

活動後増強による筋力および筋パワー向上効果

鹿屋体育大学 島 典 広
(共同研究者) 同 前 田 明
同 西 蘭 秀 嗣

The Effects of Postactivation Potentiation on Muscular Strength and Power

by

Norihiro Shima, Akira Maeda, Hidetsugu Nishizono
National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

ABSTRACT

The purpose of the present study was to examine the effects of postactivation potentiation on muscular strength and power after the different intensity of half squat and how long that effects are remained. Eight healthy men (21 ± 2 years old), who are able to squat a minimum load ($1.5 \times$ body mass), participated in a familiarization session with the test of one repetition maximum (1RM) and in two testing sessions. 80% of 1RM and 40% of 1RM with more than 1 week interval were used as the preload. The magnitude increase in height of loaded (30% of 1RM) counter movement jump (LCMJ) was no difference between 40%1RM and 80%1RM preload. However, an increase in force parameter during LCMJ was appeared in 80%1RM preload but not in 40%1RM. Moreover, an increase in power parameter with 80%1RM preload was remained longer than that of 40% 1RM. These results suggest that the effects of postactivation potentiation on muscular strength and power and its time course of recovery may be different from the intensity of preload.

要 旨

本研究では異なる強度での筋力発揮がその後観察される活動後増強に及ぼす影響、そして、その残存効果について明らかにすることを目的とした。スクワットトレーニングの経験者で、その1回最大挙上重量 (1RM) が、体重の1.5倍を越える健康な男性8名 (21±2歳) を対象とした。被検者は最初に1RMの計測を実施し、その2日以上後に、前負荷として80%1RMを用いて測定を行った。さらに、その1週間以上後に、40%1RMの前負荷での測定を実施した。なお、80%1RMの前負荷は、ハーフスクワット動作において2秒しゃがみこみ動作、2秒立ち上がり動作のテンポについていけなくなるまで実施させ、その前後に30%1RMでの反動を用いたジャンプ (LCMJ) を行わせ、ジャンプ高、LCMJの立ち上がり動作中の鉛直方向の床反力と身体重心速度から筋パワーを算出した。その結果、前負荷の強度が異なってもジャンプ高の増加率や残存効果に違いは認められなかった。しかし、筋力の指標である鉛直方向の床反力は、80%1RMの前負荷でのみ有意な効果が得られ、筋パワーについても、両前負荷によって有意に増加したものの、80%1RMの前負荷における残存効果が40%1RMよりも長く維持された。したがって、LCMJのジャンプ高からみた活動後増強の効果やその残存効果は、前負荷の強度に影響されないものの、筋力および筋パワーからみた効果には、前負荷の強度が影響を及ぼすことが推察された。

緒 言

筋力発揮後の電気刺激による単収縮張力および張力の立ち上がりは、筋力発揮前と比べて増大する。この現象は、活動後増強 (Postactivation Potentiation) あるいは単収縮増強 (Twitch Potentiation) といわれており、ヒトではその効果

が筋力発揮後に数分以上も継続すると報告されている^{11, 12)}。活動後増強は、動物実験によってその生理学的メカニズムが解明され、“コンプレックストレーニング (高負荷を用いたレジスタンストレーニング後に続けて、動作様式に類似したプライオメトリックトレーニングを行う)”^{1, 4, 6, 7)} や、“ウォーミングアップ効果”³⁾ などの筋機能向上に関連する研究として重要なデータを提供している。近年、動物実験によって得られた基礎研究^{8, 9)} が、ヒトの筋力や筋パワー向上へ応用されようとしている^{1, 14)}。活動後増強による筋機能向上効果を明らかにすることで、筋力や筋パワーの向上が重要な役割を担う競技パフォーマンスに活用できるかもしれないし、指導者にも有用なデータを提供できるかもしれない。

