

低強度プライオメトリクスが運動性疲労後のジャンプパフォーマンスの回復に及ぼす影響

著者	玉城 俊介, 松永 須美子, 松永 智
雑誌名	宮崎大学教育文化学部紀要. 芸術・保健体育・家政・技術
巻	28
ページ	13-21
発行年	2013-03-29
URL	http://hdl.handle.net/10458/4514

低強度プライオメトリクスが運動性疲労後のジャンプパフォーマンスの回復に及ぼす影響

玉城俊介¹⁾ 松永須美子²⁾ 松永 智³⁾

The effect of Low-intensity Plyometric Exercise on the Recovery of Jump Performance after Fatiguing Exercise

Shunsuke TAMAKI¹⁾, Sumiko MATSUNAGA²⁾
and Satoshi MATSUNAGA³⁾

Abstract

This study examined the effects of low-intensity plyometric exercise on the recovery of jump performance after fatiguing exercise. For this purpose, 10 healthy male between 18 and 23 yrs of age participated in this study. Fatigue was induced by performing an exhausting standing calf raise by a load of 20% of the weight (avg. 468.6 ± 176.9 times). After fatiguing exercise, subjects performed low-intensity plyometric rebound jump using only plantar flexion for 30 seconds as quickly as possible. To examine jump performance, jumping test was performed at pre-fatiguing exercise and immediately after and 1, 2, 3, 24 and 48 hrs after plyometric exercise. Vertical jumps were performed at 135° of knee joint angle on a force platform by full strength. Maximum ground reaction force, reaction time to maximum force and flight time were measured from vertical force signal. Although there were no alteration in maximum ground reaction force and flight time, a significant shortening was observed in reaction time to maximum force performed by 135° of knee joint angle immediately after plyometric exercise. These results suggest that a probable candidate of effective recovery modalities is low-intensity plyometric exercise after exercise-induced fatigue

I. 緒言

スポーツ競技における、ジャンプや切り返し動作を含むステップやフェイント動作を含むカッティングなどは、瞬間のおよび爆発的なパワー発揮が要求される動作といわれている。「伸張=短縮サイクル(ストレッチ=ショートニングサイクル:以後SSCと略)運動」は、外力によって引き伸ばされた筋や腱(筋腱複合体)(concentric phase: コンセントリック局面)が、元に戻ろうとする時(eccentric phase: エキセントリック局面)に生じるエネルギー(弾性エネルギー)を用いることにより、運動効率を向上させる特性を有し^{1,2)}、上記のようなスポーツ局面で良く

¹⁾日南市立鉄肥小学校, ²⁾南九州短期大学 国際教養学科, ³⁾宮崎大学教育文化学部

見受けられる動作である^{3,4)}。SSCを用いた運動形態であるプライオメトリクスをトレーニング負荷することにより、下肢では疾走および跳躍能力が^{5,6,7)}、また上肢では遠投（飛距離、初速度、発揮パワー）、およびパス能力が向上することが明らかになっている^{8,9)}。一方、プライオメトリクスは、特にエキセントリック局面において連続して筋腱複合体に過剰な負荷負担を強い、筋や腱組織に部分的な断裂を引き起こすことが明らかとなってきている¹⁰⁾。さらに、発育期におけるプライオメトリクスの適用は、骨頭部位に存在する成長板の早期消失や、それに伴う上下肢の左右の骨長のアンバランスを誘発させ、骨の発育障害の一因であることが指摘されており⁴⁾、幼少年期の児童・生徒を対象としたプライオメトリクストレーニングの導入は、安全性や個人差に応じた発育・発達段階を十分に考慮する必要がある¹¹⁾。

