

国土舘大学審査学位論文

「活動後増強効果に影響を及ぼすスクワット運動の要因  
—負荷重量および挙上速度損失からの検討—」

砂川 力也

氏 名 砂川 力也  
学位の種類 博士(体育科学)  
報告番号 乙第55号  
学位授与年月日 令和4年3月20日  
学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当  
学位論文題目 活動後増強効果に影響を及ぼすスクワット運動の要因  
—負荷重量および挙上速度損失からの検討—  
論文審査委員(主 査) 特任教授 船渡 和男  
(副 査) 教 授 角田 直也  
(学外副査) 教 授 若山 章信(東京女子体育大学体育学部)

博士論文

題 目 活動後増強効果に影響を及ぼすスクワット運動の要因  
—負荷重量および挙上速度損失からの検討—

氏 名 砂川 力也

国士館大学審査学位論文

「活動後増強効果に影響を及ぼすスクワット運動の要因—負荷重量

および挙上速度損失からの検討—」

砂川 力也



博士學位論文

活動後増強効果に影響を及ぼすスクワット運動の要因  
—負荷重量および挙上速度損失からの検討—

**Factors affecting the post-activation potentiation in squat exercise:  
Examinations from weighted load and lifting velocity-loss.**

2022年3月

砂川 力也

Rikiya SUNAKAWA

## 関連学術論文

- I. 砂川力也, 下嶽進一郎: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, トレーニング指導, 2(1): 18-24, 2017.
- II. 砂川力也:スクワットの重量および挙上速度の違いが活動後増強に与える影響, トレーニング科学, 32(3): 97-107, 2020.
- III. 砂川力也:低負荷でのスクワットにおける挙上速度および仕事量の違いが活動後増強に与える影響, 東京体育学研究, 12: 1-10, 2020.
- IV. 砂川力也, 古堅南美:Velocity-based Training における速度低下率の違いが筋機能特性に与える影響, 九州体育・スポーツ学研究, 35(1): 11-22, 2020.
- V. 砂川力也, 船渡和男:異なる速度低下率を用いたスクワット運動が各セッションの活動後増強に与える影響—トレーニング経過に伴う短期的検証—, トレーニング科学, 33(4): 259-271, 2022.

# 目次

<b>第 I 章 緒論</b> .....	1
1. 序論 .....	2
2. 研究小史 .....	4
1) 活動後増強における活性化と疲労の仮説的關係モデル .....	4
2) 活動後増強におけるエクササイズ変数の要因とパフォーマンス評価.....	8
3) 活動後増強における個体差の影響 .....	10
4) 活動後増強に関連する速度基準の負荷設定.....	12
3. 研究目的 .....	20
<b>第 II 章 研究方法</b> .....	23
1. リニアポジショントランスデューサーを用いた測定方法 .....	24
2. スクワット最大挙上重量の測定.....	27
3. カウンタームーブメントジャンプの測定 .....	28
<b>第 III 章 実験研究</b> .....	31
1. 研究 1 スクワット運動の強度の違いによる活動後増強効果.....	33
1) 目的.....	34
2) 方法.....	35
3) 結果.....	38
4) 考察.....	49
5) 結論.....	52

2. 研究 2 スクワット運動の強度と挙上速度の組み合わせの違いによる	
活動後増強効果.....	53
1) 目的.....	54
2) 方法.....	55
3) 結果.....	58
4) 考察.....	68
5) 結論.....	73
3. 研究 3 スクワット運動の挙上速度および仕事量の違いによる活動後増強効果	
—低強度に限定した異なる条件からの検討— .....	75
1) 目的.....	76
2) 方法.....	77
3) 結果.....	82
4) 考察.....	87
5) 結論.....	92
4. 研究 4 活動後増強効果に関連する挙上速度損失率の研究 .....	93
4-1 スクワット運動の速度損失率の違いによるトレーニング効果	
—活動後増強の促進に向けた速度基準の検討— .....	95
1) 目的.....	96
2) 方法.....	97
3) 結果.....	102
4) 考察.....	116
5) 結論.....	121



4-2 スクワット運動の速度損失率の違いが各セッションの 活動後増強効果に及ぼす影響	
— トレーニング経過に伴う短期的検証 —	123
1) 目的	124
2) 方法	126
3) 結果	129
4) 考察	138
5) 結論	141
4-3 速度損失率 10%条件におけるスクワット運動の負荷の違いが 活動後増強効果に及ぼす影響	143
1) 目的	144
2) 方法	145
3) 結果	148
4) 考察	157
5) 結論	160
<b>第IV章 総括議論</b>	<b>161</b>
1. 活動後増強の評価に対する議論	162
2. 活動後増強の促進を目的とするスクワット運動の妥当性	164
3. 活動後増強効果に対する相対強度基準と速度基準の比較	167
4. 爆発的筋力向上のための活動後増強を応用したトレーニング戦略	172
5. 本研究の限界と課題	176

結論.....	177
参考文献.....	179
謝辭.....	211

# 第 I 章 緒論

## 1. 序論

筋機能の向上には、筋に適切な負荷抵抗を与えることが不可欠であり、多くのスポーツ競技において土台となる下肢の力発揮は極めて重要な役割を果たしている。特にスプリントやジャンプといった爆発的な筋力発揮を必要とする動作では、膝および股関節周辺の筋群が大きく貢献することから、これらの筋群に対し、トレーニングを継続的に実施することで、パフォーマンス向上に寄与することは広く知られている。

一方、筋出力は事前に強い筋収縮を行った後に一時的に増強する現象がみられる。これは Post-activation potentiation (PAP) と呼ばれ、「活動後増強」あるいは、「活性化後増強」と訳される (Sale, 2002)。PAP は一定期間トレーニングを繰り返すことで実現される体力の向上とは異なる短期的な適応であり、その効果は一時的である。PAP 効果には、時間的制限はあるものの、即時的に筋力や筋パワーが増強されるため、PAP によって優れた運動パフォーマンスが発揮されると考えられている。PAP の増強効果は、事前の筋収縮によって条件付けられることから、「コンディショニング収縮 (Conditioning contraction)」あるいは、「コンディショニング活動 (Conditioning activity)」と総称し、PAP の誘発を目的とした随意的な筋活動として定義される (Sale, 2002; Tillin and Bishop, 2009; Wilson et al., 2013)。

ヒトを対象とした PAP に関連するこれまでの研究では、即時的にパフォーマンスが増強したとする報告 (Baker, 2003; Gourgoulis et al., 2003; Young et al., 1998) や改善されないとする報告 (Jensen and Ebben, 2003; Jones and Lees, 2003; Scott and Docherty, 2004) があり、PAP 効果に対する矛盾した見解が示されている。PAP 誘発には、事前に高い筋活動を要することから、筋の活性化と疲労の 2 つの要因を常に考慮する必要がある。そのため、PAP 効果を促進するコンディショニング活動での運動課題が重要となる。下肢の筋力発揮における PAP には、スクワット運動が多く採用され、コンディショニング活動の負荷を決定づける強度、量、速度などのエクササイズ変数 (Golas et al., 2016; Kilduff et al., 2008) が中心に議論されてきた。しかしながら、広範囲にわたるエクササイズ変数が PAP 誘発に影響を与える可能性があり、研究結果の不一致からもコンディショニング活動におけるスクワット運動の強度、量、速度の要因について不明な点が多く挙げられ、PAP に起因するエクササイズ変数の条件や組み合わせについて十分に検討がなされていない。また、PAP には個体差の影響を受けることが指摘されている。スクワット運動などの挙上速度は、個人差や変動性が小さく、極めて安定した数値 (González-Badillo and Sánchez-Medina,

2010) であることが知られており、エクササイズ中の速度損失率を用いることで個別に仕事量を定量化できる評価法 (Galiano et al., 2022; González-Badillo et al., 2015; Pareja-Blanco et al., 2017; Randell et al., 2011) として期待されている。つまり、速度基準のコンディショニング活動によって PAP 現象を促すための活性化と疲労の影響を個別に調整できる可能性が考えられるが、速度基準の PAP 効果については未だ知見が得られていない。