これまで、活動後増強を誘発する前負荷には高強度の筋収縮を実施し、その効果が確認されているが^{12, 14)}、どれくらいの強度でウォーミングアップ (筋活動) を行うと活動後増強の効果が高いかや、その筋機能増強効果がどの程度維持されるかについては明らかにされていない⁶⁾。活動後増強の効果に関する問題点として、事前の筋活動が高負荷で激しいために、実際には増強効果に筋疲労が影響を及ぼしている可能性がある^{5, 9)}。したがって、活動後増強の残存効果を検討し、筋疲労の回復から最も活動後増強の効果が得られる休息時間を知る必要がある。

そこで、本研究では筋収縮強度が筋力発揮後に観察される活動後増強に及ぼす影響、そして、その残存効果について明らかにすることを目的とした。

1. 研究方法

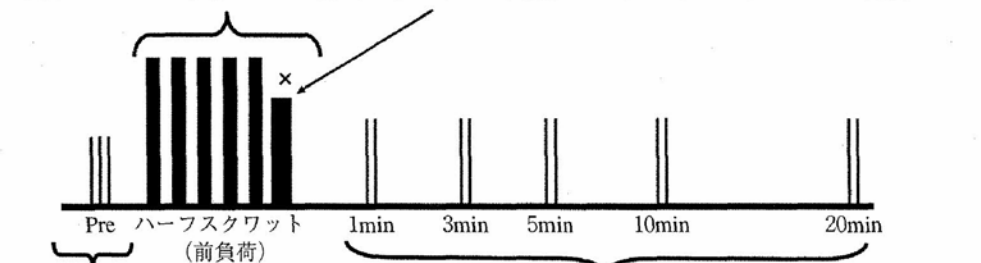
1. 1 被検者

過去にレジスタンストレーニングの経験があり、スクワットの1回最大挙上重量 (1RM) が体重の1.5倍以上であった健康な成人男性8名を対象とした。被験者の年齢、身長、体重、ハーフスクワ

1回目：ハーフスクワットの1回最大挙上重量（1RM）測定と、実際の実験手順にそった練習の実施

↓ 2日以上

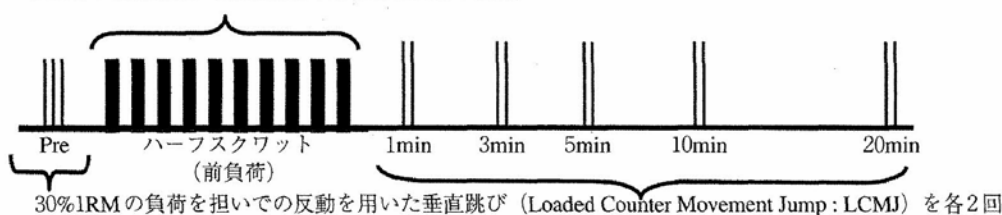
2回目：80%1RM（2秒しゃがみ込み，2秒立ち上がり動作のテンポにあわなくなるまでの回数）



30%1RMの負荷を担いでの反動を用いた垂直跳び（Loaded Counter Movement Jump：LCMJ）を各2回

↓ 1週間以上

3回目：40%1RM（80%1RMで行なえた2倍の回数）



30%1RMの負荷を担いでの反動を用いた垂直跳び（Loaded Counter Movement Jump：LCMJ）を各2回

図1 実験の手順

ットの1RM，および1RM/体重の平均値と標準偏差は，それぞれ 21 ± 2 歳， 171 ± 4 cm， 73 ± 5 kg， 129 ± 15 kg， 1.75 ± 0.12 であった．被検者には，実験の目的，内容および危険性について説明し，実験を途中で辞退できることを伝え，本実験に参加することに承諾し同意書に署名をした．

1. 2 実験方法

実験の手順を図1に示した．被検者は，最初にハーフスクワットの1RMの計測を行い，その後2日以上あけて活動後増強効果を得るための前負荷が80%1RMのものと，1週間以上あけて前負荷が40%1RMのもので，活動後増強による筋力および筋パワー向上効果に関する計測をした．実験開始日に1RMの測定と，本実験手順になれるため，内容を具体的に説明し，実験手順にそって練習を実施した．これら全ての測定は，被検者が安全に実施できるように，スクワットラックを用いて行った．