筋疲労とは、筋収縮後の筋弛緩速度の遅延や筋の最大パワーが低下、あるいは筋が一定のパワーを継続して発揮できなくなる現象とされる¹²⁾。また、筋疲労によって運動パフォーマンスが低下することはよく知られている¹³⁾。それらの原因として、筋形質膜の興奮性の減退、横行小管から筋小胞体 (sarcoplasmic reticulum: 以後SRと略) カルシウムイオン放出チャンネル (Ca²⁺ release channel: 以後CRCと略) へのシグナルの伝達不良、CRCからのCa²⁺放出機能の低下、トロポニンのCa²⁺の感受性の低下、ミオシン頭部とアクチンによる筋原線維の収縮力の低下、およびSR Ca²⁺-ATPaseによるCa²⁺の取り込み能力の低下などが挙げられている¹³⁾。陸上競技、競泳、柔道、あるいは剣道のように1日のうちで複数回のトップパフォーマンス発揮が必要な競技者や指導者にとって、筋疲労からの素早い脱却、および回復促進策の開発が望まれている。

筋疲労の回復促進には、軽いジョギングやウォーキングなどの低強度の身体運動は、筋活動性由来の血中乳酸をはじめとした代謝性副産物の素早い除去^{14,15)}、さらに低強度の等張性収縮を伴う運動がATPの再合成を促すことから¹⁶⁾、筋機能の回復に効果的であることが明らかにされている。しかしながら、疾走および跳躍能力などに効果的なプライオメトリクス、特に低強度の一過性のプライオメトリクス運動が筋疲労の回復を促すか否かを検討したものを見当たらない。そこで、本研究では、プライオメトリクス運動に着目し、低強度の負荷運動が疲労した筋の機能回復に及ぼす影響について検討することを目的とした。そのために本研究は、「疲労した筋への低強度プライオメトリクスの負荷が筋機能の回復を促進する」とする仮説の検証に焦点を合わせた。

II. 研究方法

1. 被検者

被検者は宮崎大学に在籍する健常な男子大学生10名を対象とした(年齢 20.8 ± 1.7 歳、身長 168.8 ± 5.7 cm、体重 61.2 ± 5.0 kg) (Table 1)。

2. 筋疲労誘因性運動

下肢は上肢と比較して、筋量も多く、アキレス腱に代表される強い弾性エネルギーを発揮させることができる大きい腱組織を有し、さらに筋腱複合体における予備緊張が大きく、発揮で

Table 1 Physical characteristics of subject

Number of subjects	10
Age (yrs)	20.8 ± 1.7
Height (cm)	168.8 ± 5.7
Weight (kg)	61.2 ± 5.0
Body fat percentage (%)	11.6 ± 2.7

Values are \pm SD

きる筋力も大きい¹⁷⁾。そのため被検筋には下肢を選択し、下肢の中でも易疲労性の観点及び方法論的簡便さから下腿三頭筋を選んだ。実験プロトコルはFig.1に示した。筋疲労を生じさせる運動には、スタンディングカーフレイズを、負荷重量は自重の20パーセントに設定し行わせた¹⁸⁾。運動頻度は1分間あたり40回とし、それを疲労困憊に至るまで励まし行わせ、疲労困憊に至ったと自覚し、踵の挙上が不可能となった時点で終了させた¹⁹⁾。その平均反復回数は、 468.6 ± 176.9 回であった。

3. 低強度プライオメトリクス

低強度プライオメトリクス (plyometrics測定：測定P) には足関節底屈運動 (アンクルホップ) を30秒間 (60回) とし、リバウンド効果を高めるため素早く全力で跳躍するように行わせた²⁰⁾。その際、被検者には、手を腰に当てた立位姿勢で足関節のみを用いて行うように指示した。また本研究では、被検者には疲労運動後に低強度プライオメトリクスを負荷しない場合 (non-plyometrics測定：測定N) をも測定し、その行う順番は無作為とし、かつ両測定には1週間以上のインターバルを要した。被検者には、事前に本実験の概要と予想される危険性など被検者に十分な説明を行い、これに同意を得た上で実験を行った。