スクワット運動での PAP 効果には動作の類似性の観点 (Dello Iacono et al., 2018) より下肢三関節で発揮されるダイナミックな複合関節運動で評価されることが多い。すなわち、爆発的な筋力発揮であるドロップジャンプやカウタームーブメントジャンプ (Counter movement jump; CMJ) を用いて、跳躍高などの変量が PAP 効果として評価される。とりわけ、CMJ では下肢の伸張-短縮サイクル (Stretch shortening cycle; SSC) を利用して、大きな力積を得ることで離地時の初速度が決定され、跳躍高に影響を及ぼす。したがって CMJ のパフォーマンスには、下肢の伸展筋パワーが大きく寄与することからも、短時間に大きな力を発揮する能力 (Rate of force development; RFD) が必要とされる。RFD は、ジャンプ動作 (Laffaye et al., 2014; McLellan et al., 2011; Nuzzo et al., 2008) をはじめ、様々なスポーツ動作に直接関与することが明らかにされており (Haff et al., 2005; Kawamori et al., 2006; Leary et al., 2012; Slawinski et al., 2010; Stone et al., 2004), RFD の改善が多くの運動パフォーマンスに貢献する可能性が高いと言える。したがって、スクワット運動における PAP 現象をその後のパフォーマンスへと変換するうえで、下肢の爆発的な力発揮能力の評価に CMJ を用いることは、妥当な運動様式であり、スポーツパフォーマンスに貢献する筋機能特性を理解するうえで大きな意義があると考えられる。

スポーツのパフォーマンス向上を目的とする場合、トレーニング現場において PAP 効果を最大限に活用することができれば、高いトレーニング刺激の再現性を高めることが期待できる。さらに、PAP 効果に対する様々なバリエーションでの条件設定が解明できれば、効果的なトレーニングプログラムを処方するうえで有益な情報となる。一方で、変数固定にとらわれず、個々に応じたコンディショニング活動の負荷設定が可能となれば、個別性の観点より非常に有用な方法になると言えよう。特に下肢の筋力発揮は、多くのスポーツ競技者に共通して運動パフォーマンスを支える重要な役割を担うと考えられる。したがって、トレーニング現場での汎用性の高いスクワット運動を用いて、PAP による下肢の爆発的な力発揮を CMJ で評価し、筋機能強化に対するトレーニング効果を探究することは、様々なスポーツのパフォーマンス向上に大きく貢献するものであると言える。

## 2. 研究小史

これまで、PAP に影響を与える様々な要因について検証がなされており、主に下肢の筋機能増強には、スクワットなどのダイナミックな複合関節運動が用いられ、コンディショニング活動の強度や量の観点より PAP 効果について評価されてきた。近年、トレーニングにおける仕事量の定量化や疲労の抑制に速度基準の評価法が用いられ、個別にエクササイズ変数を決定する指標となりつつある。ここでは、PAP の主な要因であるコンディショニング活動のエクササイズ変数および個体差の影響、さらには、速度基準を用いた運動負荷の評価法について、現在まで得られている知見について述べるとともに、PAP 現象を促進する方法を検討するうえで、解決すべき課題を明らかにする。

### 1) 活動後増強における活性化と疲労の仮説的關係モデル

現在における PAP の生理学的メカニズムは、古くから研究され、Hughes (1958) は、カエルの腓腹筋への強縮刺激によって、単一の電気刺激から引き起こされるその後の等尺性収縮力が大幅に強化されることを示しており、近年、動物実験によって得られた基礎研究 (Macintosh et al., 2002; Rassier and Macintosh, 2000) とヒトの骨格筋に対する筋収縮力の応答が検証されてきた (Gullich et al., 1996; Sale, 2002)。PAP の主な要因は、ミオシン調節軽鎖のリン酸化であることが考えられており、筋小胞体から放出されるカルシウムイオン濃度 ( $Ca^{2+}$ ) が増大することでアクチン-ミオシンの感受性が亢進され、筋の活性化が起こり、さらにシナプス前抑制の低下によって筋パワーなどの増大を可能にしていると考えられている (Sale, 2002)。したがって、運動神経からの指令によって筋活動の興奮が起こることから、PAP を促進し、運動パフォーマンスへの貢献を高めるうえで、運動単位の動員増加が極めて重要であると考えられる (Abbate et al., 2000; Grange et al., 1993)。これらのメカニズムが解明されたことにより、特異的なトレーニングやスポーツパフォーマンスへの応用研究がなされ、筋機能向上に寄与することが期待される。

PAP の誘発には、筋の活性化レベルを最大化するうえで対象となるパフォーマンス発揮の前に強い筋収縮を要する一方、コンディショニング活動によって疲労が引き起こされ、実際には筋出力が減少する場合がある。この 2 つの要因を捉えれば、図 I-2-1 に示されるように、PAP は事前の運動によって高まったポジティブな効果 (上部の点線) とその運動をしたことによる疲労の影響によって生じたネガティブな効果 (下部の点線)、さらには、PAP の効果から疲労の影響を差し引いた正味のパフォーマンス (中央の実線) が複雑に関与して

いると言える (Tillin and Bishop, 2009). つまり, PAP と疲労は相殺しあう関係にあり, 両者のバランスが PAP 誘発の有無や増減に関与することを意味する. コンディショニング活動後は PAP 現象が大幅に活性化されるのに対し, 疲労の影響が極めて大きく, 時間の経過によって増強の衰退と回復の促進の差が PAP の効果として出現されるものと考えられている (Robbins, 2005). この PAP に対するポジティブな効果は, ネガティブな効果よりも長く残存することが知られており (Tillin and Bishop, 2009), PAP における活性化と疲労の相互関係を踏まえると, コンディショニング活動後の残存効果と疲労回復の至適時間が重要となる. PAP 誘発におけるリカバリー時間について検討した報告 (Gouvêa et al., 2013; Kilduff et al., 2008; 島ら, 2007; Wilson et al., 2013) によれば, 少なくとも 3 分後からパフォーマンスの向上が出現し, その後 10 分程度まで持続されることが示されている.

コンディショニング活動後のパフォーマンス増強には, 様々な要因が複雑に関与していることが考えられている. 図 I-2-2 は, PAP に関連する要因の相互作用を示したモデルである (Tillin and Bishop, 2009). コンディショニング活動の強度, 量, 筋収縮タイプは, 対象者の特性に応じて異なる影響を与えることが考えられており, その要因は, PAP と疲労のメカニズムを受ける程度に起因することが報告されている. このように PAP を活用したパフォーマンスの強化には, 後述する個体差の影響を強く受けることが考えられており, コンディショニング活動の強度や量, あるいはリカバリー時間などによって個々の PAP 応答が異なることを意味するものである. つまり, PAP は, 対象者の特性に対し合致したコンディショニング活動の条件によって促進され, 逆に条件が合致しない場合, 疲労の影響が大きくパフォーマンスの低下を招くことが考えられる.

このことから PAP 現象を促進するために, 筋の活性化と疲労の影響が個別に最適化されるコンディショニング活動でのエクササイズ変数の条件設定や組み合わせが極めて重要であると考えられる. なお, 本研究では, スクワット運動の強度 (重量とそれを挙上する速度) および量 (負荷重量と速度損失) の観点から PAP 効果に与える要因について検討する.

