

運動選手における睡眠及びマットレスの種類が筋硬度に及ぼす影響 The effect of sleep and different types of mattresses on muscle hardness in athletes

米津貴久¹⁾, 佐保泰明²⁾, 大平正軌³⁾, 広瀬統一⁴⁾, 福林徹⁴⁾

¹⁾ 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

²⁾ 帝京大学医療技術学部

³⁾ 流通経済大学サッカー部

⁴⁾ 早稲田大学スポーツ科学学術院

Takahisa Yonezu¹⁾, Yasuaki Saho²⁾, Masaki Ohira³⁾, Norikazu Hirose⁴⁾, Toru Fukubayashi⁴⁾

¹⁾ Graduate school of Sport Sciences, Waseda University

²⁾ Department of medical technology, Teikyo University

³⁾ Ryutsukeizai University Soccer club

⁴⁾ Faculty of Sport Science, Waseda University

キーワード: 筋硬度, エラストグラフィ, 睡眠, 主観的コンディション評価

Key words: muscle hardness, elastography, sleep, the evaluation of subjective condition

抄 録

スポーツ選手が競技パフォーマンスを維持する上で、筋を適正な状態に維持することは重要である。そのための方法のひとつに睡眠環境の適正化が挙げられる。特にマットレスの硬さは睡眠時の身体アライメントの変化に影響することから、筋の状態を維持する上で重要な要素であると考えられる。しかし、睡眠時のマットレスの硬さの違いが身体へ与える影響について、スポーツ選手を対象にした研究はこれまでにない。そこで本研究はスポーツ選手を対象に、睡眠時のマットレスの硬さの違いが筋の状態(筋硬度)に与える影響を検討することを目的とした。

被験者は大学男子サッカー選手 8 名とした。測定項目は筋硬度(超音波診断装置, エラストグラフィモード使用)とした。測定部位は脊柱起立筋, 腹直筋, 内側広筋とし, 就寝前及び起床後で比較した。また, 睡眠時に材質及び特徴の異なる 5 種類のマットレスを使用し, 毎週睡眠時に使用するマットレスを変更した。

筋硬度は脊柱起立筋では就寝前と比較して起床後に有意な筋硬度上昇を認めた(週前半 就寝前: 0.556 ± 0.180 (AU), 起床後: 0.447 ± 0.188 (AU); 週後半 就寝前: 0.511 ± 0.180 (AU), 起床後: 0.441 ± 0.140 (AU), $P < 0.01$)。また, マットレスの種類による影響は就寝前の値を基準とした相対値評価の結果, 週前半の内側広筋において, マットレス B と E の 2 種類で, 就寝前と比較して起床後に有意な筋硬度上昇を認めた(マットレス B: 0.790 ± 0.168 , マットレス E: 0.799 ± 0.225 , $P < 0.05$)。マットレス B は今回使用したものの中で最も硬く, またマットレス E は最も軟らかい素材であった。このことから, マットレスの硬さが硬い場合及びやわらかい場合, 内側広筋の筋硬度を上昇させる可能性があると考えられる。以上より, 睡眠により脊柱起立筋の筋硬度は上昇し, マットレスの違いは筋硬度に影響を与える可能性があることが示唆された。

スポーツ科学研究, 12, 38-47, 2015年, 受付日: 2014年5月1日, 受理日: 2015年3月21日

連絡先: 米津貴久 359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15

早稲田大学スポーツ科学研究科 福林研究室

I. 緒言

アスリートは、よりよい状態で練習や試合に臨めるよう、日々コンディション調整を行っている。特に筋は力発揮などを行う上で重要である。そのため、アスリートは、疲労等によって変化した筋を、様々な手法によって適切な状態に維持するよう努めている。その手法として、筋に直接働きかけるマッサージやストレッチが一般的に用いられている。これらの方法以外にも、睡眠は身体面及び精神面の両方に影響し、怪我の治癒や疲労回復を促進させる効果があることが知られている(Hsu and Lin, 2005)。実際に睡眠は1日のうち3分の1から4分の1という長時間を占めており、人間にとって必要不可欠なものである。

快適な睡眠をとるうえで睡眠環境を整えることは重要であり、その中でも直接身体に影響を及ぼすマットレスは特に重要である。このことは寝具の快適さや寝具の機能である寝姿勢の保持が睡眠の質や睡眠効率と関係していること(Addison et al., 1986)、寝具のひとつであるマットレスが腰痛と関連することを指摘されていることから明らかである。マットレスの硬さと腰痛の関連性に関する先行研究では、中程度の硬さのマットレスが腰痛を軽減すること(Kovacs et al., 2003)が報告されているのに対し、やわらかいマットレスは腰痛を引き起こすと報告されている(Koul et al., 2000)。実際に整形外科医を対象に行ったアンケート調査の結果では、回答者の95%がマットレスと腰痛に関連があると回答しており、さらに回答者の75%が腰痛軽減のために硬いマットレスを推奨していると報告されている(Levy and Huton, 1996)。腰痛とマットレスの間に関連がある理由として、脊椎のアライメントが考えられる。Leilnahariらは異なる硬さのマットレスの上で側臥位にさせた場合、マットレスの硬さによって脊椎のアライメントが異なることを明らかにした(Leilnahari et al., 2011)。痛みの評価について、先行研究では睡眠時における腰部の痛みを主観的評価であるVisual Analog Scale (VAS)で評価している(Jacobson et al., 2009, 2010; Kovacs et al., 2003)。しかし、VASの評価はあく