4. 測定項目

下腿三頭筋の筋機能を検討するために膝関節角度 135° での最大ジャンプ²¹⁾を、筋疲労誘因性の運動の前、運動直後、1、2、3、24、48時間後に3回ずつ行わせ、平均値を求めた。ジャンプを行う際に、上半身からの反動を利用させないため、手を腰に当てた状態で行わせた。筋機能の評価には、跳躍高、床反力、最大筋力発揮時間測定し、爆発的筋力の指数を計算した。

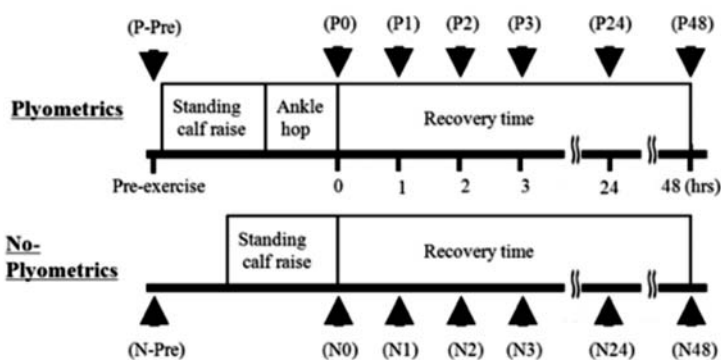


Fig. 1 Experimental protocol

(1) 跳躍高

跳躍高は、メジャーを用いた手製の跳躍高計測装置を用いて計測された。腰部ベルトにメジャーの一端を結び付け、他方を床面に置き、自由に引き出せる状態にした。そして膝関節角度 135° での最大ジャンプに伴い引き出されたメジャーを基に、跳躍に伴う床面からの距離を算出した。

(2) 最大床反力最大、筋力発揮時間および爆発的筋力の指数

最大床反力および最大筋力発揮時間は、フォースプレート（低床ロードセル式台秤、TEAC製）上にて、膝関節角度135°での最大ジャンプを科すことによって測定した。そのデータは、A/D変換器（Power-Lab, AD Instruments 社製）を介してパーソナルコンピュータに取り込み、解析ソフト（Chart5.11, AD Instruments 社製）を用いて床反力波形を得た。Fig.2は、その典型例を示した。それらを基に最大床反力を算出した。最大筋力発揮時間については、ジャンプ動作の開始時から最大筋力が発揮されるまでの時間とした。爆発的筋力の指数については、床反力波形から得られた最大床反力を最大筋力発揮時間で除すことにより算出した。

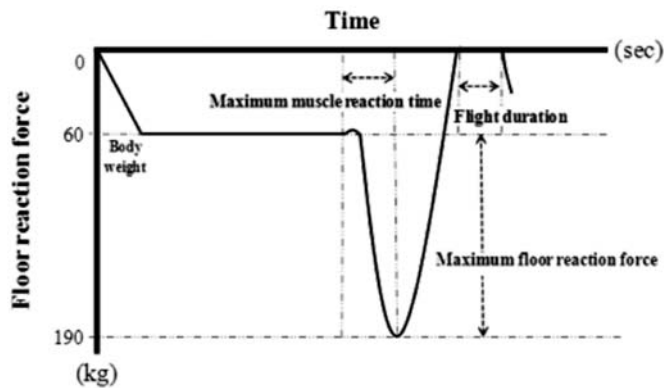


Fig. 2 A typical waveform of floor reaction force.

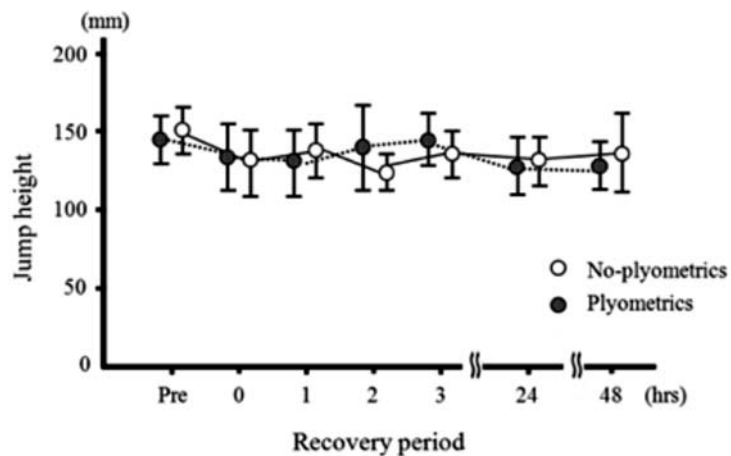


Fig. 3 Time course of changes in jump height.
Values are means \pm SD. Pre : pre-exercise.

