

異なるスクワット条件を用いた等張性筋収縮が活動後増強に与える影響

砂川 力也¹、下嶽 進一郎²

¹琉球大学教育学部、²千葉商科大学体育センター

The effect of isotonic muscle contraction using different squat conditions on post-activation potentiation

Rikiya Sunakawa¹ and Shinichiro Shimotake²

¹Faculty of Education, University of the Ryukyus,

²Sport Training & Physical Education Center, Chiba University of Commerce

Abstract

The purpose of this study was to investigate the influence on post-activation potentiation (PAP) by performing isotonic muscle contraction using representative squat in resistance exercise. Subjects in this study were eight healthy male college students with training experience. In order to verify the effect of PAP, a counter movement jump (CMJ) was performed before and after the back-full squat (30%1RM × 3sets × 6reps, 60%1RM × 3sets × 3reps, 90%1RM × 3sets × 2reps), and jump height, peak power, peak velocity, mean power, mean velocity were measured and analyzed. As a result, CMJ jump height (ES=0.68, 0.63), peak power (ES=0.80, 0.96), peak velocity (ES=1.03, 0.60) showed significantly high values after 60% and 90%1 RM conditions. This suggests that performing several sets of isotonic muscle contraction using medium and high intensity squats induce PAP and it can be an effective means as training to emphasize improvement of maximum power and speed.

Keywords: back full squat, total workload, peak power, peak velocity

要約

本研究は、レジスタンスエクササイズとして代表的なスクワットを用いて等張性筋収縮を行うことで活動後増強 (PAP) に与える影響について検討することを目的とした。日頃トレーニング経験を有する健康な男子大学生 8 名を対象とした。PAP の効果を検証するためにバック・フル・スクワットの各条件 (30%1RM × 3sets × 6reps, 60%1RM × 3sets × 3reps, 90%1RM × 3sets × 2reps) の前後でカウンター・ムーブメント・ジャンプ (CMJ) を行い、跳躍高、ピークパワー、ピーク速度、平均パワー、平均速度を計測し分析した。その結果、60% および 90%1RM 条件後に CMJ の跳躍高 (ES=0.68, 0.63)、ピークパワー (ES=0.80, 0.96)、ピーク速度 (ES=1.03, 0.60) が有意に高い値を示した。このことから、中・高強度のスクワットを用いて等張性筋収縮を数セット行うことで PAP を誘発し、最大パワーやスピードの向上を強調するトレーニングとして有効な手段となる可能性が示唆された。

キーワード: バック・フル・スクワット、総仕事量、ピークパワー、ピーク速度

責任著者: 砂川 力也

住 所: 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地

Tel & Fax: 098-895-8929

Email: sunakawa@edu.u-ryukyu.ac.jp

Corresponding Author: Rikiya Sunakawa

Address: 1 Senbaru, Nisihara, Nakagami, Okinawa, Japan, 903-0213

Tel & Fax: 098-895-8929

Email: sunakawa@edu.u-ryukyu.ac.jp

I. 緒言

多くのスポーツ選手にとって最大筋力や筋パワーを高めることは、パフォーマンスを決定する上で極めて重要な意味を持ち瞬発系種目^{2, 32)}のみならず、持久系種目^{7, 19)}においても注目されている。これらの体力を獲得するためには、オーバーロードの原理に基づき筋・神経系に一定の負荷を与える必要がある²⁰⁾。今日まで、レジスタンストレーニングの効果や有用性は多くの研究により明らかにされており、目的に応じたトレーニングを定期的に行うことでスポーツのパフォーマンス向上に貢献できると言える。そして、これらのトレーニングプログラムは、トレーニング変数の観点から、様々な方法が提唱されてきた³⁾。

さらに、筋の発揮能力は、最大筋力や最大パワー向上を目的としたトレーニングの事前に強い筋収縮を行った後に一時的に増強するとされ、この現象は活動後増強 (Post-activation potentiation: 以下「PAP」と略す) として知られている^{15, 27, 35)}。一時的に力発揮能力が増強する理由の一つとして、ミオシン制御鎖のリン酸化反応が考えられており、後続の筋収縮中に筋小胞体から放出されるカルシウムイオン (Ca^{2+}) 濃度の増加に伴い、アクチン—ミオシンの感受性が亢進されると考えられている^{1, 17, 31, 34)}。このことは、高負荷レジスタンストレーニング後にプライオメトリクスや爆発的パワーを要するエクササイズを実施することで、より高いトレーニング刺激を与えることが期待できる。しかしながら、この現象を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応用しようとした研究は限られている。実際、事前の筋収縮により筋力が増加するとの報告^{4, 15, 27, 35)}がみられる一方、変化しない、または減少するとの報告^{21, 22, 28)}もあり見解が一致していない。PAPの効果については、事前の運動強度が高い方が低強度と比較し、その後のジャンプパフォーマンスに好影響を与える^{12, 23)}ことや性差、筋線維タイプの違いによる発揮筋力の増加パターンが異なることが報告されている^{18, 33)}。また、事前の筋収縮において筋線維の短縮速度の違いがその後の筋力発揮の増加に影響を及ぼす^{5, 13)}ことや等尺性および短縮性筋収縮の時間や強度によってはPAPによるプラスの効果よりも筋疲労によるマイナスの影響を受けることが示されている^{11, 14)}。これらの研究結果は、個人差、筋力発揮の様相や強度による筋疲労の影響を考慮する必要性を示唆している。