までも主観的評価であり、部位や痛みの評価に関して個人差が大きいという問題点がある。

一方、筋などの軟部組織の状態は、古くからその硬さを測定することで評価されてきた。筋の硬さは計測手法によって異なることから、本研究では皮膚上から筋に対して垂直方向にかけられた押圧力に対する抵抗を筋硬度と定義した(木下と宮川, 2006; Murayama et al., 2012)。現在までに幅広く使用されている計測装置は押し込み式筋硬度計であり、筋に対して垂直に測定装置を当てることよって生じた反発力を計測するものである(Horikawa et al., 1993; Murayama et al., 2000, 2005, 2012; 肥田と天野, 2010; Yonezu and Kogure, 2013)。さらに近年、超音波画像診断装置を利用したエラストグラフィ法を用いた筋硬度の計測が行われている(Edy et al., 2013; Lacourpaille et al., 2014; Nordez et al., 2008, 2009; Yanagisawa et al., 2009; 柳澤ら, 2009)。エラストグラフィは計測技法によってタイプが異なるが、compressionタイプは硬さ情報を広範囲かつリアルタイムに観察でき、高い信頼度で筋硬度を測定できるという特徴を有している(三竹ら, 2006; 香西, 2012)。筋硬度と運動に関する先行研究として、運動後に筋硬度が上昇することが多く報告されている(Murayama et al., 2000; 孫ら, 2008; 内藤, 1958; Yanagisawa et al., 2011; 柳澤ら, 2011)。これは一般的に筋が張っていると表現されるものであり、疲労によって変化する筋の状態を把握するために有用な情報であると考えられる。しかしながら、現在までに現場レベルでエラストグラフィを用いて筋のコンディションを評価した研究はなされていない。

以上より、筋硬度はアスリートの筋の状態を反映し、それは睡眠によって変化する可能性がある。また、マットレスの硬さの違いは就寝前後の筋硬度変化に影響を及ぼす可能性がある。そこで本研究では硬さや材質の異なる5種類のマットレスを用い、それらが筋に及ぼす影響を検討した。尚、本研究の仮説は、Leinahariら(2011)の報告から、睡眠中の負荷は脊椎に最もかかると考えられるこ

とから脊柱起立筋は就寝前後で筋硬度が硬くなること, また睡眠は運動によって引き起こされた身体の損傷の治癒を促進する側面があることから (Hsu and Lin, 2005), 競技特性に関係すると思われる内側広筋の筋硬度が就寝前後でやわらかくなることとした。また, マットレスの影響について, 適度な硬さのマットレスは筋硬度を改善させる効果があるとした。

II. 方法

1. 被験者

大学男子サッカー部に所属する健常者 8 名 (年齢: 19.0 ± 0.0 歳, 身長: 171.6 ± 3.3 cm, 体重: 64.2 ± 5.7kg, 平均値 ± 標準偏差) を対象とした。本研究は早稲田大学人を対象とする研究に関する研究等倫理審査委員会の承認を得た (承認番号: 2012-285)。また, 被験者には事前に本研究の概要を説明し, 書面による同意を得た。なお, 実験開始前 3 ヶ月以内に下肢に傷害を負ったもの, 慢性腰痛や睡眠障害を有するものは除外した。

2. 測定項目

本研究における測定項目及びその詳細は下記のとおりである。

1) 筋硬度

超音波画像診断装置 (EUB-7500, 日立メディコ社製, 東京) に搭載されているエラストグラフィモードを利用し, 右側内側広筋 (膝蓋骨上端より内側方向へ斜め 45 度の角度で 3 横指上方), 腹直筋 (臍部より 2cm 上方, 2cm 右側方), 脊柱起立

筋 (第 3 腰椎棘突起より 3cm 右側) を対象部位として測定した。筋硬度は音響カプラー (L65 用音響カプラー, 日立メディコ社製, 東京) を参照体として用い, 対象部位の硬度をカプラーの硬度で除すること (対象部位の硬度 / カプラーの硬度) で半定量的に対象部位の Strain Ratio (単位: AU) を算出した (図 1)。また, 本研究で用いたエラストグラフィはひずみの大きさによって硬さを評価しており, Strain Ratio が大きいほど組織がやわらかく, 小さいほど組織が硬いことを示している。そのため本研究では値の変化が負となるものを筋硬度上昇 (硬くなった), 正となるものを筋硬度低下 (やわらかくなった) と定義した。

