

# プライオメトリックトレーニング後の筋硬度と筋力の時間的変化

久保下 亮

**要 旨:** プライオメトリックトレーニング前後の内側広筋(Vastus Medialis; VM)と外側広筋(Vastus Lateralis; VL)の筋硬度と筋力の変化と両者の関係を検討した。対象は、健常男子学生15名とした。方法は、被験者のVMとVLの筋硬度と、膝関節伸展ピークトルクの測定を行った。プライオメトリックトレーニングはスクワットジャンプ、ボックスジャンプ、デプスジャンプとし各10回を3セット施行した。プライオメトリックトレーニング終了から96時間まで24時間毎にVMとVLの筋硬度と膝関節伸展ピークトルクを測定した。結果はVM、VLともにトレーニング後48時間で最も筋硬度の増加と膝関節伸展ピークトルクの低下を認めた。よって、強い遠心性収縮を用いたプライオメトリックトレーニングでは、トレーニング後に一時的に筋硬度が増加し、筋力低下を引き起こすことが確認できた。

**【Key words】** プライオメトリックトレーニング, 筋硬度, 膝関節伸展ピークトルク

## 緒 言

スポーツ現場では、競技パフォーマンスを向上させる目的でプライオメトリックトレーニングを行う例を散見する。このトレーニングは、爆発的な反動動作を伴いながら大きな仕事をする能力と運動を短時間に遂行する能力によって構成されている<sup>1-3)</sup>。このトレーニングの特徴は、主動作筋の遠心性収縮の直後に求心性収縮へ切り変える筋の伸張・短縮サイクル運動(Stretch-Shortening Cycle; SSC)である。SSCは短時間に爆発的な動作を要求するスポーツにとって、極めて重要な要素の1つである<sup>4)</sup>。

このトレーニングで用いられる遠心性収縮は、同じ負荷を与えた際に求心性収縮より低いエネルギー消費量で大きな筋活動を発揮できる利点がある<sup>5)</sup>。しかし、遠心性収縮では、筋線維の破壊や筋膜の透過性の変化によって血中への酵素の逸脱が増加し、また発痛物質、組織の腫脹や局所的な温度の上昇により侵害受容器が刺激され、痛みが増大すると考えられている<sup>6)</sup>。また、遠心性収縮に伴う筋損傷により、筋性拘縮や筋の腫脹を招いて筋硬度増加を示す<sup>7)</sup>とされている。筋硬度の増加は、その筋

が持つ張力を十分に発揮できず筋パフォーマンスの低下を引き起こすと考えられる。筋パフォーマンスの低下が局所的で一時的なものであっても、その間にスポーツ競技やトレーニングを行うことは、隣接する他の関節や部位の代償を要求し、大きなストレスをかけてしまうと思われる。筋硬度の増加がパフォーマンスの低下のみならず、スポーツ障害の発症につながるとされている<sup>8)</sup>。よって、スポーツの実施においては、そのパフォーマンス発揮や障害予防として筋コンディショニングが欠かせない。この筋コンディショニングの一つとして、筋硬度(筋柔軟性)に着目し、筋硬度変化が筋力にどのような変化を生み出すのか、時間的変化を理解しておく必要があると考えた。

今回は、遠心性収縮を用いたトレーニングとしてスポーツ現場で頻繁に用いられるプライオメトリックトレーニングとして、スクワットジャンプ、ボックスジャンプ、デプスジャンプに着目した。これらのトレーニングは大腿四頭筋へ遠心性収縮の負荷を与えるものである。そこで、これらのプライオメトリックトレーニング前後での内側広筋(Vastus Medialis; VM)と外側広筋(Vastus Lateralis; VL)の筋硬度と膝関節伸展ピークトルクの時

間的变化から、トレーニング後、筋硬度の変化が筋力に与える影響を検証することを目的とした。

### 研究対象と方法

対象は、下肢および体幹に整形外科疾患の既往歴がない健康男子学生15名(平均年齢は20.8±0.4歳、平均体重は68.7±5.6kg)とし、利き脚(ボールをける側)15脚とした。また、被験者15名は高校、大学と運動部(野球8名、サッカー5名、柔道1名、バドミントン1名)の経験があるが、運動部を引退してから6ヶ月以上が経過している。被験者には本研究の趣旨と内容を説明し、得られたデータは本研究以外に使用しないこと、個人が特定できないように十分配慮する旨を説明した。なお、本研究は新田塚医療福祉センター倫理審査委員会の承諾(承認番号27-28)を得ており、同意が得られた者のみを対象とした。