このヒトを対象としたPAPに関する研究は、2000年頃を境に基礎的研究が活発に行われ、その効果について様々な検証がされてきた。しかし、前述したように必ずしも見解が一致していない理由として、被験者の筋力レベルの違いや扱う運動種目、強度、時間、筋収縮速度などのトレーニング変数の影響を十分に考慮されていない可能性がある。これまでPAPの効果が認められた先行研究の多くは高強度の負荷を用いているが、レップやセット数はそれぞれ異なり、PAPの効果 (逆効果) を一概に比較できない。また、同被験者を対象に総仕事量を統一した上で低強度、中強度、高強度の負荷の違いによるPAP効果の相違を示した研究はみられない。さらに、PAPの現象を最大筋力や最大パワーの向上を必要とする競技パフォーマンスに応用するとすれば、より実践的なウォーミングアップ方法の提示が必要とされる。そこで本研究は、下肢のレジスタンストレーニング種目として代表的なスクワ

ットを用い、総仕事量を統一した上で、負荷の違いによる等張性筋収縮活動が、PAPに与える影響について明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 対象

本研究における測定参加者は、日頃トレーニング経験を有する健康な男子大学生8名 (年齢: 20.9 ± 1.3 歳、身長: 1.73 ± 0.03 m、体重: 71.8 ± 10.2 kg、BMI: 23.9 ± 3.0 kg/m²) であった。すべての参加者は、大学の運動部に所属しており、各競技 (アメリカンフットボール、ラグビー、バレーボール、硬式野球、陸上競技短距離・跳躍) のトレーニングに加え、週2回以上のレジスタンストレーニングを行っている熟練者であった。測定参加に先立ち研究の目的、主旨および測定内容に関する十分な説明を口頭および書面にて行い、その内容に承諾したうえで測定に参加した。なお、本研究はヘルシンキ宣言の趣旨に準拠して倫理的配慮のもと行われた。

2. 測定項目および測定方法

本研究は、下肢の代表的なエクササイズとしてバック・フル・スクワットを用いて、低・中・高強度の3種類の負荷を設定し、PAP効果の検証を行った。PAPの評価には、トレーニング前 (以下「事前」と略す) およびトレーニング後 (以下「事後」と略す) のカウンター・ムーブメント・ジャンプ (以下「CMJ」と略す) の各パラメータを分析した。また、PAP効果には筋線維タイプ等の影響を受ける可能性が示唆されていることから^{18, 33)}、その個人差を特定する試みとして、筋線維タイプ、筋量および運動単位の動員様式などの筋形態や機能的特性を間接的に評価できる最大無酸素パワーとの関連^{8, 25, 26)}を調べた。以下にその測定方法と実験手順を示す。

1) スクワット最大挙上重量測定

すべての測定参加者は、事前に十分なウォーミングアップを行った後にバック・フル・スクワットの最大挙上重量 (以下「1RM」と略す) を直接法にて測定した。なお、スクワットのしゃがみ込むポジションは大腿部後面と下腿部後面が触れるまでの位置とした。測定は、1セット目に自己申告した重量 (約60%–70%1RM) で6–8レップ、続いて2セット目に3–5レップ行った。3セット目以降は1レップずつ行い、5–10kgの範囲で負荷を漸増させ、挙上に失敗した直前の試技を1RMとした。試技は6セット以内で終了するように負荷を調整し、セット間は、疲労の影響を考慮して少なくとも3分以上の十分な休息を設け実施した。

2) CMJ測定

CMJの測定は、図1に示すように腕の振り込み動作を制限し、測定器具のストラップを装着したバー (650g) を肩に担いだ状態から最大努力での跳躍とし、CMJのしゃがみ込む深さは任意とした。その際、バーが肩から離れないように注意し、できる限り垂直に跳躍するように指示した。試技は3回行い跳躍高が最大となる値を分析対象とした。これらの項目はリニアポジションランデューサ (GymAware Power Tool, Kinetic Performance Technologies, Canberra, Australia) を用いて測定し、ピークパワー

(以下「PP」と略す)、ピーク速度(以下「PV」と略す)、平均パワー(以下「MP」と略す)、平均速度(以下「MV」と略す)を計測した。得られたデータはすべてiOSアプリ(GymAware Ver2.0.3)からCSV形式でPCにエクスポートし分析を行った。

3) 最大無酸素パワー測定

最大無酸素性能力を評価するために自転車エルゴメーター(Power MaxⅧ、コンビ社製)を用いて三段階の負荷をそれぞれ10秒間、2分間の休憩を挟んで全力ペダリングを実施した。なお、最大無酸素パワーは、事前測定として1RM測定とは別日に行い少なくとも2日以上の間隔を設けた。