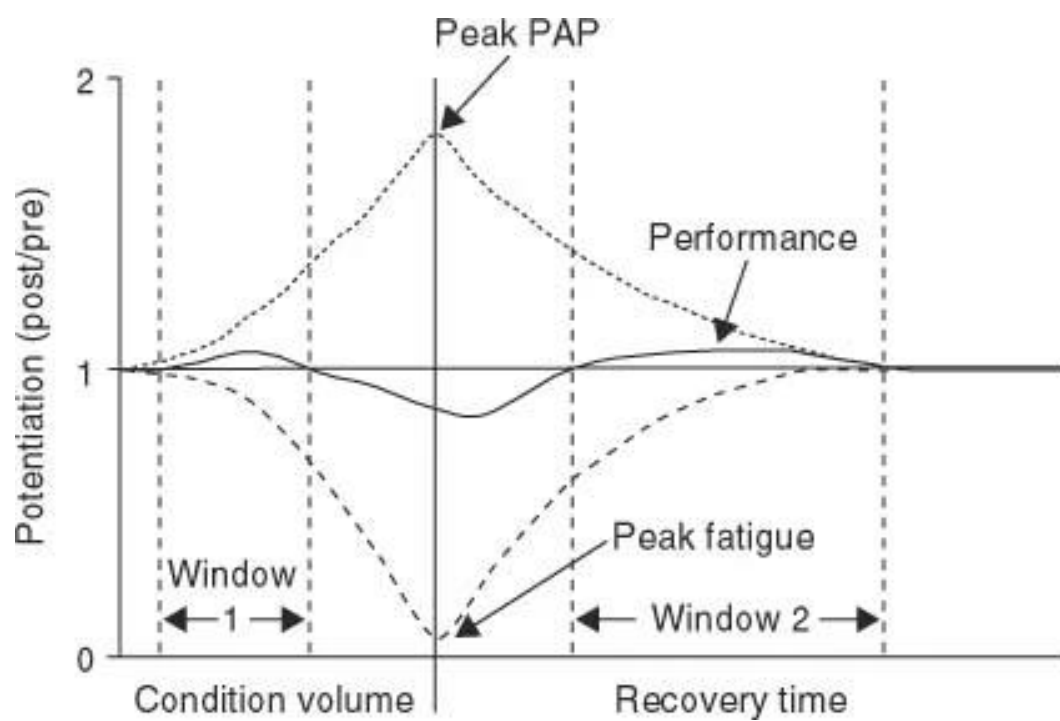
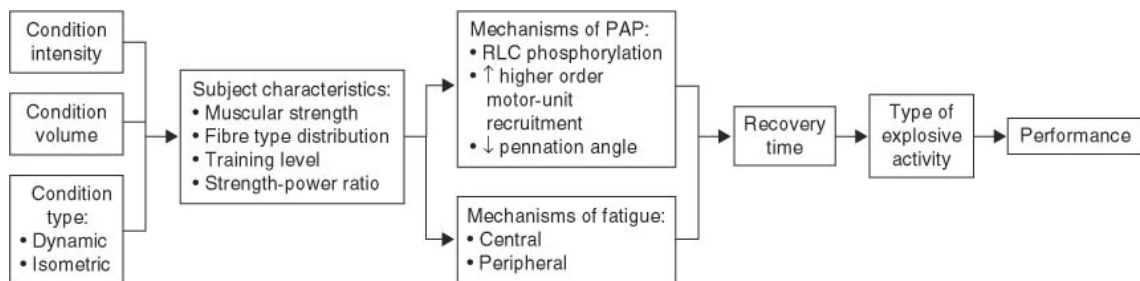


図 I -2-1 活動後増強と疲労における仮説的關係モデル (Tillin and Bishop, 2009)





コンディショニング活動後のパフォーマンスに影響を与える複雑な要因。

コンディショニング活動の強度，量，筋収縮タイプは，被験者の特性に応じて，個人に異なる影響を与える。これらの要因は，PAP と疲労のメカニズムを受け度により影響を与える。PAP の活性化と疲労のメカニズムとの相互作用によって，その後のパフォーマンス増強に必要な回復時間が決定される。相互作用に関係なく，コンディショニング活動に対する爆発的な筋活動の応答は異なる場合がある。ここでのパフォーマンス増強とは，PAP が促進された結果として，その後の運動（ジャンプなど）パフォーマンスに貢献している状態として定義する。

図 I -2-2 活動後増強の相互関係モデル (Tillin and Bishop, 2009)

## 2) 活動後増強におけるエクササイズ変数の要因とパフォーマンス評価

ここでは、PAP 誘発に関連してコンディショニング活動で用いられるレジスタンスエクササイズの強度、量、速度に焦点を当て、本研究で扱う課題を整理し、ジャンプパフォーマンスからみた下肢の PAP 効果について概説する。

### i. 強度と量の要因

パフォーマンス向上を目的にヒトを対象とした 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行われてきた。代表的な検証結果に、Young et al. (1998) の研究がある。彼らは、スクワット運動の経験を有する対象者に対し、最大挙上重量 (One-repetition maximum; 1RM) の 85% の負荷を用いたハーフスクワット (5RM) を 1 セット実施した結果、その後の負荷 (19kg) を加えた CMJ の跳躍高が有意に約 1cm 向上したことを報告している。その他、PAP の効果が確認された研究では、その多くが、コンディショニング活動として中強度および高強度を採用しており (Baker, 2003; Gołaś et al., 2016; Gourgoulis et al., 2003; Kilduff et al., 2008; Lowery et al., 2012; McBride et al., 2005; Weber et al., 2008), 65%1RM 以上の強度において活性化が期待でき、より高い強度 (85%~90%1RM) で増強効果が促進され、運動課題に対して 1~3 セットの総挙上重量が有効である可能性が示されている (Garbisu-Hualde and Santos-Concejero, 2021)。対して、中強度や高強度を扱った先行研究においては、PAP 効果が確認できなかったとする報告も見られる (Ebben et al., 2000; Jensen and Ebben, 2003; Jones and Lees, 2003)。Scott and Docherty (2004) は、トレーニング熟練者を対象に、4 回のテストセッションによって 5RM ( $164.2 \pm 25.1\text{kg} \sim 196.9 \pm 23.0\text{kg}$ ) のハーフスクワット前後におけるジャンプパフォーマンスを比較している。その結果、いずれのセッションにおいても有効な変化を示さなかったと報告し、高強度を用いた PAP 誘発は限定的であり、PAP に関与する様々な要因の組み合わせが重要である可能性を指摘している。

一方、希少ながら低強度を用いたコンディショニング活動において、PAP 効果が報告されており、バリエーションな動作や総挙上重量に影響されることが考えられている (Lum and Chen, 2020; Smilios et al., 2005; Sotiropoulos et al., 2010)。つまり、広範囲のエクササイズ変数が PAP 誘発に貢献する可能性が考えられるが、その組み合わせが多岐にわたり、総挙上重量 (強度×反復回数) の相違から PAP 効果あるいは逆効果を一概に比較することが困難である。例えば、90%1RM を 2 回反復する場合と 80%1RM を 3 回反復する場合を

考えると、前者が高い強度ではあるが、身体に与える刺激の相対的な負荷でみると後者の方が大きいと判断される。言い換えれば、PAP 誘発に対して、コンディショニング活動の強度と量の要因がどの程度寄与するか不明となる。したがって、強度の違いによる PAP の検証を行ううえでは、総挙上重量を統一した条件設定が必要であると考えられる。しかし、同一対象者に対し、総挙上重量を統一した条件下において広範囲（低、中、高）の強度に関連付けられる PAP 応答については検討されていない。

## ii. 挙上速度の要因

PAP は強い筋収縮刺激に応答してメカニズムの促進が起こると考えられるため、コンディショニング活動における動作速度は重要な要因の一つである (Golaś et al., 2017; Seitz and Haff, 2016)。Suchomel et al. (2016) は、ハーフスクワット (90%1RM×1回) を用いてバリスティック動作の有無による増強効果をその後のスクワットジャンプにて評価した結果、バリスティック動作が PAP 誘発に寄与する可能性を報告している。さらに、Sotiropoulos et al. (2010) は、低強度群と中強度群でのハーフスクワット (2回×5セット, 最大速度での挙上) 後に CMJ のパフォーマンスが増強することを示唆している。スクワット運動のようにバーベルを挙上する動作では、同じ重量であっても、加速度が異なれば、挙上速度が変化し、実際に発揮される筋力に違いが生じる。その結果、運動強度が大きく異なり、生体に与える刺激を正確に捉えるうえでは、速度の関与を無視できないと言える。したがって、PAP に影響を及ぼす要因としてコンディショニング活動で用いる重量や反復回数に加え、エクササイズ中の挙上速度を検討する必要性が考えられる。しかしながら、随意的な速度のコントロールによって、力やパワー発揮が大きく異なる中強度以下のエクササイズを用いた強度と挙上速度の違いによる PAP 効果については十分に検討されていない。