活動後増強効果を確認するために，最初にコントロール値として30%1RMの負荷を担ぎ，反動

を用いて高くジャンプ（Loaded Counter Movement Jump: LCMJ）する動作を3回行わせた．被検者には高くジャンプするように指示した．各ジャンプ試技の前には10秒静止し，ジャンプ実施前の安定した重心位置を基準値として利用した．

5分以上の休息後，80%1RM [82.1 ± 0.9 ($80.0 \sim 82.9$) %1RM, 平均値±標準偏差（範囲）]の負荷強度で，立位姿勢からハーフスクワットを開始し，2秒間のしゃがみこみ動作，2秒間の立ち上がり動作をメトロノームで確認させながら実施し，そのリズムについていけなくなったところで動作終了とした．動作終了1分後，3分後，5分後，10分後，20分後に，2回のLCMJを10秒以上の間隔をとって実施した．

被検者は，1週間以上の休息期間を設けて，80%1RMの負荷強度と同様の実験を40%1RM [41.4 ± 1.1 ($40.0 \sim 43.2$) %1RM, 平均値±標準偏差（範囲）]でも実施した．ハーフスクワットの実施回数は，80%1RMで実施したときと同じ仕事量にするためにその2倍の回数とした．

反射材マーカ（直径25mm）を用いた光学式モ

ーションキャプチャシステム (VICON 612, Oxford Metrix 社製) を用いて撮影を行った。分析ソフト (Work Station 4.6, Oxford Metrix 社製) によって、10台のカメラからサンプリング周波数120Hzで各マーカーの3次元位置が計算された。本実験環境における空間分解能は、全て1mm未満であった。解析ソフト (Body Builder 3.55, Oxford Metrix 社製) を用いて、LCMJ時の身体重心の位置と速度を算出した。さらに、床反力計 (9287A, Kistler 社製) を用いて、サンプリング周波数1kHzで計測を行った。

ジャンプ時の身体右側の大腿直筋、内側広筋、大腿二頭筋、および腓腹筋内側頭から活動電位を導出した。電極貼付部の抵抗を落とすため、測定部を除毛しアルコール綿で拭き取った後サンドペーパーで擦り、2個の表面電極 (銀-塩化銀 直径5mm) を各筋腹中央に両面粘着カラーを用いて電極間距離2cmに固定して貼付した。導出した筋電図信号 (EMG) は、生体アンプ (AB-621G, 日本光電社製) を用いて増幅した。LCMJ中の膝関節の屈曲動作から伸展動作への切り返し点を計測するにあたり、被検者の右膝関節にゴニオメーターを装着させ、角度信号を導出し、EMG、鉛直方向の床反力信号を同期化するために、16ビットのA/D変換器 (PowerLab/16s, ADInstruments 社製) を経由してサンプリング周波数2kHzでコンピューターに取り込んで分析ソフト (Chart 5.11, ADInstruments 社製) を用いて各パラメータ値を算出した。

ジャンプ高については、静止中の安定した重心位置から最高到達地点までの距離を分析し、PREでは3回の試行のうち最も高い値を、前負荷刺激後の各分のLCMJの実施では、2回の試行のうち最も高い値を記録した。また、それぞれの試行で最高値を得たLCMJの立ち上がり動作中の鉛直方向の床反力の平均値、身体重心速度の平均値を算出し、これらの積から筋パワーを求めた。また、

LCMJの立ち上がり動作中の各筋のEMGについても分析を行った。

1. 3 統計処理

各測定項目の40%1RMおよび80%1RMにおける経時変化について、一元配置分散分析を行い、前負荷刺激を実施する前のデータをコントロール値 (PRE) としてDunnettの多重比較検定を行った。

2. 結果

異なる前負荷強度におけるジャンプ高の経時変化を図2に示した。ジャンプ高の変化率は、両前負荷の刺激によりPREと比較して3分後と5分後で有意差が認められた。しかし、両前負荷の刺激に差は認められなかった。