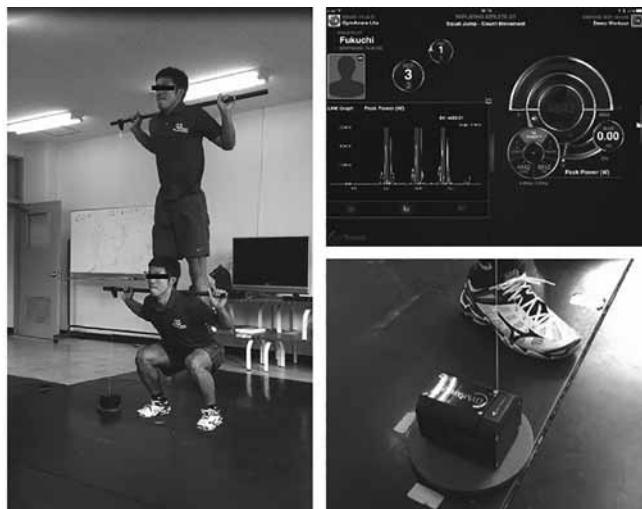


図1. カウンター・ムーブメント・ジャンプの測定

3. 実験手順

本研究は、事前に測定されたバック・フル・スクワットの1RM($104.4 \pm 25.1\text{kg}$)からそれぞれ30%($31.3 \pm 7.5\text{kg}$)、60%($62.6 \pm 15.1\text{kg}$)、90%($93.9 \pm 25.1\text{kg}$)1RMを算出し、事前エクササイズの状態を低・中・高強度と定義し3条件とした。各エクササイズの変数は、それぞれ、30%1RM×3セット×6レップ、60%1RM×3セット×3レップ、90%1RM×3セット×2レップであり、すべての条件の総仕事量を統一し、エクササイズ中のPP、PV、ピーク筋力(以下「PF」と略す)、MP、MV、平均筋力(以下「MF」と略す))

を記録した。PAPの効果を検証するために、CMJ(事前)を測定し、5分間の休憩を挟み各条件でスクワットを実施した。その後のCMJ(事後)については、先行研究¹⁶⁾において、8-12分後にジャンプ高が増加する傾向があることから、本実験では、トレーニング後の休憩時間を8分間と設定し、事前事後においてCMJの各パラメータの変化を分析した。また、3条件の実験はすべてランダムかつ別日に行い、少なくとも実験の間隔を48時間以上とした(図2)。

4. 統計処理

得られたデータはすべて平均値±標準偏差で示した。エクササイズ重量の条件間の差の検定には1要因の分散分析、CMJの事前事後測定の違いの検定には2要因の分散分析を行い、有意差が認められた場合には多重比較検定を行った。最大無酸素パワーとCMJの変化率との関係にはPearsonの相関係数を求め、すべての有意水準は5%未満とし、有意傾向を10%未満とした。また、測定項目の差の大きさを示すために効果量(Δ)を算出した。

Ⅲ. 結果

1. スクワットの各パラメータ

表1にスクワット中のPP、PV、PF、MP、MV、MFの値を示した。本研究では、すべての条件間で総仕事量を統一するため、セット数を3セットに固定し、レップ数を変えて行った。各重量のセット間において、各パラメータに統計的な差は認められなかったため、3セットの平均値±標準偏差を求めた。その結果、すべてのパラメータに重量間で有意な差が認められた($p < .01$)。多重比較検定では、PPとMPにおいて30%および60%1RMが90%1RMよりも有意に高い値を示した($p < .05$)。また、PVとMVでは、重量の増加に伴い有意に低い値となり($p < .05$)、PFとMFでは重量の増加に伴い有意に高い値となった($p < .05$)。