## iii. 低強度に対する速度と量の要因

一般的なスクワット運動では、バーベルの変位がほぼ一定であるため、素早くバーベルを挙上しようとする、最終的にバーベルを静止させる必要がある。そのため挙上動作中盤から終盤にかけて減速局面が存在する (Kubo et al., 2018)。最大努力で挙上する際、高強度では減速局面が小さく、反対に低強度ではバーベルを静止するための減速時間が長くなる。力は質量と加速度の積で定義されるため、挙上動作中に減速している間は挙上とは逆向きの加速度が生じ、直立姿勢でバーベルを保持している時よりも小さな力発揮となる。つまり、

プロトコルの条件次第では、可動域終盤までの高い筋活動が困難となる場合も考えられる。そのため、低強度を用いて高い筋活動を再現するためには、バリスティック動作によって、より大きな加速度を得ることが力発揮を増大させる条件の一つになると考えられる (Gołaś et al., 2017; Seitz and Haff, 2016; Smilios et al., 2005)。PAP 誘発に起因する運動単位の動員増加を鑑みれば、コンディショニング活動中の力、速度、パワーの関係性を検討する余地があると言え、低強度においてジャンプ動作の有無を条件付けし、PAP の効果を検討することは重要であると考えが、低強度に限定した挙上速度の影響は検証されていない。また、可動域全般にわたって大きな力発揮が可能となる弾性抵抗を用いた研究 (Lum and Chen, 2020) では、極めて少ない仕事量から PAP の所見が確認されている。このことは、低強度でのバリスティック動作を伴うコンディショニング活動によっても期待される効果であるが、仕事量の影響については不明である。

#### iv. ジャンプパフォーマンスからみた PAP の評価

従来、PAP の生理学的メカニズムを支える根底に生体電気誘発の単収縮特性に基づいた機械的アプローチによって説明されてきた (Prieske, et al., 2020)。この PAP 現象は、スポーツやトレーニングにおいてその後のパフォーマンスに変換されると考えられている。つまり、何らかのアクション後に活動電位や筋のパフォーマンスが増幅することを踏まえると、広義の PAP は、コンディショニング活動後の運動課題における生化学的エネルギーと運動力学的エネルギーの即時的な増大と捉えることができる。

スクワット運動を用いた PAP に関する研究では、PAP 効果がジャンプパフォーマンスによって評価されることが多い (Scott and Docherty, 2004; Gourgoulis et al., 2003; Kilduff et al., 2008; Lowery et al., 2012; Weber et al., 2008; Young et al., 1998)。PAP では、評価されるパフォーマンス動作の類似性 (Dello Iacono et al., 2018) が重要とされており、スクワット運動後の CMJ の変数を評価することで下肢の爆発的な筋力発揮の即時的効果を捉えることができる。したがって、爆発的な筋力発揮を必要とするスポーツ競技において、PAP 現象をジャンプパフォーマンスから評価することは重要な視点であると言える。

### 3) 活動後増強における個体差の影響

ヒトを対象とした PAP に関する研究では、様々なサンプルを対象に検証され、個体差の影響が指摘されている。それらの報告によれば、PAP 効果は女性に比べ男性の方が大きい

傾向 (Rixson et al., 2007; Wilson et al., 2013) にあること、年齢の影響を考慮する必要性 (Arabatzis et al., 2014; Baudry et al., 2008; Titton and Franchini, 2017) が示されている。また、PAP のポジティブな応答を示す研究には、アスリートを対象とした報告 (Comyns et al., 2007; Dello Iacono et al., 2018; Evetovich et al., 2015; Golaś et al., 2017; Kilduff et al., 2008; Lum and Chen, 2020; Titton and Franchini, 2017; Tsolakis et al., 2011) が散見され、メタ分析においてトレーニング熟練者よりもアスリートでは大きな効果量 (0.29 vs 0.81) が示されている (Wilson et al., 2013)。このことは、多くのアスリートにとって大きな力を短時間で発揮する能力がパフォーマンスを決定付ける主要因であるため、日常的に高度な訓練を受けたことによって、骨格筋に対する活性化の適応と疲労耐性が発達することが考えられ、特異的に PAP が誘発される可能性が高いと捉えられる。

PAP の注目すべき特徴の一つに、速筋線維が強い筋収縮刺激に反応してフィラメントの感受性が亢進されるため、より速いタイプ II 線維の割合が大きなヒト、あるいは筋群が PAP の恩恵を得やすいと考えられており (Hamada et al., 2003; Hamada et al., 2000; Tsolakis et al., 2011; Rixson et al., 2007)、PAP の増加率と筋力は相関関係にあることが明らかにされている (Kilduff et al., 2007)。さらに、Chiu et al. (2003) は、爆発的な筋力発揮を必要とするスポーツ選手とレクリエーションレベルでトレーニングを行っている対象者では、PAP 効果が異なることを指摘しており、PAP 効果は比較的高い筋力を有する対象者に有効であることが明らかにされている (Gourgoulis et al., 2003)。

一方で、Kobal et al. (2019) は、ハーフスクワット重量が少なくとも体重の 2 倍以上を記録する、高度なトレーニング熟練者を対象に、コンディショニング活動として 1RM, 3RM, 5RM および 60%1RM (6 回反復) のプロトコルの違いによる PAP 効果を検証した。その結果、統計的に有意な改善は確認できなかったとしており、個人間および個人内において CMJ の一時的な増大には、コンディショニング活動に多くのバリエーションが観察されたことを報告している。これは、筋力の高い集団でありながらコンディショニング活動に対して PAP が個別の反応を示す可能性が考えられる。さらに、PAP におけるリカバリー時間について自己選択により決定する方法では、およそ 3~9 分の個人差が存在し、固定されるリカバリー時間よりも効率的で実用性が高いことが示されている (do Carmo et al., 2021)。

このように、PAP における活性化の残存効果と疲労の回復過程には、個体差の影響を受けることが考えられ、PAP を促進するうえでは、エクササイズ変数の個別化が必要となるが、これらの課題は未だ解決されていない。

#### 4) 活動後増強に関連する速度基準の負荷設定

前述の課題を解決するうえで、主観的強度に依存することなく、なるべく客観的な指標をもって正確にエクササイズ変数の個別化を図ることが求められる。従来、レジスタンストレーニングでは、目的に応じて強度、反復回数、セット数、休息时间などのトレーニング変数の組み合わせによってプログラム内容が構成される。例えば、筋肥大を目的とした場合、80%1RMの強度で、8~10回程度の反復挙上を3~5セット行い、セット間の休息が30~90秒に設定される。つまり、相対的な強度によって反復回数と休息時間が決定されることから、正確な負荷重量を把握することはトレーニング効果の促進を図るうえで重要な位置づけとなる。負荷重量を決定する際は、直接法や間接法から1RMを測定し、得られた記録から相対強度を算出することが一般的な方法である。これらは、対象者の絶対的な最大筋力を評価できるため個人間において負荷を定量化するうえで非常に有効な方法であると言える。ところが、1RM測定を頻繁に行うことは極めて困難であり、数ヶ月の頻度で測定される場合がほとんどである。その結果、トレーニングの経過に伴って、過去の1RMを基準にすることから正確な負荷重量が不明となり、次の測定までのトレーニング負荷の決定には主観的運動強度に依存せざるを得ない。さらに、1RMは日々のコンディションによって変動性が生じる可能性が指摘されている (Chtourou et al., 2012; Mitchel et al., 2016; Souissi et al., 2002; Zourdos et al., 2016)。このことは、相対強度を基準とした負荷設定は、トレーニング期間を通じて客観的に正確な負荷を決定することが困難であり、個人内の変動性を踏まえれば、トレーニングセッション毎に負荷設定の基準が必要であると考えられる。

これまでのPAPに関する研究では、上述の手法により相対強度を基準にコンディショニング活動の負荷重量が選択され、エクササイズ変数を中心に議論されてきた。しかし、PAPにおける個体差の影響や1RMの変動性に鑑みれば、個々のコンディションによってPAP誘発に必要な活性化と疲労を受けるコンディショニング活動での至適強度や量に差異が生じる可能性も否定できない。コンディショニング活動において相対強度を基準に反復回数が固定される場合、同じ条件下でも個人間および個人内でPAP効果（あるいは逆効果）に与える影響が異なる可能性が考えられる。したがって、PAP誘発の再現性を高めるうえで、日々の個別性に応じたコンディショニング活動の負荷設定が重要となる。