エラストグラフィ画像を撮像する際, プローブをリズミカルに圧迫することで生体内にひずみを生じさせる必要がある。この時の圧迫加速度を脊柱起立筋及び内側広筋では 3, 腹直筋では 4 とした。腹直筋で数値が異なるのは, 呼吸に合わせてプローブを操作する必要があったため, 最も安定して撮像出来た値を採用したためである。また, 関心領域 (Region of Interest : ROI) の設定を参照体は全体を, 内側広筋及び腹直筋は筋全体を, 脊柱起立筋については深部が不鮮明であったため, 脂肪層下端から 5mm 程度を範囲とした。撮像した画像からランダムに 3 枚選択し, 各画像の Strain Ratio の平均値を筋硬度として採用した。なお, 単位は任意単位である。各筋における日内再現性 (ICC (1,3)) は内側広筋: 0.977, 腹直筋: 0.869, 脊柱起立筋: 0.896, 日間再現性 (ICC (2,3)) は内側広筋: 0.818, 腹直筋: 0.848, 脊柱起立筋: 0.882 であった。

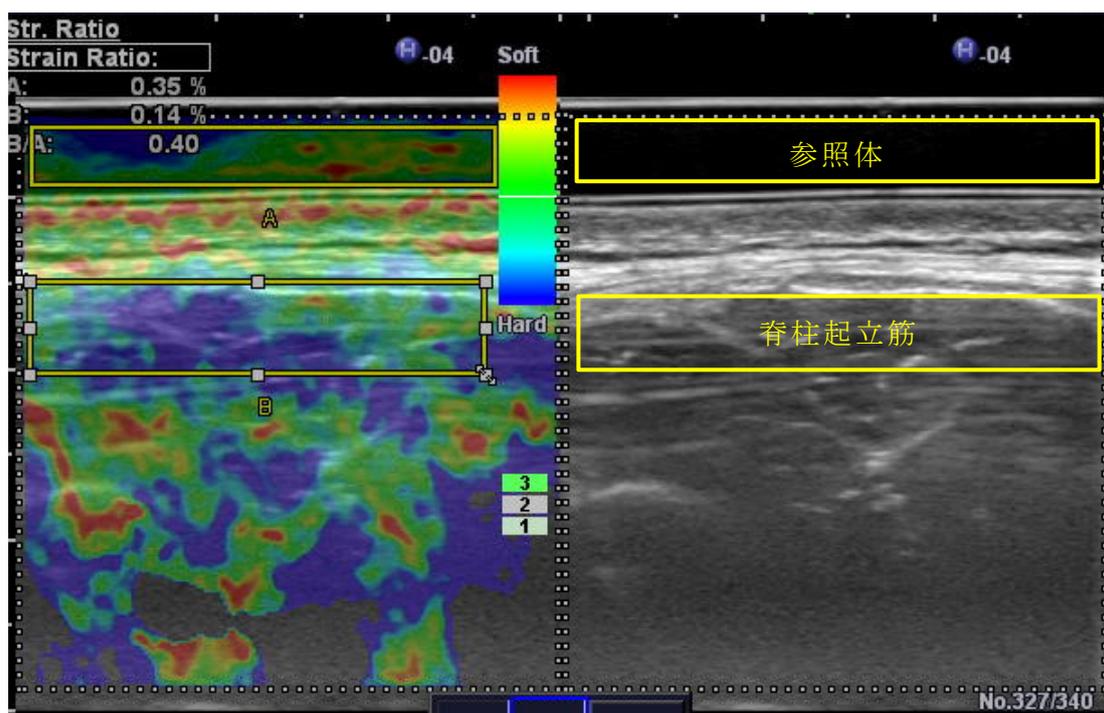


図 1. エラストグラフィ画像典型例 A:参照体, B:測定部位をROI(Region of Interest:関心領域)で囲んでいる. ROI部分の Strain Ratio の値が左上に表示されており, 測定部位の値を参照体の値で除した値を筋硬度の値として用いた.

2) 睡眠時間

本研究では睡眠を 1 日周期で繰り返される生理的な自我意識の喪失と定義した(川村, 1998; 本間と橋本, 2010). また, 睡眠時間を計測するため, 被験者は就寝時に体動計 (Liferecorder GS/Me, 株式会社スズケン製) を装着した. 被験者が体動計のスイッチ操作を就寝前及び起床後に行い, 起床後の筋硬度計測時に体動計を提出した. その後 PC 上にて専用ソフトを用いて解析を行った. さらに, 参考データとしてアンケート

に就寝及び起床時間を記入させ, これらを照合することで睡眠時間を求めた.