2. CMJの変化

1) CMJの事前測定およびしゃがみ込む深さについて

本研究においてCMJの事前測定では、すべての条件間で統計的な差は認められなかった。また、各条件での事前事後にお

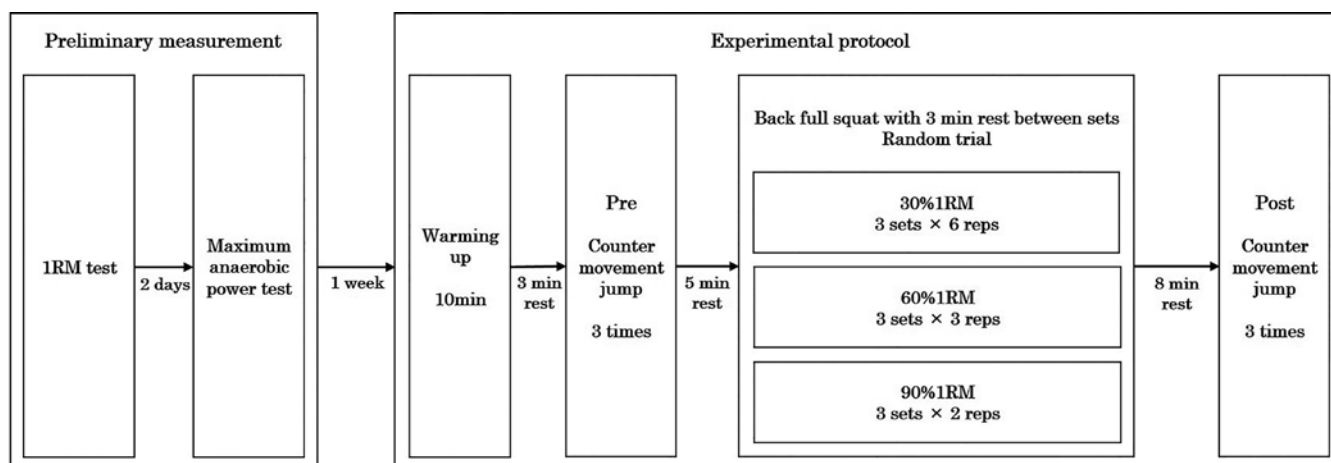


図2. 事前測定(バック・フル・スクワット1RMテスト、最大無酸素パワーテスト)およびPAP効果検証の実験手順

表1. スクワットの各重量におけるパラメータ

Squat %1RM	Parameters					
	PP(W)	PV(m/s)	PF(N)	MP(W)	MV(m/s)	MF(N)
30%	2452.3 ± 410.3	1.82 ± 0.18	1709.8 ± 271.3	1120.7 ± 175.1	1.07 ± 0.11	1073.6 ± 121.3
60%	2321.5 ± 310.5	1.41 ± 0.10	1898.7 ± 297.8	1077.6 ± 143.5	0.81 ± 0.06	1336.5 ± 100.9
90%	1938.0 ± 355.4	1.01 ± 0.10	2161.2 ± 392.8	807.0 ± 138.2	0.49 ± 0.06	1534.2 ± 147.6
ANOVA	**	**	**	**	**	**
Multiple comparison test	30%,60% > 90%	30% > 60% > 90%	30% < 60% < 90%	30%,60% > 90%	30% > 60% > 90%	30% < 60% < 90%

PP:Peak power PV:Peak velocity PF:Peak force MP:Mean power MV:Mean Velocity MF:Mean force **:p<.01

けるCMJのしゃがみ込む深さについて比較した結果（30%1RM：Pre, 0.61±0.05m, Post, 0.60±0.05m, 60%1RM：Pre, 0.61±0.06m, Post, 0.59±0.07m, 90%1RM：Pre, 0.61±0.04m, Post, 0.60±0.05m）、統計的な差は認められなかった。

2) 跳躍高の変化

図3はバック・フル・スクワットの各負荷条件の前後におけるCMJの跳躍高を示したものである。60%および90%1RM条件において、事後の跳躍高（60%1RM：0.475±0.036m-0.498±0.049m, p<.05, ES=0.68；90%1RM：0.474±0.046-0.503±0.051, p<.01, ES=0.63）が有意に高い値を示した。

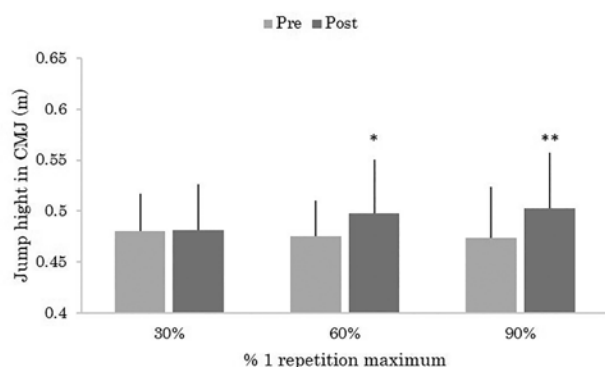


図3. 各負荷条件の前後におけるCMJの跳躍高の比較

*:p<.05 **:p<.01

3) ピークパワーの変化

図4に各負荷条件の前後におけるCMJのPPの比較を示し

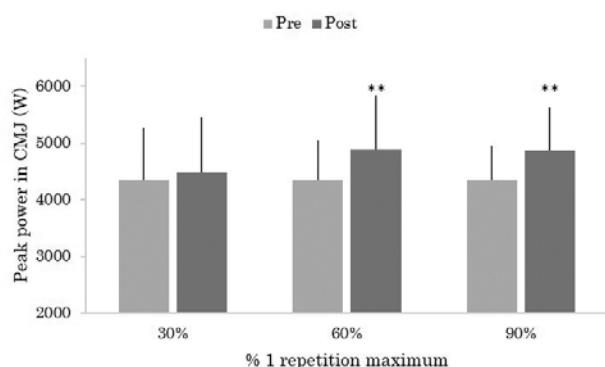


図4. 各負荷条件の前後におけるCMJのピークパワーの比較

**p<.01

た。60%および90%1RM条件において、事後のPP（60%1RM：4346.0±669.6W-4882.9±894.7W, p<.01, ES=0.80；90%1RM：4342.6±562.2W-4881.3±699.4W, p<.01, ES=0.96）が有意に増大した。