近年、速度基準のトレーニング (Velocity-based training; VBT) が注目されており、特定の速度領域内で挙上を反復することで多くの効果をもたらすことが明らかにされている (Randell et al., 2011; Banyard et al., 2018)。VBTの基本的なコンセプトは、挙上速度を

用いてレジスタンストレーニングの負荷を調整するところにある。図 I -2-3 は、トレーニング経験者 120 名を対象に、ベンチプレスでの 1RM をはじめ様々な負荷に対する最大挙上速度を測定し、合計 1,596 個の膨大なデータから負荷—速度関係を示したものである。これらの結果によると、%1RM と挙上速度の間に非常に強い相関関係が示され、%1RM に対する速度の予測式においても極めて高い精度 ( $R^2=0.98$ ) となっている (González-Badillo and Sánchez-Medina, 2010)。さらに同研究では、56 名を対象に 1RM の向上を目的としたトレーニングを 6 週間実施した結果、9.3% (86.9kg—94.5kg) 向上したことを報告している。一方、表 I -2-1 に示すように、30%1RM~100%1RM まで 5%毎の負荷に対する挙上速度において、トレーニング前 (T1) とトレーニング後 (T2) の差は 0.00m/s~0.01m/s を示し、ほぼ同等であったことが明らかとなっている。このことは、様々な筋力レベルにある多くの対象者において、1RM の様々な相対強度に対応する挙上速度はほぼ一定であり、トレーニング経過、あるいは 1RM の向上といった筋力レベルの変化においても、それらの関係は極めて安定していると解釈できる。こうした相対強度と挙上速度の関係から上述のコンセプトが提唱され、挙上速度を用いて正確な負荷を設定することが可能となった。

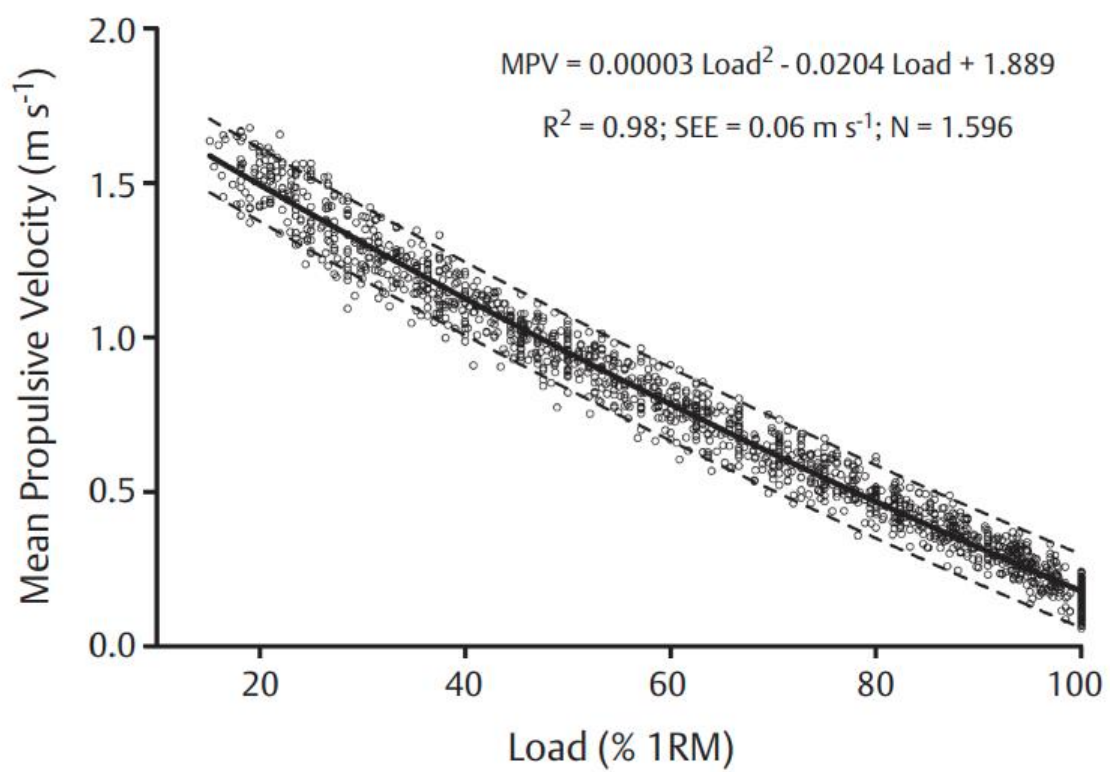


図 I -2-3 相対強度に対する挙上速度の関係

(González-Badillo and Sánchez-Medina, 2010)



表 I -2-1 30%1RM～100% 1 RM の範囲におけるトレーニング前後の挙上速度  
(González-Badillo and Sánchez-Medina, 2010)

Load (%1RM)	T1	T2	Difference (T1-T2)
30%	1.33±0.08	1.33±0.08	0.00
35%	1.24±0.07	1.23±0.07	0.01
40%	1.15±0.06	1.14±0.06	0.01
45%	1.06±0.05	1.05±0.05	0.01
50%	0.97±0.05	0.96±0.05	0.01
55%	0.89±0.05	0.87±0.05	0.01*
60%	0.80±0.05	0.79±0.05	0.01
65%	0.72±0.05	0.71±0.05	0.01
70%	0.64±0.05	0.63±0.05	0.01
75%	0.56±0.04	0.55±0.04	0.01
80%	0.48±0.04	0.47±0.04	0.01
85%	0.41±0.04	0.40±0.04	0.01
90%	0.33±0.04	0.32±0.04	0.01
95%	0.26±0.03	0.25±0.03	0.01
100%	0.19±0.04	0.18±0.04	0.00*

\* Does not exactly coincide with T1-T2 due to the shown values being the result of rounding to two decimal places. Values are mean ± SD (N= 56).

VBT の実践では、リニアポジショントランスデューサー (Linear position transducer; LPT) や加速度計を用いて、エクササイズ中の挙上速度をモニタリングし、強度と量が決定される。そのため、従来の相対強度を基準としたトレーニング (Percentage-based training; PBT) のように重量や反復回数を固定する必要はなく、トレーニング変数をセッションやセット毎に変動させて行える特徴がある (González-Badillo et al., 2011; Pareja-Blanco et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2019)。図 I-2-4 は、Mann, B. (2016) によって提唱されたトレーニング目的に対応した相対強度と速度関係の連続体を模式化したものである。例えば、トレーニング目的が最大筋力の向上であれば、0.5m/s 以下の挙上速度となり、スピードや力の立ち上がりを強化する場合は 1.3m/s 以上の挙上速度となるように負荷が調整され、相対強度の対比では前者が高重量、後者は低重量となる。このように VBT では、挙上速度を基準にセッション毎に負荷の調整が可能であることから、先述した PBT での課題が解消される利点を持つと言える。

VBT には、いくつかのバリエーションが存在するが、目的とする速度領域内で挙上が続けられ、設定された速度以下、あるいは相対的な速度損失率に達すると直ちに運動が終了する。また、設定された速度領域を大きく外れるケースでは速度を基準に重量を増減するため、セット毎に重量や反復回数が異なることから事前に決められた重量や回数をやり遂げるといった概念は除外される。図 I-2-5 は、速度損失率によるセット終了の閾値を 20% とした場合の例である。例えば、トレーニング目的に対応する速度領域を 0.65m/s~0.75m/s とした場合、セット内の最大速度が 1 回目に 0.7m/s が記録され、反復ごとに速度が徐々に低下していき、6 回目でこのセットは終了となる。