まず、被験者のVMとVLの筋硬度を背臥位にて生体組織硬度計PEK-1(井元製作所製)を用いて計測した。VMの筋硬度の測定位置は上前腸骨棘と膝蓋骨上縁間の膝蓋骨上縁から25%の部位で行い、VLの筋硬度の測定位置は上前腸骨棘と膝蓋骨上縁間の膝蓋骨上縁から50%の部位で行った。測定方法としては、生体組織硬度計PEK-1を各測定部位に垂直に当て、そのままゆっくり押し、生体組織硬度計PEK-1の測定合図後にゆっくり戻したときに表示されている数値を読み取った。測定回数は3回行い、中央値を代表値とした。次に、膝関節伸展ピークトルクの測定を等速性筋力測定器であるBIODEX SYSTEM 3(BIODEX Medical 社製)を用いて行った。角速度は60°/secで反復回数を5回とした。その後、プライオメトリックトレーニングとしてスクワットジャンプ、ボックスジャンプ、デプスジャンプの3種目全てを自重のみで行った。ボックスジャンプ、デプスジャンプに使用したボックスの高さは40cmのものを使用した。トレーニング回数は初心者の場合、1回のプライオメトリックトレーニングでのフットコンタクト数(足が地面につく回数)は、Wallerら<sup>9)</sup>によると60~100回以内で行うこと、Ebben<sup>10)</sup>によると、80~100回以内で行うことと述べている。これらを考慮して各種目を10回×3セット施行し、合計フットコンタクト数を90回に設定した。また、各セット間の休息時間は1分とした。トレーニング終了から24時間後(Post-ex.24h)、48時間後(Post-ex.48h)、72時間後(Post-ex.72h)、96時間後(Post-ex.96h)にVMとVLの

筋硬度と膝関節伸展ピークトルクを測定した。統計処理は、VMの筋硬度変化、VLの筋硬度変化、膝関節伸展ピークトルクの時間的変化についてそれぞれ繰り返しのない二元配置分散分析を行い、その後Tukey法を用いた。また、時間経過とともに筋力と筋硬度の関係を見るために、膝関節伸展ピークトルク、VM筋硬度、VL筋硬度それぞれのトレーニング前(Pre-ex.)に対し各評価時期における筋力と筋硬度の変化率(各評価時期/Pre-ex.の値)×100(%)を算出した。

### 結 果

1) 膝関節伸展ピークトルクの時間的変化の結果(図 1)  
 膝関節伸展ピークトルクの平均は、Pre-ex.が 199.6 ± 6.1Nm , Post-ex.24h が 193.6 ± 5.8Nm , Post-ex.48hが 169.3±5.2Nm, Post-ex.72hが 178.4 ± 4.4Nm, Post-ex.96hが 199.8±6.1Nmであった。分析の結果、VMの筋硬度は評価時期によって異なり(F=33.2, p<0.01), Pre-ex.に比べてPost-ex.48h, Post-ex.72hは有意に低値を示した(それぞれp<0.01)。その中でもPost-ex.48hは、Pre-ex.に比べて13.9%の筋力低下を認めるなど他の評価時期より有意に低値を示した。

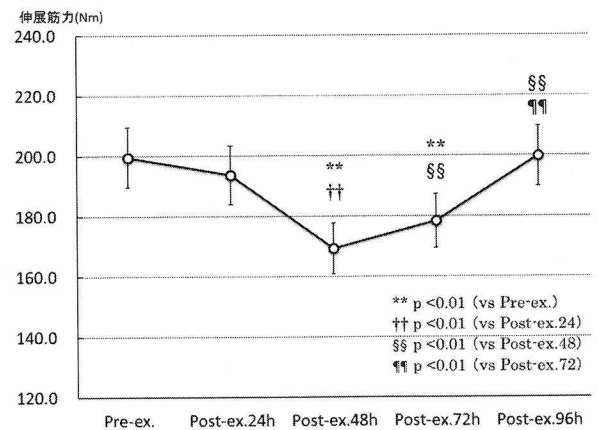


図1 膝伸展ピークトルクの時間的変化

2) VMの筋硬度の時間的変化の結果(図 2)

VMの筋硬度の平均は、Pre-ex.が 41.0 ± 1.0, Post-ex.24h が 42.7 ± 0.9, Post-ex.48h が 45.7 ± 1.0, Post-ex.72h が 42.0 ± 0.8, Post-ex.96h が 40.1 ± 0.7 であった。分析の結果、VMの筋硬度は評価時期によって異なり(F=31.2, p<0.01), Pre-ex.に比べて Post-ex.24h