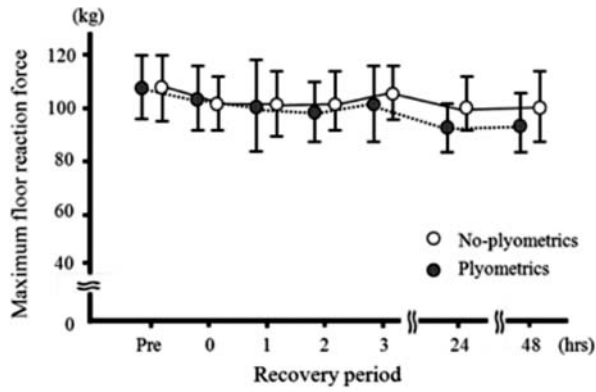


Fig. 4 Time course of changes in maximum floor reaction force. Values are means \pm SD. Pre : ore-exercise.

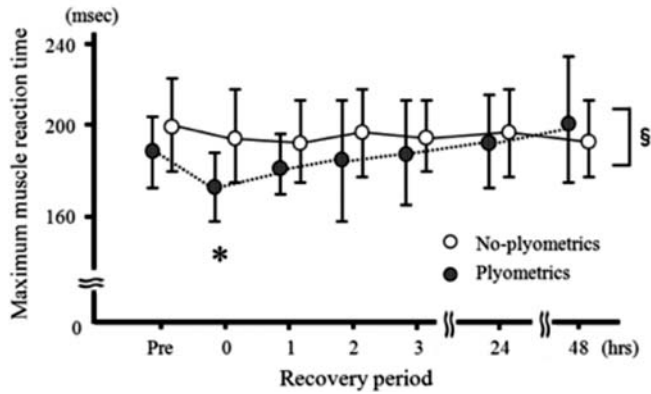


Fig. 5 Time course of changes in maximum muscle reaction time. Values are means \pm SD. Pre : pre-exercise. * $P < 0.05$, vs No-plyometrics, § $P < 0.05$, Plyometrics vs No-plyometrics.

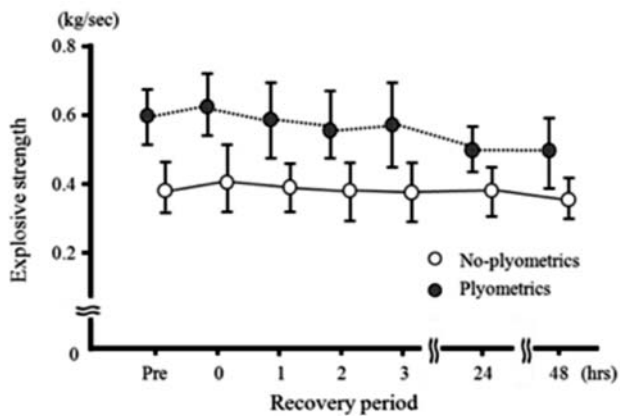


Fig. 6 Time course of changes in explosive strength. Values are means \pm SD. Pre : pre-exercise.