3. 実験手順

測定に関わる 1 週間の流れの概略図を図 2 に表した. チームのトレーニングスケジュールは月曜日が練習休止日であり, トレーニングは日中に行われた. この点に留意し, 測定時期を週前半は火曜日夜から水曜日の朝, 週後半は土曜日夜から日曜日朝と設定した.



図 2. 計測時期及びマットレス交換時期の概略図

測定は 5 週間行い, 被験者は週毎に割り当てたマットレスを 1 週間使用した. また, マットレスの使用は月曜日夜からとした.

本研究では材質やマットレスの構成が身体に及ぼす影響を検討するために, 5 種類のマットレスを使用した(表 1).

表1. 使用マットレス記号、構成素材、特性、圧縮弾性率一覧

マットレス記号	構成素材	特性	圧縮弾性率(%)
A	上層：ウレタン 下層：ポリエステル	・上層部で体圧分散、ベース部で体を支える ・下層部で湿気を拡散	17
B	極細繊維状樹脂素材	・高い復元性 ・高い通気性	10
C	ポリエステル	・多くの突起によって体圧を分散 ・独立ブロックで身体保持 ・高いクッション性で身体にフィット	29
D	ポリエステル	・独立したループ状スプリングで体圧を分散 ・高い復元性 ・高い通気性	20
E	低反発素材 ウルトラ ヴィスコエラスティック	・低反発ウレタンにより体圧分散	44

被験者には長時間の入浴や、練習後のクールダウン以外でのストレッチング、マッサージといった筋硬度に変化を及ぼす可能性のある行動を制限した。また、夜間の睡眠時間を確保するため、日中に睡眠を行わないよう指示した。さらに、室温は測定室及び寝室共に23度に設定した。これらは実験開始前に書面及び口頭にて指示するとともに、実験期間中は測定室内の張り紙及び適宜声掛けを行うことによって注意喚起を促した。

4. 統計解析

統計解析には SPSS for windows version 21(SPSS Japan, 日本)を使用した。記述統計は全て平均±標準偏差で表記した。

睡眠時間は、1週間を週前半及び週後半に分割し、週前半及び後半それぞれでマットレスごとの睡眠時間を比較するために、それぞれで対応のある一元配置分散分析を行った。

睡眠による筋硬度変化は1週間を週前半及び

週後半に分割し、それぞれで対応のあるt検定を用いて各筋の就寝前後の筋硬度を比較した。

マットレスごとの比較は、週前半及び週後半に分割して行い、さらに被験者内のばらつきを補正するために就寝前の筋硬度の値を1.000とした相対値評価で起床後の値を示した。その後、測定時期(就寝前, 起床後:2)×マットレス(マットレスラベル A~E:5)の二元配置分散分析を行い、事後検定としてBonferroni検定を行った。有意水準については全て危険率5%未満とした。

III. 結果

平均睡眠時間は5時間42分±53分であった。また、表2はマットレスごとの睡眠時間を表している。マットレス間の睡眠時間の違いは週前半及び後半のいずれにおいても有意な差を認めなかった(週前半:F(4,28)=2.111, $P > 0.05$; 週後半:F(4,28)=0.924, $P > 0.05$)。

表2. マットレスごとの睡眠時間

マットレスラベル	睡眠時間	
	週前半	週後半
A	6時間0分±27分	5時間40分±1時間1分
B	5時間51分±48分	5時間32分±57分
C	6時間2分±34分	4時間58分±57分
D	6時間4分±45分	5時間43分±31分
E	5時間32分±34分	5時間38分±1時間21分

睡眠による筋硬度変化は、脊柱起立筋で週前半(就寝前:0.556±0.180 (AU), 起床後:0.447±0.188 (AU), $t(39)=3.888, P < 0.01$)及び週後

半(就寝前:0.511±0.187 (AU), 起床後:0.441±0.140 (AU), $t(39)=2.689, P < 0.05$)共に、就寝前と比較して起床後に有意な筋硬度上昇を示し

た(図 3). しかし, 腹直筋及び内側広筋に有意な 変化を認めなかった ($P > 0.05$).