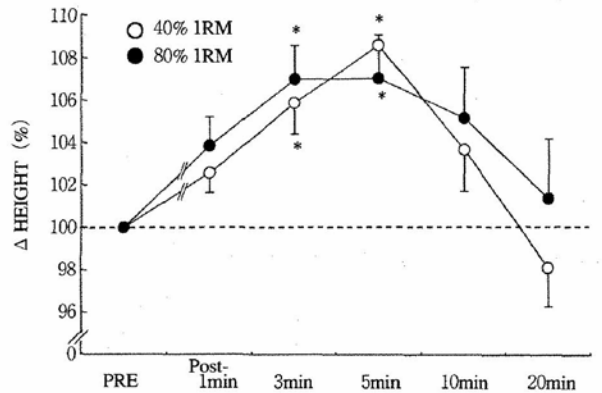


図2 異なる前負荷強度におけるジャンプ高 (Δ HEIGHT) の経時変化
平均±標準誤差*はPREと比較して有意差有り (p<0.05)

LCMJの立ち上がり動作中の筋パワー、鉛直方向の床反力、および身体重心の速度の経時変化を図3に示した。40%1RMおよび80%1RMの前負荷ともに、有意な筋パワーの向上効果が認められた。5分後には両前負荷ともにPREよりも大きく、10分後には80%1RMで、その効果が維持された。鉛直方向の床反力は、80%1RMの前負荷のみに10分後に有意な増加を認めた。身体重心の速度は、80%1RMの前負荷では、10分後に、40%1RMの前負荷では5分後に有意な増加を認めた。

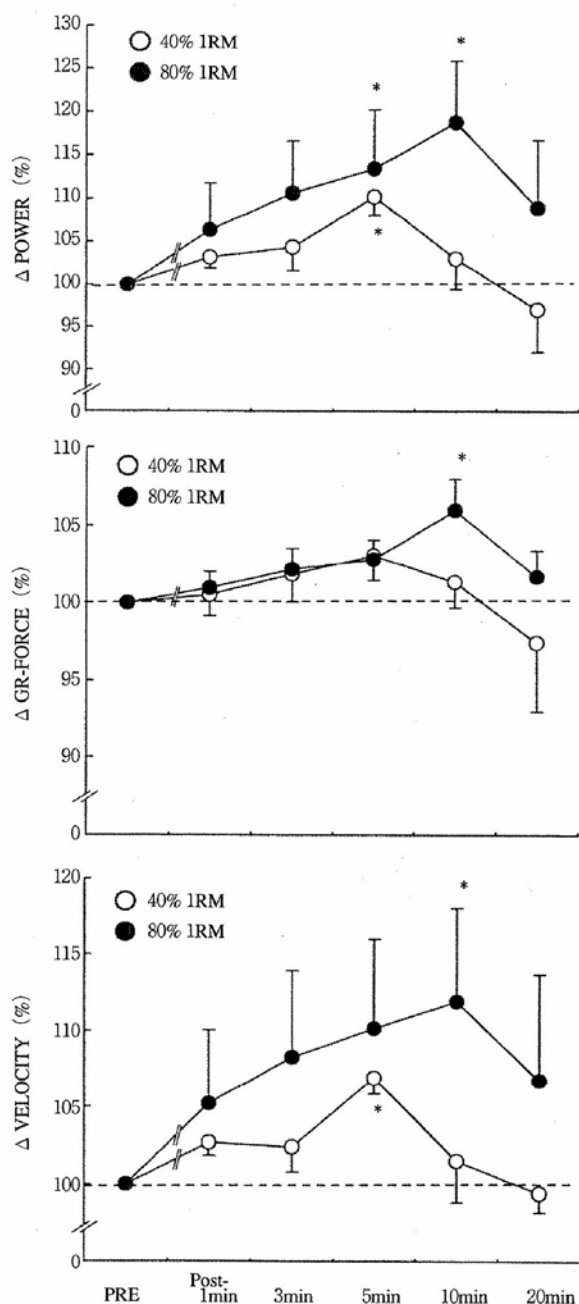


図3 LCMJの立ち上がり動作中の筋パワー(Δ POWER), 鉛直方向の床反力(Δ GR-FORCE), および身体重心の速度(Δ VELOCITY)の経時変化