4) ピーク速度の変化

図5に各負荷条件の前後におけるCMJのPVの比較を示した。60%および90%1RM条件において、事後のPV（60%1RM：3.32±0.19m/s-3.51±0.26m/s, p<.01, ES=1.03；90%1RM：3.31±0.23m/s-3.45±0.26m/s, p<.05, ES=0.60）が有意に向上した。

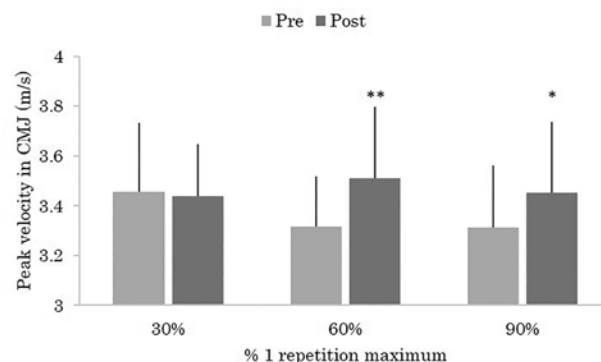


図5. 各負荷条件の前後におけるCMJのピーク速度の比較

*:p<.05 **:p<.01

5) 平均パワーの変化

図6に各負荷条件の前後におけるCMJのMPの比較を示した。60%1RM条件においてのみ事後のMP（60%1RM：1707.9±

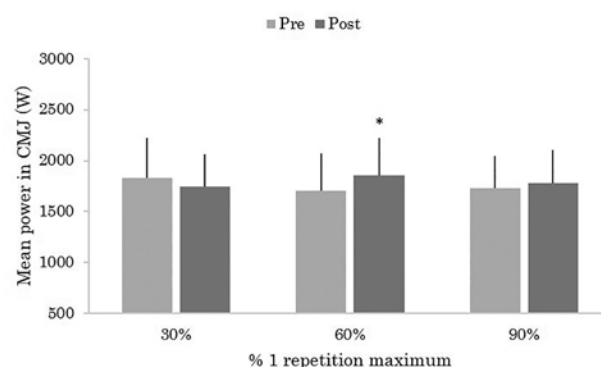


図6. 各負荷条件の前後におけるCMJの平均パワーの比較

*:p<.05

361.2W-1856.3±369.4W, $p<.05$, ES=0.44) が有意に増大した。

6) 平均速度の変化

図7に各負荷条件の前後におけるCMJのMVの比較を示した。すべての負荷条件において統計的な差は認められなかった。

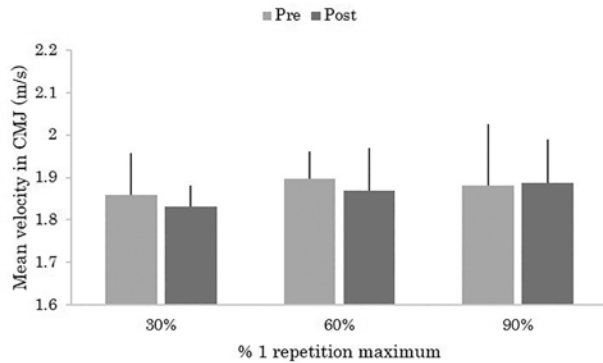


図7. 各負荷条件の前後におけるCMJの平均速度の比較

3. CMJにおける変化率と最大無酸素パワーの関係

事前に測定されたCMJの値をベースラインとして、以下の式より各パラメータの変化率を算出した。

$$\text{Change rate (\%)} = (\text{Post value} - \text{Pre value}) \cdot \text{Pre value}^{-1} \cdot 100$$

自転車エルゴメーターの全力ペダリングによる最大無酸素パワーの値は、861.8±112.9W (11.9±0.8W/kg) であった。本研究において、CMJのすべての項目の変化率と最大無酸素パワーとの間に統計的な差は認められなかったが、60%1RM条件におけるPPの変化率との関係に有意傾向が認められた ($r=0.674$,

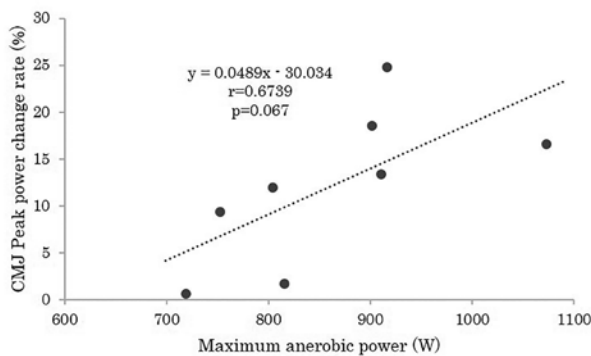


図8. 60%1RM条件におけるCMJのPPの変化率と最大無酸素パワーとの関係

$p=0.067$) (図8)。

IV. 考察

1. スクワットの重量間における各パラメータの比較

本研究では、事前エクササイズを負荷を低・中・高強度の3条件に設定し、総仕事量を統一してバック・フル・スクワットを実施した結果、レジスタンスエクササイズ中のパワー、速度、力において重量間で有意な差が認められた。一般的にレジスタンストレーニングにおいて発揮されるパワーは、力と速度で構成され、こ