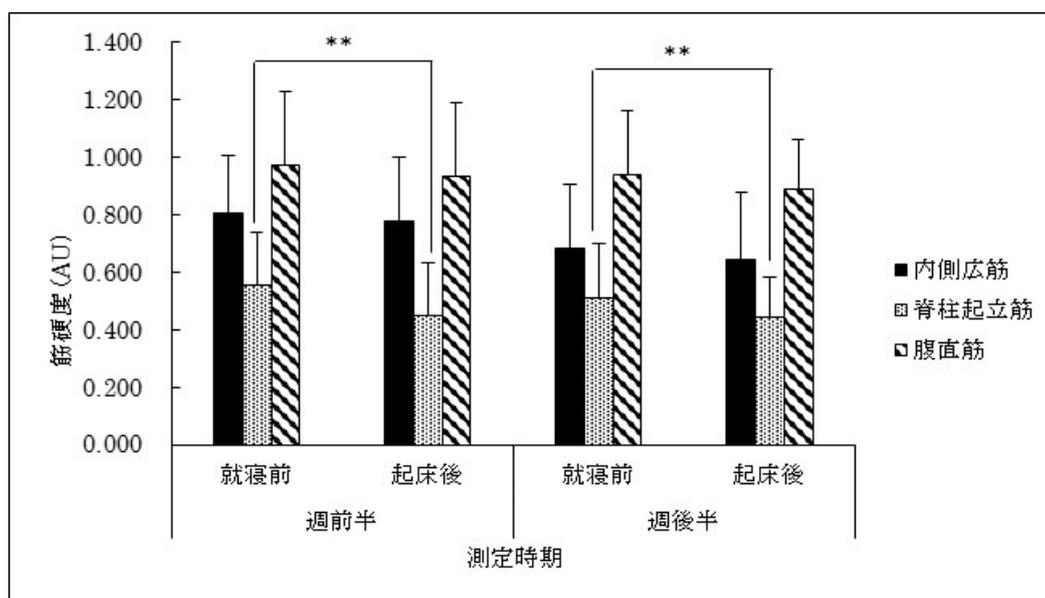


図 3. 就寝前及び起床後の筋硬度(平均±標準偏差, **: $P < 0.01$). 脊柱起立筋は, 週前半及び週後半ともに就寝前と比較して, 起床後の筋硬度は有意に上昇した.

マットレスごとの筋硬度変化を比較した結果は, 週前半の内側広筋で交互作用を認めなかったものの, 測定時期に主効果を認め($F(4,28) = 4.869$, $P = 0.005$), マットレス B 及びマットレス E で就寝前と比較して起床後に有意な筋硬度上昇を示した(マットレス B: 0.790 ± 0.168 , マットレス E: 0.799

± 0.225 , $P < 0.05$) (図 4). ただし, 腹直筋及び脊柱起立筋は週前半及び週後半において有意な変化を認めなかった ($P > 0.05$) ものの, 脊柱起立筋では週前半に測定時期で主効果の有意な傾向があった($F(4, 28) = 4.441$, $P = 0.080$).

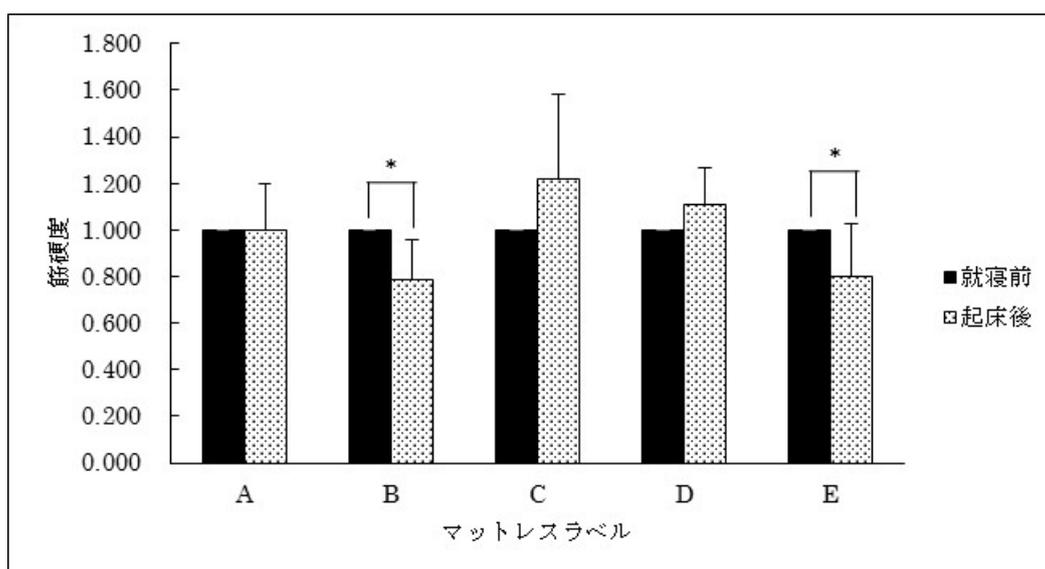


図 4. 週前半における起床後の内側広筋の筋硬度変化. 就寝前の値を 1.000 とした相対値評価を行った. マットレス B と E において就寝前と比較して有意に筋硬度が上昇した (*: $P < 0.05$).