( $p < 0.05$ ), Post-ex.48h, Post-ex.72h(それぞれ  $p < 0.01$ ) は有意に高値を示した。Post-ex.48h では、Pre-ex.に比べて 11.5%の筋硬度の増加を認めており、他の評価時期より有意に高値を示していた。また、Post-ex.96h には Pre-ex.の筋硬度とほぼ同程度までに回復していた。

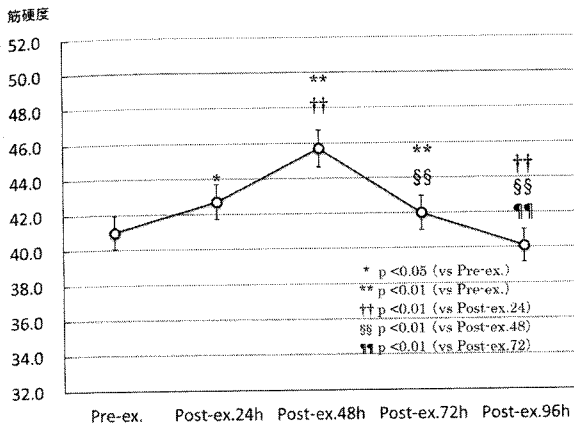


図2 VMの筋硬度の時間的変化

3) VLの筋硬度の時間的変化の結果(図3)

VLの筋硬度の平均は、Pre-ex.が  $53.4 \pm 0.8$ , Post-ex.24hが  $54.9 \pm 0.6$ , Post-ex.48hが  $58.5 \pm 0.6$ , Post-ex.72hが  $54.5 \pm 0.8$ , Post-ex.96hが  $53.3 \pm 0.8$  であった。分析の結果、VLの筋硬度は評価時期によって異なり ( $F=17.6$ ,  $p < 0.01$ ), Pre-ex.に比べてPost-ex.48h ( $p < 0.01$ ) は有意に高値を示した。Post-ex.48hでは、Pre-ex.に比べて 9.8%の筋硬度の増加を認めており、他の評価時期より有意に高値を示していた。また、Post-ex.96hにはPre-ex.の筋硬度とほぼ同程度までに回復していた。

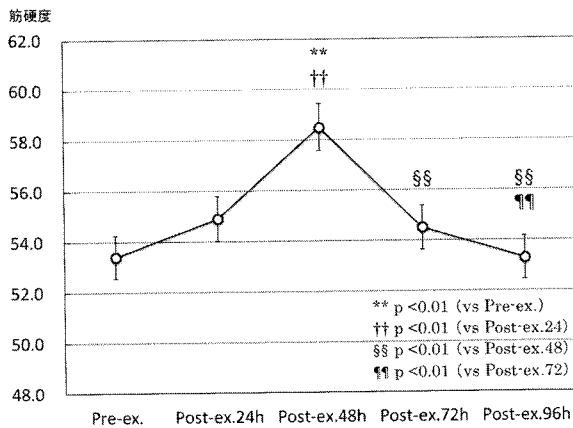


図3 VLの筋硬度の時間的変化

4) 膝関節伸展ピークトルクと VM, VL の筋硬度のトレーニング前に対する各評価時期の変化率(図4)

Pre-ex.に対する各評価時期 (Post-ex.24h, Post-ex.48h, Post-ex.72h, Post-ex.96h) の変化率について、膝関節伸展ピークトルクは  $100.3 \pm 10.6\%$ ,  $86.1 \pm 4.2\%$ ,  $92.4 \pm 6.1\%$ ,  $103.4 \pm 4.6\%$ であった。VM筋硬度は  $104.2 \pm 4.5\%$ ,  $111.5 \pm 5.3\%$ ,  $102.6 \pm 3.1\%$ ,  $98.0 \pm 5.5\%$ であった。VL筋硬度は  $103.0 \pm 5.9\%$ ,  $109.8 \pm 6.7\%$ ,  $102.1 \pm 3.0\%$ ,  $99.8 \pm 3.9\%$ であった。

