離走に伴う骨代謝マーカーの変動. *体力科学*,48:179-186
- 16) 武藤芳照ら(1990):スポーツと疲労骨折. *南光堂*, 東京:1-33
- 17) 永島正紀(2004):疲労骨折と性格. *臨床スポーツ医学*, Vol.21 No.12:1375-1376
- 18) 大藪恵一(2003):ビタミンDの作用と骨疾患. *最新医学*,58 巻 11 号:49-55(2651-2657)
- 19) 太田美穂ら:疲労骨折の臨床的特徴およびスポーツ活動との関連、*関節外科*, Vol.19 no.6:680-692
- 20) 大槻伸吾ら(1997):シンスプリントと下腿疲労骨折. *関節外科*, Vol.16 No.6:634-641
- 21) 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*, Vol.20 臨時増刊号,東京:41-48
- 22) 櫻庭景植ら(2004):下肢の疲労骨折-MRI および骨代謝マーカーを中心に-. *日本臨床スポーツ医学* 会誌, Vol.12 No.3:385-392
- 23) 鈴木清ら(1995):2.骨吸収マーカー-4.NTx. 骨代謝マーカー. *メディカルレビュー社*,東京:171-181

- 24) 柴田優子ら(2001):運動負荷が骨代謝に及ぼす影響.体力科学,50:794
- 25) W.D.Stanish(1984):Overuse injuries in athletes -Aerspective. Medical Science and Sport Exercise,Vol 16 :1-7
- 26) K.Thosen,et al(1996):The effects of Brisk Walking on Markers of Bone and Calcium Metabolism in Postmenopausal Women. Calcif Tissue International, 58:221-225
- 27) 鳥居俊(1995):女子陸上競技選手の骨塩量値からみた健康管理上の諸問題.臨床スポーツ医学,Vol.12 No.12:1431-1434
- 28) 内山英司(2003):疲労骨折の疫学.臨床スポーツ医学,Vol.20 臨時増刊号,東京:92-98
- 29) Vill-Valteri Valimaki et al(2005): Risk factors for clinical stress fractures in male military recruits:A prospective cohort study. Bone,37:267-273
- 30) 山口朗(1995):1.骨代謝-1.骨形成.骨代謝マーカー.メディカルレビュー社,東京:27-37
- 31) Yamazaki Satoshi et al(2004):Effect of walking exercise on bone metabolism in postmenopausal woman with osteopenia/osteoporosis. Journal of Bone and Mineral Metabolism 22:500-508
- 32) 横江清司(1989):スポーツと靴、整形外科と災害外科,32: 447-453
- 33) 吉村典子(1995):2.骨代謝マーカーの測定値に影響を与える要因-骨粗鬆症における生化学的骨代謝マーカーの使用に関する方針書より-.骨代謝マーカー.メディカルレビュー社,東京:77-92