IV. 考察

本研究では睡眠及びマットレスの種類の違い

が筋硬度へ与える影響を検討した. その結果, 睡眠によって脊柱起立筋の筋硬度が有意に上昇す

ることが明らかとなった。さらに、マットレス別に筋硬度の変化を比較した結果、内側広筋で週前半にマットレス B(最も硬いマットレス)と E(最もやわらかいマットレス)で、有意な筋硬度上昇を示した。

就寝前後で脊柱起立筋の筋硬度が変化した理由として2つの可能性が考えられる。第一に脊椎周囲の組織的变化によるものである。先行研究において、睡眠時の脊椎への荷重負荷は軽度であることから椎間板が組織液を吸収することで膨張し、その結果椎間板が長軸方向に伸びるため椎間板の線維の緊張が大きくなるという報告がある(Botsford et al., 1994)。さらに、Adamsらは椎間板の高さがクリープ荷重によって午前よりも午後に低くなると報告している(Adams et al., 1987)。また、脊椎の柔軟性に関する日内変動では、腰椎の屈曲角度は朝に最低値を示し、その後時間の経過と共に変化し、16 時頃に最高値を示すとされている(Gifford, 1987)。以上のことから、椎間板周囲の組織には日内変動があり、その中でも起床時あるいは朝に椎間板が最も膨張し、周囲の組織の緊張が高いことが推察される。第二に、筋の不動化による影響が考えられる。これは寝姿勢の保持によって筋の不動化が起こり、アクチンとミオシンの間に安定的な結合を作り出しているとされている(Hill, 1968)。このことが筋硬度上昇に変化を与えていると考えられる。以上より、睡眠中の筋硬度変化が生じる要因として、睡眠中の椎間板の組織的变化または筋の不動、あるいはその両方によって筋緊張が生じたことで、就寝前と比較して起床後に有意な筋硬度上昇を引き起こしたのではないかと考えられる。

次にマットレスの違いによる筋硬度の変化についてであるが、有意な変化を認めたのは内側広筋で、マットレス B と E を用いた場合に週前半の筋硬度が上昇した。マットレスが身体に及ぼす影響を検討した先行研究では、主に腰背部に着目したものが取り上げられてきた。これは、マットレスの役割が睡眠中の姿勢を保持することが理由のひとつであったと考えられる。睡眠中の姿勢は、脊椎を中心に見た場合、生理的彎曲を維持していない(Leilnahari et al., 2011)ため脊椎や椎間板に負荷がかかることや、腰背部の落ち込みが

大きいことから腰背部への影響が主に検討されてきたと推察される。今回の実験では測定対象を腰背部だけでなく、同じ体幹部の腹直筋、そして競技特性を踏まえ、下肢筋で比較的筋体積の大きい内側広筋を対象とした。これらの測定部位の中で内側広筋のみ筋硬度の変化を認めた。これは主に練習の負荷が下肢に影響したものと考えられる。塩田は陸上競技選手を対象に合宿期間中の下腿筋硬度を継続的に計測した結果、合宿期間経過とともに腓腹筋内側頭の筋腹と筋腱移行部付近の硬度が有意に上昇したことを示している(塩田, 2014)。このことから筋内部では、両極端な硬さのマットレスを用いた睡眠は、運動によって引き起こされた筋疲労の影響を取り除くことが出来なかった可能性がある。また、腰背部に着目した先行研究によると、やわらかいマットレス(Koul et al., 2000)や、過度に硬いマットレス(Kovacs et al., 2003)では腰部の痛みが悪化したという報告がなされている。しかし、今回は内側広筋で筋硬度が有意に上昇していた。腰痛の主訴として筋の張りが含まれており、やわらかいマットレスや過度に硬いマットレスでは腰痛を悪化させるとされている。このことから腰背部の筋はマットレスによって筋緊張を引き起こす可能性があったが、本研究の結果からその他の筋に対しても影響を及ぼす可能性があることを示唆した。

エラストグラフィの再現性は、日内及び日間で ICC は 0.818 - 0.977 と高い値を示した。従来用いられていた押し込み式筋硬度計は、深部に存在している筋や骨の影響を避けられないことや、押し込むことで評価される部分が表層に留まることが問題点とされている。しかし、超音波エラストグラフィでは超音波画像を用いるため、生体内の情報を得られる点が従来の計測法よりも優れている。今回の計測では筋内部の硬さ情報を得ることが出来ていたことに加え、高い再現性を有していたことから、本研究の計測に関しては問題なかったものと考えられる。

本研究の限界点として、介入期間と生活習慣、対象者数の3点が挙げられる。まず、介入期間であるが今回は日程の都合上、各マットレスの使用は1週間であった。先行研究では4週間から90

日間(Jacobson et al, 2009, 2010;Price et al, 2003;Kovacs et al., 2003)と比較的長期間に亘って実験を行っていた。また, 先行研究では新しい寝具への適応に最低でも 5 日間必要であるとの指摘もある (Bader and Engdal, 2000)。今回の研究で5日目にマットレス間の有意な変化が認められなかった理由は, 一時的に身体がマットレスに順応した結果である可能性がある。長期間継続的に調査を行った場合, 一時的に順応した後の変化も観察することが出来ることから, 先行研究を基にして考えた場合, 過度に硬いマットレスとやわらかいマットレスでは, 今回有意差を認めた内側広筋以外に, 腰背部の筋硬度も上昇した可能性があるかと推察される。