5. 統計処理

各測定結果は、平均値±標準偏差で示した。低強度プライオメトリクスを負荷する場合と負荷しない場合の比較には、運動後の時間経過に伴う回復過程をも指標に加えて多項目の分散分析を行い、その後主効果と交互作用を求めた。統計処理には統計ソフトウェア (Statview, Hulinks 製) を用い、有意水準は5%未満 ($P<0.05$) とした。

Ⅲ. 結果

1. 跳躍高

スタンディングカーフレイズ運動に伴う疲労困憊時の膝関節角度 135° での跳躍高(147.4 ± 15.1 mm) は、30秒間の低強度アンクルホップ運動を負荷した場合 (143.1 ± 16.0 mm) と比較して、顕著な差異は認められなかった (Fig.3)。また、運動後の回復期においても測定Pおよび測定Nとの間に差異は認められなかった。

2. 床反力

疲労困憊時の最大ジャンプをフォースプレート上にて行った際の床反力 (108.2 ± 13.0 kg) は、低強度プライオメトリクス運動を負荷した場合 (108.0 ± 11.7 kg) と比較して有意な差は認められなかった (Fig.4)。また、運動後の回復期においても測定Pおよび測定Nとの間に差は認められなかった。

3. 最大筋力発揮時間

Fig.5で示すように、ジャンプ時の最大筋力発揮に要した時間は、プライオメトリクスを負荷した測定Pでは (197 ± 22 msec)、プライオメトリクスを負荷しない測定N (185 ± 17 msec) と比較して、運動直後に6.1%の有意な短縮が認められた ($P<0.05$)。また、運動後の回復期において、運動直後から測定Pの値が測定Nよりも低値を示したが、48時間後には逆転し測定Pの値が測定Nよりも高値を示した。また、プライオメトリクス負荷の有無を運動前から48時間までの値で比較した結果、測定Pと測定Nの間に主効果が認められた ($P<0.05$)。

4. 爆発的筋力の指数

床反力波形から得られた最大床反力を最大筋力発揮時間で除すことにより算出した爆発的筋力は、低強度プライオメトリクス運動を負荷した場合、 0.586 ± 0.082 kg/msecであったのに対し、プライオメトリクスを負荷しなかった場合、 0.553 ± 0.075 kg/msecで、その差は有意なものではなかった (Fig.7)。また、運動後の回復期においても測定Pおよび測定Nとの間に差は認められなかった。

Ⅳ. 考察

筋の機能、特にスピードやパワーの回復に焦点を合わせた研究で、疲労した筋にスプリント走やバウンディングなどの高強度運動を課すことにより、筋機能の回復が促進されることが分かっている²¹⁾。しかしながら、疲労した筋に高強度負荷を課すことには、筋障害の誘発等

の安全性の問題を包含しており、低強度の運動による疲労回復の開発法が望まれている現状にある^{14,15)}。

外力によって引き伸ばされた筋や腱が、復元する際に発生する弾性エネルギーを用いるプライオメトリクス運動は、運動効率を向上させる特性を有することはよく知られている。特に発育発達期の幼児・児童へプライオメトリクストレーニングの適用に傾倒している教育現場においては、安全でかつ効率的なトレーニング方法論の開発は、喫緊の課題といえる¹¹⁾。

本研究では、疲労した筋への低強度プライオメトリクスの負荷が筋機能の回復を促進するか否かを検討するために、疲労させた下腿三頭筋に低強度のプライオメトリクスを負荷し、ジャンプパフォーマンス機能に着目し検討を行った。その結果、疲労筋への低強度プライオメトリクス負荷が床反力に変化を生じさせなかった一方、運動直後で最大筋力発揮に要する有意な時間短縮が観察された ($P < 0.05$: Fig. 6)。さらに、疲労筋へのプライオメトリクスの負荷の有無の差異を、運動前から運動後48時間までの最大筋力発揮時間を比較したところ、運動前から運動後24時間までは測定Nと比較して測定Pの方が最大筋力発揮時間を減少させたが、48時間では逆に増加させたこと、そして両者の間に差異が認められた ($P < 0.05$)。西岡ら²²⁾は、下肢に外部から刺激を与えることで促通が生じ、反応時間の短縮が認められることを明らかにしている。このことから、最大筋力発揮時間が短縮した要因として、神経インパルスの促通が生じたことによる筋反応時間の短縮がその一因として挙げられる²³⁾。疲労した筋に低強度プライオメトリクスを負荷した本研究では、運動直後に最大筋力発揮時間が短縮したことは、神経インパルスの促通による影響によりもたらされた可能性は高く、ジャンプパフォーマンスの改善の一端を担っているものと考えられる。