## VELOCITY ZONES

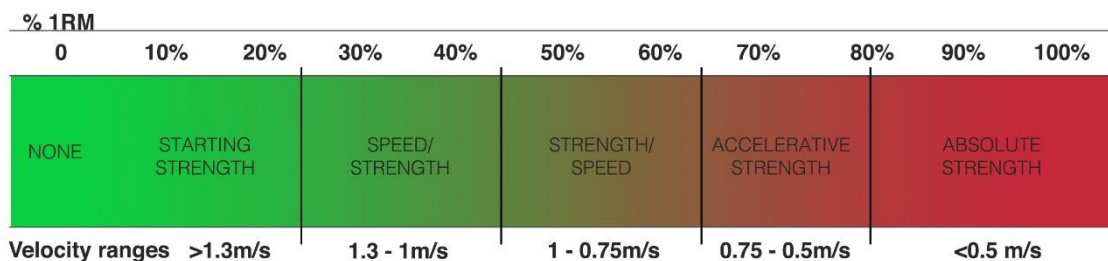
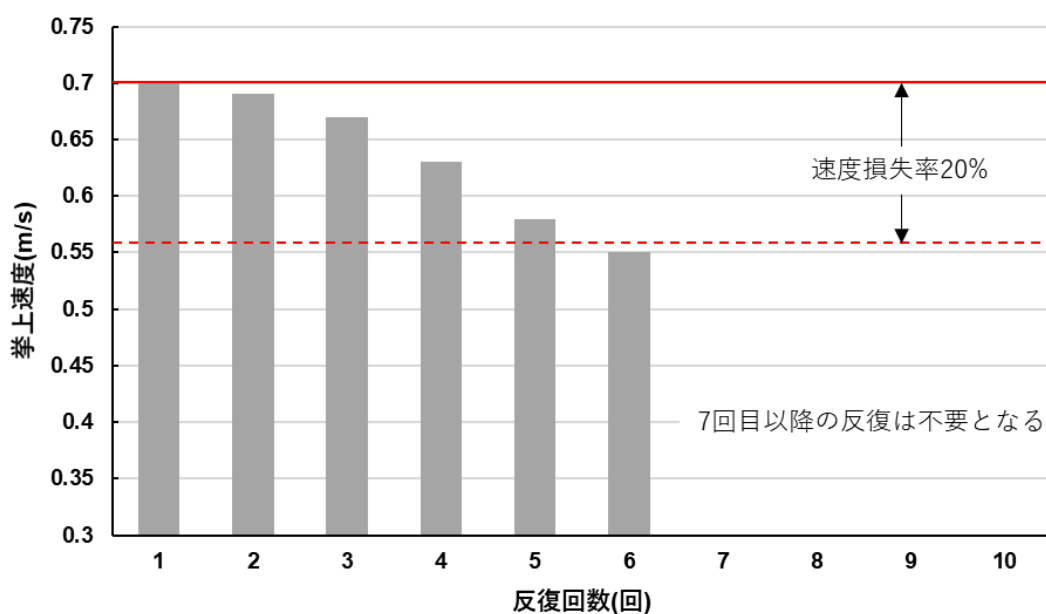


図 I -2-4 トレーニング目的に対応した相対強度と速度関係の連続体 (Mann, 2016)



セット内の最大挙上速度が0.7m/sであった場合、これを100%とし、以降の挙上速度の相対値に基づき、規定される速度損失率の閾値を超えるとそのセットは直ちに終了となる。上記の例では、反復回数（相対速度）が1（100）、2（99）、3（96）、4（90）、5（83）、6（79）となり、6回目で速度損失率21%に達する。

図 I -2-5 挙上速度の損失率によるセット終了の閾値を 20%とした場合の例示

通常、レジスタンストレーニングでは複数回、挙上を繰り返すことからセット内の序盤に比べ終盤では、疲労が蓄積し挙上速度が低下することが知られており（Sánchez-Median and González-Badillo, 2011）、トレーニング中の速度損失の割合は、神経筋疲労の指標となることを意味する。Pareja-Blanco et al. (2017) は、速度損失率が 20% でトレーニングを終了するグループ (VL20) と、同様に 40% のグループ (VL40) のトレーニング効果を比較した結果、1RM や筋横断面積が有意に増大し、群間に統計的に有意な差は認められなかったと報告している。加えて、VL20 は VL40 よりも総反復回数が統計的に有意に少なく（図 I-2-6 の赤のハイライト部分）、かつ軽量での挙上速度や CMJ の跳躍高が有意に向上したと報告している。つまり重量、回数、セット数という総挙上重量で管理されてきた従来の PBT と比較し、VBT は、相対的な挙上速度の損失率を基準とするため、より少ない仕事量で筋機能に多くの影響を与えることが期待できるであろう。したがって、VBT は仕事量を定量化し、疲労耐性が異なる対象者間で疲労による影響を同程度に止めるプロトコルとして有用性が高いと言える（Bogdanis et al., 2014; Gołaś et al., 2016; Kilduff et al., 2008）。

PAP における活性化と疲労の相互関係を踏まえると、速度損失率を利用することで個々の疲労耐性に従ったコンディショニング活動の定量化が期待できる。しかしながら、VBT に関する知見（González-Badillo et al., 2011; Pareja-Blanco et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2019）は、近年、集積されつつあるものの、ターゲットとする速度領域や速度損失率の程度、あるいは個人差の影響など、未確定な部分が少なからず存在するため VBT の妥当性および有用性を検討するうえで、十分な基礎的データが蓄積されていない。そのため速度を基準とした PAP の知見は未だ得られていない。さらに、PAP をトレーニングに応用することを考えた場合、一過性の効果のみならず、トレーニング経過に伴う PAP 効果の再現性や有用性を明らかにすることは、トレーニング現場において有益な情報となり得る可能性がある。しかしながら、速度基準のスクワット運動において、トレーニング経過の観察から各セッションの PAP 効果を検討した事例は見られない。

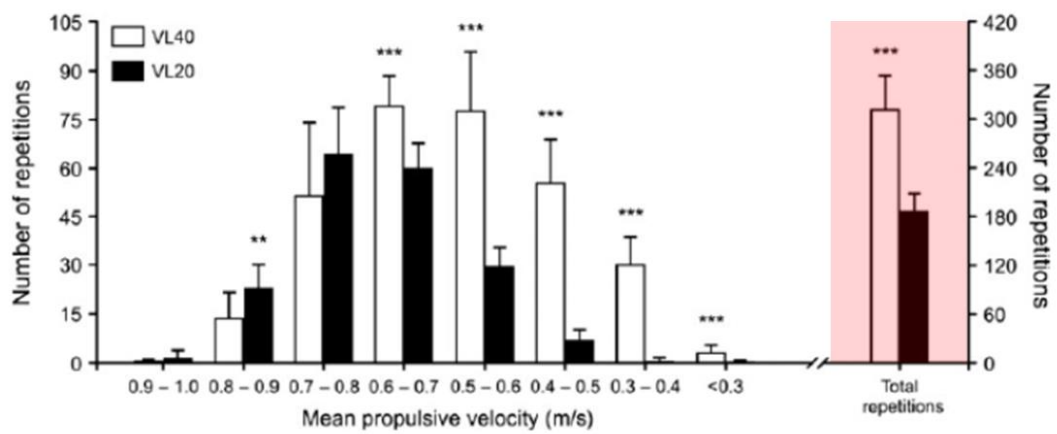


図 I -2-6 各速度範囲でのスクワットの反復回数とトレーニング完了後の総反復回数  
(Pareja-Blanco et al., 2017 より筆者改変)

### 3. 研究目的

本研究目的は、スクワット運動後のジャンプパフォーマンスからみる PAP 効果の要因を明らかにするうえで、以下に示す問題提起に対し、第III章の実験研究により検討することである。まず、相対強度を基準とする評価法を用いて、スクワット運動の強度の違い(研究 1)、強度と速度の組み合わせ(研究 2)、あるいは低強度での速度と仕事量の違い(研究 3)による PAP 効果について注目した。さらに、速度基準の評価法を用いて、トレーニング効果の特性を示すと同時に、PAP に影響を与える速度損失率について検討したうえで、速度基準の負荷設定の違いによる PAP 効果(研究 4)について注目した。