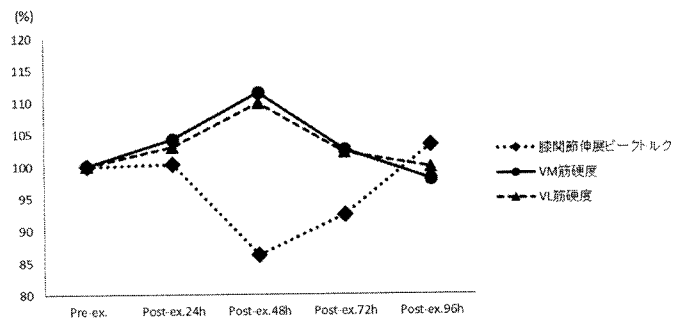


図4 膝関節伸展ピークトルクと VM, VL の筋硬度のトレーニング前に対する各評価時期の変化率

考 察

今回は、スクワットジャンプ、ボックスジャンプ、デプスジャンプを行い大腿四頭筋へ遠心性収縮による負荷を与えた。その結果、膝関節伸展ピークトルクは、Pre-ex.に比べてPost-ex.48hで 13.9%の低下を認め、筋硬度に関して、VMはPre-ex.と比べてPost-ex.48hで 11.5%の筋硬度の増加と、VLはPost-ex.48hで 9.8%の増加を認めた。プライオメトリックトレーニングのように筋に対して強い遠心性収縮を用いた筋力トレーニングでは、トレーニング後に一時的な筋硬度の増加と筋力低下が確認できた。この遠心性収縮を用いた筋力トレーニング後の筋硬度が増加する要因として、血流などの循環要因と筋線維レベルの構造的変化が関与している<sup>11)</sup>。循環要因としては、村山ら<sup>12, 13)</sup>の研究によると、関節運動により主動作筋の動脈流入量と筋硬度が運動後に増加し、その後 30 分間で元の状態に回復している。よって、運動直後に筋硬度が上昇する理由は循環による影響が大きいと考えられる。しかし、運動後 48 時間後に筋硬度のピークを認める原因としては、筋線維の影響が主因ではない

かと考えられる。遠心性筋活動を負荷した筋では組織学的な変化（炎症細胞の浸潤を特徴とする損傷が生じる場合と、細胞内でZ帯を中心に微細構造の乱れが生じる場合とがある）が局所的に生じる<sup>14)</sup>。遠心性収縮は、動員される運動単位数の数が求心性収縮に比べ少ない<sup>5)</sup>。この少ない筋線維で大きな筋張力を発揮するため、筋・結合組織の損傷を引き起こしやすく、興奮収縮連関におけるT管と筋小胞体間の伝達機構の損傷や筋原線維レベルでの構造の損傷などが生じる<sup>15)</sup>。このように筋線維の変化も筋硬度を増加させる要因と考えられる。

この筋硬度の増加は、筋疲労度合いの指標のひとつとして用いられている傾向もある。筋疲労の状態ではパフォーマンスの発揮は期待できず、スポーツ活動を継続することで傷害を引き起こす可能性がある<sup>16)</sup>。山本ら<sup>17)</sup>は中学生陸上競技大会におけるトレーナーステーション活動の結果報告の中で、腰痛や大腿部および下腿の疲労性疾患を有する選手の多くが、柔軟性に乏しい傾向があり適切なストレッチが行われていなかったと報告している。中津川<sup>18)</sup>によると、高校野球部員への調査から大腿部の肉離れの原因の一つとして筋の柔軟性の低下が考えられ、チームでストレッチをすることが多く、個人およびチームの意識が低い場合、正確に実施できていないとのことである。小田ら<sup>19)</sup>はラグビー選手の腰痛を有する選手ほど下肢伸展挙上角度や指床間距離の結果が低い傾向があったという報告をしている。よって、筋の硬さと疲労状態が継続的に存在することは様々な傷害を引き起こすことにつながる<sup>20)</sup>。これらのスポーツ傷害の予防としては、筋の柔軟性の確保や疲労状態を解消しておく必要があると思われる。塩田<sup>21)</sup>は筋硬度の変化が疲労蓄積の変化を反映しており、コンディショニングの重要な指標になると述べている。今回の研究からもトレーニング後の時間的経過の中で、Post-ex.48hまでは筋硬度の増加に伴い、膝関節伸展ピークトルクが低下する傾向にあった。一方、Post-ex.72h以降には筋硬度がPre-ex.の状態に近づくとともに膝関節伸展ピークトルクも回復傾向を示していた。これは筋パフォーマンスを筋硬度の評価から推測できる可能性を示していると思われる。スポーツ現場において、各選手の筋硬度（筋柔軟性）を把握することは、その選手の筋パフォーマンスを予測でき、強いては障害の予防にもつながると思われる。

スポーツパフォーマンスを向上させる目的で筋力トレーニングは必要不可欠である。また、スピードや跳躍

力、アジリティなどを高めるために、SSC要素を多く含むプライオメトリックトレーニングを選択する選手や指導者も少なくないと思われる。どのようなトレーニング内容であっても、ピリオダイゼーションの基本原則、漸進的過負荷の原則を考慮に入れたプログラムが重要である。そこに特異性の原則を考え、個別性のトレーニング内容であり、その個人のニーズに適しているのか判断していく必要がある。また、トレーニングの効果が十分であるかを、各個人のトレーニング後に身体的状況変化を把握していくことも重要となるであろう。