平均±標準誤差 *はPREと比較して有意差有り(p<0.05)

LCMJの立ち上がり動作中の大腿直筋, 内側広筋, 大腿二頭筋, および腓腹筋内側頭のEMGの経時変化を図4に示した。有意差が認められたのは, 80%1RMの前負荷で大腿直筋1分後, 内側広筋の20分後であった。

3. 考察

Youngら¹⁴⁾の報告によると, 5RMのスクワット後に19kgの負荷をかけたCMJのジャンプ高は有意に増加(2.8%)していた。5RMの負荷は, その後の軽い負荷を課した爆発的な筋力発揮を可能にすると報告されている¹³⁾。本研究で80%1RMだけではなく40%1RMでもジャンプ高が有意に増加したことから, 前負荷の強度だけではジャンプ高からみた活動後増強の効果を説明できないと思われる。仕事量を同じ(40%1RMの前負荷の回数は80%1RMの回数の2倍)にしたため, このような結果が得られたとも考えられ, 仕事量についても, 活動後増強効果に関与していることが示唆される。また, 80%1RMおよび40%1RM前負荷ともに3分・5分後にジャンプ高が有意に増加し, 10分後には有意な増加が認められなかったことから, 活動後増強の残存効果にも, 前負荷の強度は関与しないと考えられる。

本研究では, ジャンプ高の結果と同様に, 40%1RMの前負荷にも活動後増強による筋パワー向上効果が認められた。この結果は, 刺激強度が低くても80%1RMの前負荷で行った仕事量に相当する筋活動を実施すれば, 同様効果が筋パワーで得られることが推察される。しかし, 筋パワー向上効果は, ジャンプ高の結果とは異なる点がある。40%1RMの前負荷では, 5分後に筋パワー向上効果が認められたが, 80%1RMの前負荷では10分後までその効果が維持された。これらの結果から両前負荷が, 残存効果に異なる影響を及ぼすと推察できる。GullichとSchmidtbleicher⁴⁾は, 5回の等尺性足関節底屈筋の最大随意収縮を実施させた前後で, その爆発的な筋力(Explosive Force)を記録したところ, 4~13分後に有意な増加があり, 9分後に19%の活動後増強効果があったと報告している。筋パワーが80%1RMの前負荷の10分後に18.8%向上した本