- 1) PAP 誘発に対して、強度と量の要因がどの程度寄与するか不明であるため、本研究では総挙上重量を統一した条件下で強度の違いを明らかにしようとした。このことによって PAP の負荷強度に関する基本的理解が確認できる(研究 1, 出典論文: 砂川力也, 下嶽進一郎: 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, トレーニング指導, 2(1): 18-24, 2017.)。
- 2) 高い筋活動によって PAP が誘発されることから、挙上速度の影響を検討する必要性が考えられる。したがって本研究では、強度と速度の組み合わせの違いによる PAP 効果を検証した(研究 2, 出典論文: 砂川力也: スクワットの重量および挙上速度の違いが活動後増強に与える影響, トレーニング科学, 32(3): 97-107, 2020.)。
- 3) 低強度を用いた PAP の知見は希少であるため、本研究では挙上速度と仕事量の違いから PAP の限定的効果について検証した(研究 3, 出典論文: 砂川力也: 低負荷でのスクワットにおける挙上速度および仕事量の違いが活動後増強に与える影響, 東京体育学研究, 12: 1-10, 2020.)。
- 4) 速度基準について基礎的データの不足と PAP に関する知見が得られていないため、本研究では VBT を実践し、速度損失率の違いによるトレーニング効果(研究 4-1, 出典論文: 砂川力也, 古堅南美: Velocity-based Training における速度低下率の違いが筋機能特性に与える影響, 九州体育・スポーツ学研究, 35(1): 11-22, 2020.) とトレーニング経過の観察から PAP の有益性について検証した(研究 4-2, 出典論文: 砂川力也, 船渡和男: 異なる速度低下率を用いたスクワット運動が各セッションの活動後増強に与える影響—トレーニング経過に伴う短期的検証—, トレーニング科学, 33(4): 259-271, 2022.)。さらに、PAP 効果について速度損失率 10%条件におけるスクワット運動の負荷の違い

から明らかにしようとした（研究 4-2）。このことによって PAP に対する速度基準の評価法について理解が深まる。

以上の検証によって、相対強度基準および速度基準の観点からスクワット運動後の PAP によるジャンプパフォーマンスの向上効果に関連する要因を明らかにするとともに、PAP を活用したトレーニングへの応用について検討する。





## 第Ⅱ章 研究方法

## 1. リニアポジショントランスデューサーを用いた測定方法

体力測定には様々な方法が用いられ、フィールドテスト（握力や垂直跳びなど）のように一般化されたものや、測定条件を緻密に統制するラボラトリーテストなどでは専門的な能力を評価する。特にトレーニング効果としての筋力や筋パワーを考究する場合、スポーツ科学の分野では、主に生化学的エネルギー、あるいは力学的エネルギーの観点より評価されることが多い。力学的評価では、骨格筋の活動によって出力された物理量（力、速度、パワー等）の変化を示し、等速性筋力測定装置、床反力計、慣性センサーなどを用いて測定される。

本研究では主に LPT (GymAware Power Tool, Kinetic Performance Technologies, Canberra, Australia) を用いて、エクササイズ中の力、速度、パワー等を評価する。GymAware はトレーニング器具や身体局部にケーブルを取り付け、そのケーブルの移動距離と時間からデータを計測し、以下に示す運動学の法則に基づいて算出される。①ケーブル変位(挙上方向)の時間微分により速度を、②速度の時間微分から加速度を求める。そして、③バーベル質量(身体質量も含める場合もある)に重力加速度(9.81m/s<sup>2</sup>)と加速度の積によって力を求め、さらに、④力と速度の積によってパワーが算出される。これらの数値は、Bluetooth で接続された iOS デバイスのアプリケーション上でデータ取得を行い、挙上毎にリアルタイムで表示される(図 II-1)。本研究は、スクワット運動および CMJ において GymAware アプリケーションの操作手順(図 II-2)に従い、測定を実施した。データ取得の周波数は、約 29,000Hz に相当し、3D モーションキャプチャシステム(16 camera Vicon System, Nexus 1.85, Vicon Motion Systems, Oxford, UK) で記録されたスクワットの平均速度、ピーク速度およびピーク速度までの時間との間に有意な相関関係( $r=0.957\sim 0.990$ )が示されている(Lorenzetti et al., 2017)。また、フォースプレートと GymAware で収集された測定値の比較から力、速度およびパワーの評価に対する有効性(Banyard et al., 2017)が報告されており、その他、先行研究(Dorrell et al., 2019; Grgic et al., 2020; Orange et al., 2019; Orange et al., 2020)において、高い信頼性と妥当性が確認されている。

本研究では、LPT で測定されたパラメータを指標にスクワット運動中、あるいは CMJ におけるパフォーマンスの変量を評価し検討することとした。

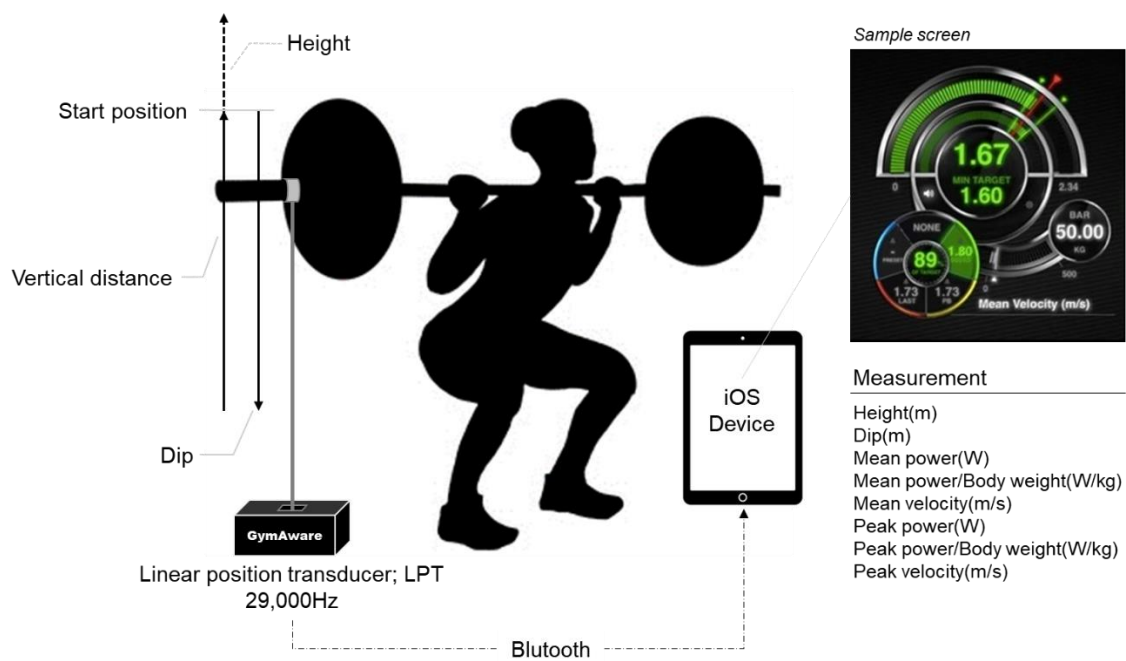
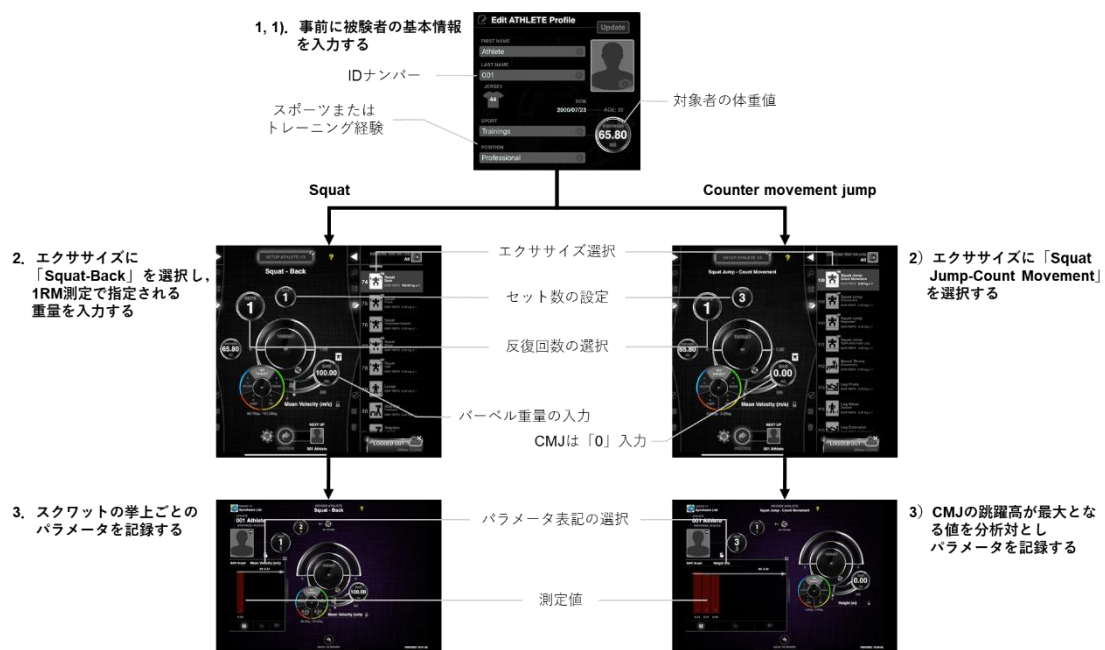