## 結 語

筋力トレーニングの研究が進んでいる中で、最大限の効果をj得ることはスポーツ選手だけではなく、筋力トレーニングに関わる全ての人々が願うことであろう。今回の研究では、過去に運動部としてスポーツ活動を行っていたが、現在は6ヶ月以上スポーツ活動を行っていない男性に対して、筋の遠心性収縮を用いるプライオメトリックトレーニング後のVMとVLの筋硬度変化と膝関節伸展ピークトルクの変化を経時的に評価した。結果として、筋硬度の増加を認め、それと同じように膝関節伸展ピークトルクの低下を認めることとなった。よって、筋力トレーニング開始時やトレーニング内容の変更時には、筋に大きなストレスをかけパフォーマンス低下を来す可能性が大いにあることを認識する必要があると思われる。今後、更に性別の差や筋力トレーニング内容の差ではどのような変化が生じるのか検討していきたい。

## 謝 辞

本研究にご参加いただいた対象者の皆様、ならびにご協力いただきました関係各位の方々に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 関子浩二, 高松 薫: パリステイックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因-筋力および瞬発力に着目して-, 体力科学44, 147-154, 1995.
- 2) 関子浩二: “ばね”を高めるためのトレーニング理論 トレーニング科学8, 7-16, 1997.

- 3) 関子浩二：SSC理論を応用したトレーニングの可能性，トレーニング科学12，69-84，2000.
- 4) 小森大輔，関子浩二，小西麻耶子，他：リバウンドジャンプ初心者のための指導法—姿勢づくりに着目して—，スポーツパフォーマンス研究4，161-170，2012.
- 5) Komi PV, Kaneko M, Aura O : EMG-activity of leg extensor muscles with special reference to mechanical efficiency in concentric and eccentric exercise, Int J Sports Med8, 22-29, 1987.
- 6) Armstrong RB, Warren GL, Warren JA : Mechanisms of exercise-induced muscle fibre injury, Sports Med.12, 184-207, 1991.
- 7) Murayama M, Nosaka K, Yoneda T, et al : Changes in hardness of the human elbow flexor muscles after eccentric exercise, Eur J appl Physiol 82, 361-367, 2000.
- 8) 孫 崗，宮川俊平，木下裕光，他：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, 2008.
- 9) MA Waller, TJ Piper : Plyometric Training for the Personal Trainer, NSCA Japan journal7(6), 27-31, 2000.
- 10) MA Ebben : Practical Guidelines for Plyometric Intensity, NSCA Japan journal17(10), 62-65, 2010.
- 11) 村山光義，植田史生：LLLTとスポーツ科学の接点を探る(その1)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, 2006.
- 12) 村山光義，米田継武，河合祥雄：一過性筋疲労時の筋硬度変動の要因，体力科学 54, 451, 2005.
- 13) 村山光義：筋硬度研究の全体および計測法，硬さを図る意義—硬さそのもの hardness という概念について，Sportsmedicine(166), 8-15, 2014.
- 14) 野坂和則：筋損傷と再生．筋力をデザインする，吉岡利忠，後藤勝正，医師井直方 編，151-168，杏林書院，東京，2003.
- 15) Armstrong RB : Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness, A brief review, Medicine and Science in Sports and Exercise 16, 529-538, 1984.
- 16) 小島 敦，後藤勝正，吉岡利忠：筋疲労のメカニズム，整形・災害外科 48(5), 389-399, 2005.
- 17) 山本利春，岩垣光洋，中野江利子：中学校陸上競技大会におけるトレーナーステーション活動—ジュニア選手の傷害予防教育の実践—，陸上競技研究 59, 48-51, 2004.
- 18) 中津川貴紀：病院における理学療法士とアスレティックトレーナーの必要性，第22回東海北陸理学療法学会大会，2006.
- 19) 小田佳吾，斉藤秀之，田中直樹，他：高校ラグビー選手の柔軟性と腰姉の関連性について，日本臨床スポーツ医学会誌 10, 519-523, 2002.
- 20) 木村篤史，松本和久，池内隆治：運動負荷後のストレッチングが筋硬度に及ぼす影響，明治鍼灸医学 40, 29-37, 2007.
- 21) 塩田 徹：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筋硬度測定の可能性，スポーツ健康科学紀要 11, 29-38, 2014.