次に生活習慣であるが, 本研究の対象者の食事時間及び練習時間は同一であったものの, 消灯時間やその他の日常生活の行動は必ずしも一定ではなかった。また, トレーニング内容によって運動負荷も異なる。これらの条件を統一した検討も今後必要であると考えられる。

最後に対象者であるが, 測定時間の都合から被験者を増やすことが出来なかった。これは起床後の筋硬度が時間経過とともに変化する可能性を考慮したため, 待機時間を含め必要以上に時間を要することが出来ない事情があった。以上の理由により, 大人数を対象とした実験介入を行うことが出来なかった。

V. 結論

本研究は睡眠及びマットレスの違いが筋硬度へ与える影響を検討することを目的とした。その結果, 睡眠そのものは脊柱起立筋の筋硬度を有意に上昇させ, マットレス間の比較では, 最も硬いマットレスとやわらかいマットレスを用いた場合, 週前半において内側広筋で就寝前と比較して起床後に有意な筋硬度の上昇を示した。ただし, 測定期間が短かったことから, 長期間調査を行うことにより, マットレスの特性をより反映した結果を示す余地がある。

VI. 謝辞

本研究遂行にあたり, 私立流通経済大学サッ

カー一部手呂内勝政氏及び所属選手, 古川雅嗣氏に御協力いただきましたこと深く感謝申し上げます。また, 本研究は西川産業株式会社からの受託研究として行った。

VI. 引用文献

- Adams M. A., Dolan P., Hutton W. C. (1987) . Diurnal variations in the stresses on the lumbar spine. *Spine (Phila Pa.1976)*, 12(2), 130-137.
- Addison RG, Thorpy MJ, Roth T. (1986) . A survey of the United States public concerning the quality of sleep. *J.Sleep Res.*, 16, 244.
- Arroyo-Morales M., Olea N., Ruíz C., del Castillo Jde D, Martínez M., Lorenzo C., Díaz-Rodríguez L. (2009) . Massage after exercise-responses of immunologic and endocrine markers: a randomized single-blind placebo-controlled study. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(2), 638-644.
- Bader G. G., Engdal S. (2000) . The influence of bed firmness on sleep quality. *Appl.Ergon.*, 31(5), 487-497.
- Botsford D. J., Esses S. I., Ogilvie-Harris D. J. (1994) . In vivo diurnal variation in intervertebral disc volume and morphology. *Spine (Phila Pa.1976)*, 19(8), 935-940.
- Cortis C., Tessitore A., D'Artibale E.,Meeusen R.,Capranica L. (2010) . Effects of post-exercise recovery interventions on physiological, psychological, and performance parameters. *Int.J.Sports Med.*, 31(05), 327-335.
- Edy S. F., Song P., Chen S., Chen Q., Greenleaf J. F., An K. N. (2013) Validation of shear wave elastography in skeletal muscle. *J. Biomech.*, 46(14), 2381-2387
- Eston R., Peters D. (1999) . Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *J.Sports Sci.*, 17(3), 231-238.
- Gifford L. S. (1987). Circadian variation in human flexibility and grip strength. *Aust. J.*