れらは互いに相反する要素である¹⁰⁾。また、等張性筋活動のように多関節のコーディネーションによって発揮されるパワーは1RMの40-70%の範囲で最大となることが示されている²⁹⁾。本研究において、30%および60%1RMのPPが2400W前後で最大となり90%1RMよりも有意に高い値となった。PFについては重量の増加に伴い、また、PVでは重量の低下に伴いそれぞれ有意に増加したことから、力-速度関係^{6, 10, 29)}の再現性は高いことが示唆された。また、すべての重量条件のセット間で各パラメータに統計的な差が認められなかったことは、本研究で設定したセット数、レップ数および休息時間が疲労に及ぼす影響は少ないことが示され、各セットにおいて十分なパワー発揮が可能でありPAPを誘発するためのプログラムとしての有用性は高いと考えられる。

2. 各重量条件の前後におけるCMJの変化

PAPの効果を検証するためにスクワットの前後にCMJを行い、各条件間の差を判定した。本研究におけるCMJの事前測定では、すべての条件間で統計的な差は認められなかった。すなわち、事後のCMJ数値の変化はその直前のエクササイズの影響を受けるものとして評価することは妥当であると言える。また、各条件の前後におけるCMJのしゃがみ込む深さについて比較した結果、すべての条件で統計的な差は認められなかったことから、CMJの変化は、しゃがみ込む深さに影響されないことが示された。

PAPにおいてプラスの効果が示された研究ではスプリントやジャンプを指標として評価していることが多く、Young et al.³⁵⁾は、高強度(5RM)の負荷を用いたハーフ・スクワット運動後にCMJの跳躍高が約1cm向上したことを報告している。また、ラグビー選手を対象に87%1RMの負荷で3レップのスクワットを行った後、エクササイズ前と比較して跳躍高が4.9%有意に増加したことを報告した研究がみられる²³⁾。さらに、Sotiropoulos et al.³⁰⁾は、低強度群(25-35%1RM)と中強度群(45-65%1RM)のハーフ・スクワット後のCMJにおいて両群ともに跳躍高およびパワー出力に有意な向上が認められたことを示している。本研究において、60%および90%1RMのスクワット後にCMJの跳躍高がそれぞれ4.8%、6.1%の向上が認められ、同様にPPおよびPVにおいても事前のCMJの数値と比べ有意に高い値を示した。このことは、先行研究の結果を支持するものであり、本実験で採用した中・高強度のプロトコルはPAPを誘発する上で、妥当であったことが示唆された。しかし、低強度(30%1RM)においてSotiropoulos et al.³⁰⁾の研究と異なる結果になった理由として、本実験ではスクワット挙上を最大努力で行う一方で、低強度の場合、身体が挙上の勢いで浮き上がってしまう可能性があったため、「挙上の際に足底部が床面から離れないように」との動作制限を加えた。すなわち、スクワット動作のコンセントリック局面終盤において減速したことでPAPのための十分な事前活動が行えなかった可能性が考えられる。また、30%1RMと60%1RMのスクワット時のPP、MPに有意差は認められなかったにも関わらず、60%1RMのみPAPの効果が得られたことは非常に興味深い知見となった。両条件の速度および力を見ると30%1RMでは速度が、60%1RMでは力が有意に高い値を示していた。このことは、PAPに影響を及ぼす要因としてパワーに加え、速度と力の関係性を検討し、低強度の場合、挙上速度

に関連する動作制限の影響を考慮し、さらに詳細に調べる必要性があると考えられる。

Esformes and Bampouras⁹⁾は、スクワットのしゃがみ込の違によるPAPの効果を検証した結果、クォーター・スクワットに比べパラレル・スクワットの方がスクワット前後のCMJの変化率が大きかったことを示しており、スクワットのしゃがみ込む深さは、より深い方がPAPの効果が高いことを示唆している。本実験では、すべての条件でフル・スクワットとしており、股関節、膝関節および足関節の可動域が最大であった。このことから、PAPを促進する上で少なくとも有効な動作であったことが推測される。また、近年、注目されているVelocity Based Trainingにおいて、スピード筋力や爆発的筋力を向上させるためには、挙上する速度が0.8–1.0m/sであることが有効と考えられている²⁴⁾。本研究でPAPの効果が得られた60%1RMおよび90%1RMのPPは、およそ0.9–1.5m/sの範囲であったことから、即時的にこれらの機能が高まったと考えられる。

以上の結果から本研究で用いた中・高強度のスクワットのエクササイズ変数はCMJの跳躍高、PPおよびPVを即時的に向上させPAPの誘発に有用な手段となりうる可能性が示唆された。