筋疲労を誘発する運動によって乳酸が生成されることから、今までに筋疲労の指標として乳酸が用いられ²⁵⁾、反復運動に伴う筋疲労からの回復過程についても、血中の乳酸の動態に着目して研究されている。とりわけ、全力ペダリング駆動後の回復過程において、種々の回復手段に着目した先行研究では¹⁴⁾、低強度ペダリング駆動が乳酸の除去を促進して筋機能回復に効果的であることを示し、ペダリング駆動の強度に着目した岩原ら¹⁵⁾もまた、低強度のペダリング駆動を用いることで、同様の結果を得ている。なかでも、山本と山本¹⁴⁾、および岩原ら¹⁵⁾は、低強度運動による筋ポンプ作用の活性化が静脈還流量を増加させ、それに伴い血流量と活動中の筋への酸素分圧が増大することを報告している。つまり産生された乳酸は、有酸素運動のエネルギー源として、前者により主に肝臓などへ運搬されその器官で、また後者により活動中の筋で利用されることによって、速やかに乳酸除去を促進することを示唆している²⁶⁾。本研究で得られたプライオメトリクス負荷による運動直後の最大筋力発揮時間の有意な短縮と、そこから運動24時間後までの低値傾向を示した結果は、ペダリング駆動時にみられた乳酸の除去のメカニズムと同様、代謝物質の除去を伴う血流量増大の影響であることが示唆される。しかしながら、48時間後にみられた逆転現象については、本研究の結果だけでは説明することはできない。

また、下肢は上肢と比較して強い弾性エネルギーを発揮させることができることから、本研究では下肢における低強度プライオメトリクスを筋疲労直後に負荷実験を行い、最大筋力発揮時間の短縮をみいだした。しかしながら、上肢における低強度プライオメトリクスが疲労した筋の機能回復にどのような影響を及ぼすのかについて、先行研究はみあたらず、今後の課題として残されている。

これらのことから、陸上競技や競泳など、1日のうちで数回の予選を経て決勝に進むものや、柔道や剣道のようにトーナメント方式で1日のうちで数試合を行う競技において、競技と次の競技との間で素早く疲労回復を促進させ、トップパフォーマンスを発揮するために、低強度プライオメトリクス負荷直後の脚筋の機能回復に効果的な方法であることが明らかとなった。しかしながら、その効果は時間経過とともに薄らぎ、運動後48時間ではその効果は負へと転換することから、疲労回復を期したスポーツ現場でのプライオメトリクス負荷の取り扱いには十分な注意が必要であることが示唆された。