- Physiotherapy*, 33(1), 3-9
- Hill D.K.(1968). Tension due to interaction between the sliding filaments in resting striated muscle. The effect of stimulation. *The Journal of Physiology*, 199(3), 637-684
 - 本間研一, 橋本聡子(2010). 睡眠の神経生理学(特集睡眠障害の最新の知識)-(睡眠障害臨床の基礎知識). *臨床精神医学*, 39(5), 493-497
 - Horikawa M., Ebihara S., Sakai F., Akiyama M.(1993). Non-invasive measurement method for hardness in muscular tissues. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 31(6), 623-627
 - Hsu Hsiu-Chin, Lin Mei-Hsiang (2005) . Exploring quality of sleep and its related factors among menopausal women. *Journal of Nursing Research*, 13(2), 153-164.
 - Jacobson B. H., Boolani A., Dunklee G., Shepardson A., Acharya H. (2010) . Effect of prescribed sleep surfaces on back pain and sleep quality in patients diagnosed with low back and shoulder pain. *Appl.Ergon.*, 42(1), 91-97.
 - Jacobson B. H., Boolani A., Smith D. B. (2009) . Changes in back pain, sleep quality, and perceived stress after introduction of new bedding systems. *Journal of chiropractic medicine*, 8(1), 1-8.
 - 川村浩(1998). 【睡眠障害】睡眠に関する基礎的事項 睡眠・覚醒リズムの生理学. *日本臨床*, 56(2). 277-284
 - 木下裕光, 宮川俊平(2006). 筋のタイトネスとストレッチ. *体育の科学*, 59(6), 710-713
 - 肥田朋子, 天野幸代(2010). 筋硬度計による生体の硬さ測定-再現性と妥当性と有用性-. *名古屋学院大学論集人文・自然科学編*, 46(2), 55-61
 - Koul P. A.,Bhat M.H., Lone A.A.,Koul A.N., Wahid A. (2000) . The foam mattress-back syndrome. *J.Assoc.Physicians India*, 48(9), 901-902.
 - 香西和久(2012). 組織の硬さの違いを画像化する「Real-time Tissue Elastography」. *超音波検査技術*, 37(4), 344-348
 - Kovacs F. M.,Abraira V., Peña A., Martín-Rodríguez J. G., Sánchez-Vera M., Ferrer E., Ruano D.,Guillén P.,Gestoso M., Muriel A.(2003) . Effect of firmness of mattress on chronic non-specific low-back pain: randomised, double-blind, controlled, multicentre trial. *The Lancet*, 362(9396), 1599-1604.
 - Lacourpaille L., Nordez A., Hug F., Couturier A., Dibie C., Gulhem G. (2014) Time-course effect of exercise-induced muscle damage on localized muscle mechanical properties assessed using elastography. *ActaPhysiologica.*, 211(1), 135-146
 - Leilnahari K.,Fatourae N.,Khodalotfi M.,Sadeghein M.A., Kashani Y.A. (2011) . Spine alignment in men during lateral sleep position: experimental study and modeling. *Biomed.Eng.Online*, 10, 103-925X-10-103.
 - Levy H., Hutton W. C. (1996) . Mattresses and sleep for patients with low back pain: a survey of orthopaedic surgeons. *J.South.Orthop.Assoc.*, 5(3), 185-187.
 - 松原貴子, 新井健一, 牛田享宏 (2008) . 【運動器疾患の病態・整形外科的治療と理学療法プログラム】筋・筋膜性腰痛症の理学療法プログラム. *理学療法*, 25(1), 71-75.
 - 三竹毅, 松村剛, 脇康治, 村山直之, 山本佳子(2006). Real-time Tissue Elastography技術の開発. *医用画像情報学会誌*, 23(2), 70-74
 - Murayama M.,Nosaka K.,Yoneda T.,Minamitani K. (2000) . Changes in hardness of the human elbow flexor muscles after eccentric exercise. *Eur.J.Appl.Physiol.*, 82(5-6), 361-367.
 - Murayama M., Yoneda T., KawaiS. (2005). Muscle tension dynamics of isolated frog muscle with application of perpendicular distortion. *Eur.J.Appl.Physiol.*, 93(4), 489-495
 - 村山光義, 植田史生 (2006) . LLLT とスポ

- ーツ科学の接点を探る 筋硬度評価の観点から LLLT と筋硬度評価. *日本レーザー治療学会誌*, 5(2), 65-68.
- Murayama M., Watanabe K., Kato R., Uchiyama T., Yoneda T. (2012). Association of muscle hardness with muscle tension dynamics: a physiological property. *Eur.J.Appl.Physiol.*, 112(1), 105-112
 - 内藤寛 (1958). 運動選手の筋硬度に関する研究. *体力科学*, 7(1), 1-13.
 - Nordez A., Gennisson J. L., Casari P., Catheline S., Cornu C. (2008) Characterization of muscle belly elastic properties during passive stretching using transient elastography. *J. Biomech.*, 41(10), 2305-2311
 - Nordez A., Guéval A., Casari P., Catheline S., Cornu C. (2009) Assessment of muscle hardness changing induced by a submaximal fatiguing isometric contraction. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(3), 484-491
 - Price P., Rees-Mathews S., Tebble N., Camilleri J. (2003). The use of a new overlay mattress in patients with chronic pain: impact on sleep and self-reported pain. *Clin.Rehabil.*, 17(5), 488-492.
 - 塩田徹 (2014). 陸上競技選手における強化合宿中のコンディション指標としての筋硬度測定の可能性. *スポーツ健康科学紀要*, 11, 29-38.
 - 孫崗, 宮川俊平, 木下裕光, 白木仁, 竹村雅裕, 向井直樹 (2008). 成長期女子サッカー選手における大腿四頭筋の筋硬度の試合前後の変化. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 16(1), 68-71.
 - Yanagisawa O., Niitsu M., Kurihara T., Fukubayashi T. (2011). Evaluation of human muscle hardness after dynamic exercise with ultrasound real-time tissue elastography: A feasibility study. *Clin.Radiol.*, 66(9), 815-819.
 - 柳澤修, 新津守, 栗原俊之, 福林徹 (2011). 超音波 Real-time Tissue Elastography による運動後の骨格筋硬度の評価. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 19(1), 132-136.
 - Yonezu T., Kogure S. (2013). The effect of low-level laser irradiation on muscle tension and hardness compared among three wavelengths. *Laser Ther.*, 22(3), 201-207