3. PAP効果の個人差

PAPの効果については、性差や筋線維タイプによって個人差が生じることが言われており、タイプII線維の割合が多いほどPAPの効果が出現しやすいと述べている^{18, 33)}。このことは、筋量や筋の機能特性がPAPに影響を及ぼす可能性が考えられる。本研究では、個人差を特定する試みの一つとして、CMJの変化率と最大無酸素パワーの関係を検証した。最大無酸素パワーは、スプリント系競技のパフォーマンスとの関係が深く、主としてATP-CP系のエネルギー供給機構に依存するため、筋量、タイプII線維の割合および運動単位の動員増加等が考えられる^{8, 25, 26)}。すなわち、先行研究の報告から仮説としてPAPの効果の大きさと間に正の相関関係が成り立つと考えたが、本実験では、各重量条件のすべての項目で有意な相関関係は認められず、個人差を明確に特定するまでは至らなかった。その要因として、実験参加者数が8名と少数であることと自転車エルゴメーターでの最大努力に不慣れな参加者も含まれていたことから、十分なデータの収集が行えなかった可能性も考えられる。本研究でPAPの効果が最も大きかった被験者は、跳躍高の変化率が90%1RM条件で、11.3%であり、最小値が同条件で1.1%であった。本研究結果から十分な言及はできないが、PAPの効果には何らかの個人差が存在することが推察される。

なお、本研究はあくまでもPAPの個人差に及ぼす要因を検証する手掛かりの一つとして、筋形態や筋機能的特性を間接的に評価できる最大無酸素パワーとの関連を検討したものであり、具体的かつ詳細に個人差を示唆することは容易にできない為、これらを含んだ解釈として捉えていただきたい。今後は、ハイパワー、ミドルパワーおよびローパワー系種目など、より詳細にタイプを分けPAPの効果を検討していく必要があると考えられる。

V. 結論

本研究は、下肢のレジスタンスエクササイズ種目として代表的なスクワットを用い、総仕事量を統一した上で、低・中・高強度の3条件に設定し、負荷の違いによる等張性筋収縮活動が、PAPに与える影響について検証した。その結果、60%および90%1RMの負荷において、その後のCMJの跳躍高およびPP、PVが有意に向上し、PAPの誘発に貢献することが示唆された。また、本実験で採用したトレーニング変数はトレーニングによって生じる疲労の影響を受けないことが認められ、PAPを誘発するためのプログラムとしての有用性は高いことが明らかとなった。しかし、PAP効果の個人差を明確に特定するには至らなかった。

VI. トレーニング現場への提言

本研究の結果から、PAPに与える影響として中・高強度の負荷を用いることが有効であることが示唆された。さらに本研究で採用したバック・フル・スクワットは下肢の関節可動域が最大となり、PAPを効果的に増大させる可能性が考えられる。今回の成果で中強度および高強度のどちらにおいても効果が認められたことは、PAPの効果をj得る際の負荷の選択肢があることを意味する。つまり、トレーニングレベルや内容によってプログラム変数を変化させることが可能であると考えられる。トレーニングの現場でPAPを活用する場合、負荷の設定（中～高強度）と休息時間の設定を考慮する必要がある。本研究では、CMJのPPやPVが増大したことから、爆発的トレーニングを行う事前に本プログラムのような負荷を与えることで、より高いトレーニング刺激を受けることが可能となるのではないだろうか。つまり、トレーニングの目的によって配列を変えることで、前者のような効果を増大することが期待できるのと考えられる。しかし、本研究において、事後の休息時間が8分間と長いことから、実施のワークアウト全体の時間を考えると適さない可能性もある。よって、PAPを活用する場合、すべてのトレーニング種目に応用するのではなく、特定の目的によって使い分けことが現実的な方法であると考えられる。

文献

- 1) Abbate F, Sargeant AJ, Verdijk PW, Haan A De: Effects of high-frequency initial pulses and posttetanic potentiation on power output of skeletal muscle, *J Appl Physiol* 88(1): 35-40, 2000
- 2) Alexander MJ: The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters, *Can J Sport Sci* 14(3): 148-157, 1989
- 3) 有賀誠司, 菅野昌明, 山内武, 伊藤良彦, 2章, 各種トレーニングプログラム法の理論とプログラム, トレーニング指導者テキスト実践編改訂版, 日本トレーニング指導者協会, 大修館書店, 東京, 38-85, 2014
- 4) Baker D: Acute Effect of Alternating Heavy and Light Resistances on Power Output During Upper-Body Complex Power Training, *J Strength Cond Res* 17(3): 493-497, 2003
- 5) Baudry S, Duchateau J: Poactivation potentiation in a human muscle: effect on the load-velocity relation of tetanic and voluntary shortening contractions, *J Appl Physiol* 103(4): 1318-1325, 2007
- 6) Cormie P, McCaulley GO, Triplett NT, McBride JM: Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises, *Med Sci Sports Exerc* 39(2): 340-349, 2007
- 7) Denadai BS, de Aguiar RA, de Lima LC, Greco CC, Caputo F:

- Explosive training and heavy weight training are effective for improving running economy in endurance athletes: a systematic review and meta-analysis, *Sports Med* 47(3): 545-554, 2017
- 8) Dore E, Martin R, Ratel S, Duche P, Bedu M, Van Praagh E: Gender differences in peak muscle performance during growth, *Int J Sports Med* 26(4): 274-280, 2005
- 9) Esformes JI, Bampouras TM: Effect of back squat depth on lower-body postactivation potentiation, *J Strength Cond Res* 27(11): 2997-3000, 2013
- 10) 福永哲夫(総監修), 川上泰雄, 齋藤健司, 福林徹(監修), 新トレーニング用語辞典, 株式会社フィット・プラス, 森永製菓株式会社, 東京, 375, 2007
- 11) Fukutani A, Hirata K, Miyamoto N, Kanehisa H, Yanai T, Kawamori Y: Effect of conditioning contraction intensity on postactivation potentiation is muscle dependent, *J Electromyogr Kinesiol* 24(2): 240-245, 2014
- 12) Fukutani A, Takei S, Hirata K, Miyamoto N, Kanehisa H, Kawamori K: Influence of the intensity of squat exercises on the subsequent jump performance, *J Strength Cond Res* 28(8): 2236-2243, 2014
- 13) Gago P, Marques MC, Marinho DA, Ekblom MM: Passive muscle length changes affect twitch potentiation in power athletes, *Med Sci Sports Exerc* 46(7): 1334-1342, 2014
- 14) Golaś A, Maszczyk A, Zajac A, Mikołajec K, Stastny P: Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports, *J Hum Kinet* 52: 95-106, 2016
- 15) Gourgoulis V, Aggeloussis N, Kasimatis P, Mavromatis G, Garas A: Effect of submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability, *J Strength Cond Res* 17(2): 342-344, 2003
- 16) Gouvêa AL, Fernandes IA, César EP, Silva WA, Gomes PS: The effects of rest intervals on jumping performance: a meta-analysis on post-activation potentiation studies, *J Sports Sci* 31(5): 459-467, 2013
- 17) Grange RW, Vandenboom R, Houston ME: Physiological significance of myosin phosphorylation in skeletal muscle, *Can J Appl Physiol* 18(3): 229-242, 1993
- 18) Hamada T, Sale DG, MacDougall JD, Tarnopolsky MA: Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles, *J Appl Physiol* 88(6): 2131-2137, 2000
- 19) Hicson RC: Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance, *Eur J Appl Physiol* 45(2-3): 255-265, 1980
- 20) 石井直方, 4章, 骨格筋系、神経系、内分泌系と運動, トレーニング指導者テキスト理論編改訂版, 日本トレーニング指導者協会, 大修館書店, 東京, 97-110, 2014
- 21) Jensen RL, Ebben WP: Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance, *J Strength Cond Res* 17(2): 345-349, 2003
- 22) Jones P, Lees A: A biomechanical analysis of the acute effects of complex training using lower limb exercises, *J Strength Cond Res* 17(4): 694-700, 2003
- 23) Kilduff LP, Owen N, Bevan H, Bennett M, Kingsley MT, Cunningham D: Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players, *J Sports Sci* 28(6): 795-802, 2008
- 24) Mann B, Developing explosive athletes: Use of velocity based training in training athletes, 2nd Edition, 2013
- 25) Martin JC, Wagner BM, Coyle EF: Inertial-load method determines maximal cycling power in a single exercise bout, *Med Sci Sports Exerc* 29(11): 1505-1512, 1997
- 26) Mayhew JL, Salm PC: Gender differences in anaerobic power tests, *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 60(2): 133-138, 1990
- 27) McBride JM, Nimphius S, Erickson TM: The acute effect of heavy-load countermovement jumps on sprint performance, *J Strength Cond Res* 19(4): 893-897, 2005
- 28) Scott S, Docherty D: Acute effect of heavy pre-loading on vertical and horizontal jump performance, *J Strength Cond Res* 18(2): 201-205, 2004
- 29) Siegel JA, Gilders RM, Staron RS, Hagerman FC: Human muscle power output during upper- and lower-body exercises, *J Strength Cond Res* 16(2): 173-178, 2002
- 30) Sotiropoulos K, Smilios I, Christou M, Barzouka K, Spaias A, Douda H, Tokmakidis SP: Effect of warm-up vertical jump performance and muscle electrical activity using half-squat at low and moderate intensity, *J Sports Sci Med* 9(2): 326-331, 2010
- 31) Sweeney HL, Bowman BF, Stull JT: Myosin light chain phosphorylation in vertebrate muscle: regulation and function, *Am J Physiol* 264(5): 1085-1095, 1993
- 32) Szymanski DJ, McIntyre JS, Szymanski JM, Bradford TJ, Schade RL, Madsen NH, Pascoe DD: Effect of torso rotational strength on angular hip, angular shoulder, and linear bat velocities of high school baseball players, *J Strength Cond Res* 21(4): 1117-1125, 2007
- 33) Tsolakis C, Bogdanis GC, Nikolaou A, Zacharogiannis E: Influence of type of muscle contraction and gender on postactivation potentiation of lower limb explosive performance in elite fencers, *J Sports Sci Med* 10(3): 577-583, 2011
- 34) Vandenboom R, Grange RW, Houston ME: Threshold for force potentiation associated with skeletal myosin phosphorylation, *Am J Physiol* 265(6): 1456-1462, 1993
- 35) Young WB, Jenner A, Griffiths K: Acute enhancement of power performance from heavy load squats, *J Strength Cond Res* 12(2): 82-84, 1998