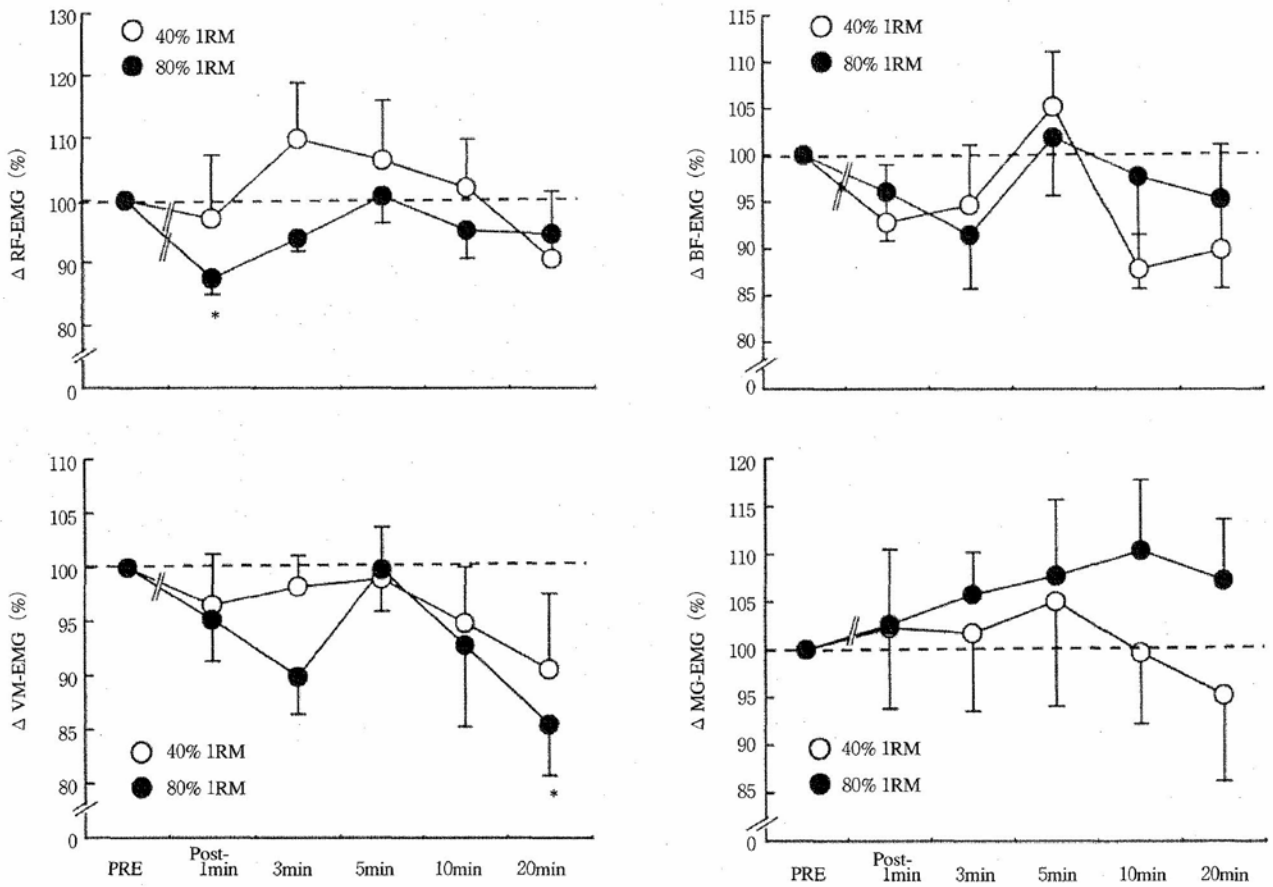


図4 LCMJの立ち上がり動作中の大腿直筋 (Δ RF-EMG), 内側広筋 (Δ VM-EMG), 大腿二頭筋 (Δ BF-EMG), および腓腹筋内側頭 (Δ MG-EMG) のEMGの経時変化
平均±標準誤差 *はPREと比較して有意差有り ($p < 0.05$)

研究の結果は、実験方法は異なるものの残存効果に関して Gullich と Schmidtbleicher⁴⁾ の結果と類似するものである。

Jones と Lee⁷⁾ は 85%1RM のスクワット動作を 5 回実施した前後に CMJ 中の鉛直方向の床反力のピーク値を計測し、その値が有意に増加せず、ジャンプ高やパワーのピーク値も同様に増加しないと報告した。活動後増強の筋パワーの向上には、ジャンプ時の垂直方向への身体重心の速度と、地面 (床) を強く押し出す筋力の向上が不可欠である。本研究結果では、前負荷が 80%1RM の 10 分後に LCMJ の立ち上がり動作中の鉛直方向の床反力に有意な増加 (6.0%) が認められたものの、40%1RM の前負荷後ではどの時点においても有意な増加は認められなかった (図 3)。床反力からみたジャンプ時の筋力発揮能力は、身体重心速

度の増加率よりも低く、筋パワーの向上効果に及ぼす影響は少ないと考えられる。しかし、床反力からみた筋力発揮がジャンプ時の身体重心速度を向上させているとも考えられる。活動後増強効果による筋パワーの向上が、筋力の増強にどの程度貢献するものであるか、筋の収縮速度の向上にどの程度寄与するものであるかについてさらなる研究が必要である。