参考文献

- 1) 杉崎範英, 岡田純一, 金久博昭, 福永哲夫 (2004) 足関節の反動動作における弾性エネルギーが機械的仕事量および機械的パワーの増強に及ぼす影響. 人間工学, 40 : 82-89.
- 2) Sáez-Sáez de Villarreal E, Requena B and Newton RU (2010) Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. J Sci Med Spor, 13 : 513-522.
- 3) 関子浩二, 高松 薫, 古藤高良 (1993) 各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性. 体育学研究, 38 : 265-278.
- 4) 田内健二, 尹聖 鎮, 高松薫 (2003) 同一個人の上肢および下肢の伸張=短縮サイクル運動におけるパワー発揮特性: 投擲競技者と跳躍競技者の比較. 体育学研究, 48 : 313-325.
- 5) Faigenbaum DA., McFarland EJ, Keiper BF, Tevlin W, Ratamess AN, Kang J and Hoffman RJ (2007) Effects of a short-term plyometric and resistance training program on fitness performance in boys age 12 to 15 years. J Sports Med, 6 : 519-525.
- 6) Kotzamanidis C (2006) Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. J Strength Cond Res, 20 : 441-445.
- 7) Kannas TM, Kellis E and Amiridis IG (2012) Incline plyometrics-induced improvement of jumping performance. Eur J Appl Physiol, 112 : 2353-2361.
- 8) 田内健二, 高松 薫, 土江寛裕, 磯繁雄 (2006) 槍投げ競技者における上肢の伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の評価. スポーツ科学研究, 3 : 104-112.
- 9) 関子浩二 (2006) バスケットボール選手におけるプライオメトリクスがジャンプとフットワーク能力およびパス能力に及ぼす効果. 体力科学, 55 : 237-246.
- 10) Warren GL, Ingalls CP, Lowe DA and Armstrong RB (2001) Excitation-contraction uncoupling : major role in contraction-induced muscle injury. Exerc Sport Sci Rev, 29 : 82-87.
- 11) 岩竹 惇, 北田耕司, 川原繁樹, 関子浩二 (2008) ジャンプトレーニングが思春期後期にある男子生徒の疾走能力に与える影響. 体育学研究, 53 : 353-362.
- 12) 和田正信, 坂本 誠, 杉山美奈子, 松永 智 (2006) 高強度運動における筋疲労の要因: 無機リン酸, グリコーゲンおよび活性酸素種の影響. 体育学研究, 51 : 399-408.
- 13) 和田正信, 三島隆章, 山田崇史 (2006) 筋収縮における乳酸の役割. 体育学研究, 51 : 229-239.
- 14) 山本正嘉, 山本利春 (1993) 激運動のストレッチング, スポーツマッサージ, 軽運動, ホットパックが疲労回復におよぼす影響-作業能力および血中乳酸の回復を指標として-. 体力科学, 42 : 82-92.
- 15) 岩原文彦, 伊藤雅允, 浅見俊雅 (2003) 自転車駆動による無酸素性運動後の効果的なクーリングダウン強度について. 体力科学, 52 : 499-512.

- 16) Humphreys PW and Lind AR (1963) The blood flow through active and inactive muscle of the forearm during sustained hand-grip contractions. *J Physiol*, 166 : 120-135.
- 17) 畠 圭祐, 西條暁里, 塩野谷明 (2010) 下腿筋-腱複合体の弾性エネルギーと障害発生要素に基づく陸上競技短距離用スパイクシューズの評価. *生体医工学*, 48 : 226-231.
- 18) 半田 徹, 加藤浩人, 長谷川伸, 岡田純一, 加藤清忠 (2007) カーフレイズ系種目の筋力トレーニングにおける腓腹筋、ヒラメ筋の筋電図学的分析. *スポーツ科学研究*, 4 : 63-74.
- 19) Vuillerme N and Boisgontier M (2010) Changes in the relative contribution of each leg to the control of quiet two-legged stance following unilateral plantar-flexor muscles fatigue. *Eur J Appl Physiol*, 110 : 207-213.
- 20) William PE (2010) Practical guidelines for plyometric intensity. *NSCA's Performance Training J*, 17 : 62-65.
- 21) Willson GJ, Newton RU, Murphy AJ and Humphreys BJ (1993) The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*, 25 : 1279-1286.
- 22) Liesen H (1990) サッカーへの科学的トレーニングの導入. *日本サッカー協会科学研究委員会報告書*, 43-56.
- 23) 西岡哲夫, 梶原俊夫, 加藤由実 (1987) Straight-Leg-Raising促通訓練法について - 大腿直筋反応時間による検討 -. *理学療法学*, 14 : 373-379.
- 24) 加藤勝行, 丸山仁司 (2011) 姿勢の違いから見たPNFの短期的持続効果 - 基本姿勢を用いた座位と背臥位の姿勢からの検討 -. *理学療法科学*, 26 : 637-640.
- 25) 八田秀雄 (2010) 乳酸をどう考えたらよいか. *体力科学*, 59 : 8-10.
- 26) 堀 清記 (2007) 高温環境下における運動時の生理的反応. *体力科学*, 56 : 1-8.