大腿直筋、内側広筋、および大腿二頭筋の EMG は、80%1RM での前負荷 3 分後までは減少するものの 5 分後には回復する傾向がみられた。中枢神経系の回復には、セット間に 4~5 分の休息が必要という Bompa²⁾ の考えを、本研究はサポートする結果である。一方、40%1RM の前負荷後、EMG の減少が顕著でない原因は、前負荷強度が低いためとも考えられる。活動後増強には、

前負荷の強度や継続時間によって、筋疲労の影響も存在することはよく知られている¹²⁾。80%1RMの前負荷が、いわゆる疲労による神経筋機能の低下を引き起こしたと予測される。興味深いことに、腓腹筋内側頭のEMGは80%1RMおよび40%1RMの前負荷後に統計的に有意ではないが増加していた(図4)。この腓腹筋内側頭のEMGの経時変化は、ジャンプ中の筋パワーを算出した結果(図3)と類似するものである。30%1RMの負荷をかけたスクワットジャンプに腓腹筋がどのように貢献するかに関してはさらなる検討が必要である。

まとめ

本研究は、筋収縮強度が筋力発揮後に観察される活動後増強に及ぼす影響、そして、その残存効果について、筋力および筋パワー向上効果から検討した。その結果、40%1RMおよび80%1RMの前負荷ともに、5分後に筋パワー向上効果が認められ、80%1RMの前負荷で10分後にもその効果が認められた。一方、ジャンプ高からみた活動後増強の効果は前負荷の強度に関わらず認められ、その残存効果についても、強度の違いによる差は認められなかった。

謝辞

本研究の実施にあたり、ご協力いただきました廣田宗隆氏(鹿屋体育大学体育学部)および荒川英幸氏(鹿屋体育大学大学院体育学研究科)に感謝いたします。また、本研究に助成をいただきました石本記念デサントスポーツ科学振興財団に感謝いたします。

文献

- 1) Baker D.; Acute effect of alternating heavy and light resistances on power output during upper-body complex power training. *J. Strength Cond. Res.*, 17,

- 493-497 (2003)
- 2) Bompa T.O.; *Periodization of strength. Toront: Veritus Publ.*, (1993)
- 3) Cooper R.G., Stokes M.J., Edwards R.H.T.; Physiological characteristics of the "warm up" effect of activity in patients with myotonic dystrophy. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 51, 1134-1141 (1988)
- 4) Gullich A.; Schmidtbleicher D; MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Studies in Athletics.*, 11, 67-81 (1996)
- 5) Hamada T., Sale D.G., MacDougall J.D., Tarnopolsky M.A.; Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta. Physiol. Scand.*, 178, 165-173 (2003)
- 6) Jensen R.L., Ebben W.P.; Analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 17, 345-349 (2003)
- 7) Jones P., Lees A.; A biomechanical analysis of the acute effects of complex training using lower limb exercises. *J. Strength Cond. Res.*, 17, 694-700 (2003)
- 8) Macintosh B.R., Bryan S.N.; Potentiation of shortening and velocity of shortening during repeated isotonic tetanic contractions in mammalian skeletal muscle. *Pflugers Archiv*, 443, 804-812 (2002)
- 9) Rassier D.E., Macintosh B.R.; Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Braz. J. Med. Biol. Res.*, 33, 499-508 (2000)
- 10) Sale D.G.; Postactivation potentiation: role in human performance. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 30, 138-143 (2002)
- 11) Shima N., Rice C.L., Ota Y., Yabe K.; The effect of postactivation potentiation on the mechanomyogram. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 96, 17-23 (2006)
- 12) Vandervoort A.A., Quinlan J., McComas A.J.; Twitch potentiation after voluntary contraction. *Experimental Neurology*, 81, 141-152 (1983)
- 13) Verhoshansky Y.; Speed-strength preparation and development of strength endurance of athletes in various specializations. *Sov. Sports Rev.*, 21, 120-124 (1986)
- 14) Young WB., Jenner A., Griffiths K.; Acute Enhancement of power performance. From heavy load squats. *J. Strength Cond. Res.* 12, 82-84 (1998)