図 II-1 リニアポジショントランスデューサーを用いた測定システム



1. 被験者の基本情報（ID、体重、生年月日等）の入力（共通事項）。
2. エクササイズ種目（スクワット、CMJ）の選択、重量、回数、セット数等の入力。
3. エクササイズの実践（反復毎のビープ音で、被験者は聴覚的に確認ができる）。
4. 記録されたパラメータ表記（速度やパワーなど選択可能）の確認。
5. アプリケーションから CSV 形式でデータをエクスポート。
6. 取得データは ID で紐づけされ、蓄積される形で測定ごとにアップデートされる。

図 II-2 GymAware アプリケーションの操作手順

## 2. スクワット最大挙上重量の測定

事前に被験者の ID ナンバーと測定時の体重値を GymAware アプリケーションに入力し、スクワット測定時に指定されるバーベルの重量を入力して測定を行った。スクワットの 1RM 測定は、NSCA (National strength and conditioning association) のガイドライン (Baechle and Earle, 2002) に従い、首の付け根の高さで、三角筋後部にバーベルを渡し直立姿勢を保持するハイパーポジションで肩幅程度のスタンスを開始姿勢とした。スクワット運動の際、大腿部後面と下腿部後面が触れる位置までを動作規定とし、試技の前には十分な動作練習を行った。なお、安全性を考慮し、被験者にはスクワット専用ベルトの着用を義務付け、スクワットラック内にセーフティーバーを設置したうえで補助者 3 名を配置した。被験者がスクワットラック内の中央に位置するように、床面に左右対称となるセンターラインと、それに直行するラインを記した。被験者は、測定開始前にスタンス位置を確認した。LPT (GymAware) は、上述の位置でバーベルを担いだ状態からケーブルが鉛直となるように本体の位置を調整し、付置された強力マグネットで固定された。測定は直接法にて行い、1 セット目に自己申告した重量 (約 60%~70%1RM) で 6~8 回、続いて 2 セット目に重量を付加 (75%~85%1RM) して 2~4 回行った。3 セット目以降は 1 回ずつ行い、2.5~10kg の範囲で重量を漸増させ、挙上に失敗した直前の試技を 1RM とし、最小単位は 2.5kg とした。試技は 7 セット以内で終了するように重量を調整し、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た。これらは、GymAware を用いて測定し、スクワットのスタートポジションから最下降点までのケーブルの変位からしゃがみ込む深さを、最下降点から挙上後の最高点の変位より鉛直距離を求め、運動学的変数 (変位, 速度, 加速度) の関係より、Peak power (PP), Peak velocity (PV), Peak force (PF), Mean power (MP), Mean velocity (MV), Mean force (MF) を計測した。得られたデータはすべて iOS アプリケーション (GymAware Ver2.0.3, Ver2.6, Ver2.9.4) から CSV 形式で PC にエクスポートし分析を行った。

### 3. カウンタームーブメントジャンプの測定

事前に被験者の ID ナンバーと測定時の体重値を GymAware アプリケーションに入力し、測定を行った。CMJ の測定は、腕の振り込み動作を制限し、GymAware のケーブルを装着したバー（650g）を両手で握り、肩に担いだ状態から反動を用いた最大努力での跳躍とした。その際、バーが肩から離れないように注意し、上体の過度な前傾を避け、可能な限り垂直に跳躍するように教示した。被験者は、これらの動作を習得するために測定前に十分な跳躍練習を行った。試技は 3 回行い、跳躍高が最大となる試技を分析対象とした。なお、被験者は、試技毎に踏切位置を確認したうえで、同じスタートポジションとなるように注意し、試技間は 10 秒程度の間隔を設けた。これらの項目はスクワット 1RM 測定と同様に GymAware を用いて計測し、跳躍高、パワー、速度を分析した（図 II-3）。



図 II-3 カウンタームーブメントジャンプの測定風景





## 第Ⅲ章 実験研究



## 1. 研究1 スクワット運動の強度の違いによる活動後増強効果

## 1) 目的

PAP は、事前の強い筋収縮によって、その後の力発揮が一時的に増強する現象であることから、高強度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 (Baker, 2003; Gourgoulis et al., 2003; McBride et al., 2005; Young et al., 1998) がみられる一方、変化しない、または減少するとの報告 (Jensen and Ebben, 2003; Jonse and Lees, 2003; Scott and Docherty, 2004) もあり見解が一致していない。スクワット運動後の PAP 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 (Fukutani et al., 2014b; Kilduff et al., 2008) 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 (Hamada et al., 2000; Tsolakis et al., 2011)。また、事前の筋収縮における速度の違いがその後の筋力発揮の増強に影響を及ぼす (Baudry and Duchateau, 2007; Fukutani et al., 2013; Gago et al., 2014) 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 によるポジティブな効果よりも筋疲労によるネガティブな影響を受けることが示されている (Fukutani et al., 2014a; Golaś et al., 2016)。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様式、強度、時間、筋収縮速度などのエクササイズ変数の影響が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を用いているが、反復回数やセット数はそれぞれ異なること、また、広範囲のエクササイズ変数が PAP の誘発に貢献する可能性 (Baker, 2003; Fukutani et al., 2014b; Gourgoulis et al., 2003; Sotiropoulos et al., 2010; Young et al., 1998) が考えられることから、コンディショニング活動における強度と量の要因が PAP の誘発にどの程度寄与するかは不明である。したがって、強度の違いによる PAP 効果を検証するうえで、総挙上重量を統一した条件設定が必要であると考えられる。しかしながら、同一対象者に対し、総挙上重量を統一した条件下において広範囲の強度に関連付けられる PAP 応答については十分な検討がなされていない。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、爆発的な筋力発揮を伴う複合関節運動の等張性筋収縮を用いた、より実践的な運動課題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エクササイズとして代表的なスクワット運動を用い、総挙上重量を統一したうえで、強度の違いによるコンディショニング活動が、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。

## 2) 方法

### i. 被験者

被験者は、トレーニング経験を有する健常な男子大学生 8 名（年齢：20.9±1.3 歳，身長：1.73±0.03m，体重：71.8±10.2kg，BMI：23.9±3.0kg/m<sup>2</sup>，スクワット 1RM：104.4±25.1kg，スクワット体重比：1.42±0.21）であった。すべての被験者は、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おり、トレーニングの経験年数は 1 年以上、4 年未満であった。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遵守して倫理的配慮のもと行われた。

### ii. 測定項目および測定方法

#### ii-1. スクワット 1RM および CMJ の測定

本研究は、第 II 章の研究方法で示した手順に従い、スクワット 1RM および CMJ の測定を行った。なお、CMJ におけるスクワット運動前 (CMJ<sub>pre</sub>) の値をベースラインとして、スクワット運動後 (CMJ<sub>post</sub>) の値から以下の式によって変化率を算出した。

$$\text{Change rate (\%)} = (\text{CMJ}_{\text{post value}} - \text{CMJ}_{\text{pre value}}) \cdot \text{CMJ}_{\text{pre value}}^{-1} \cdot 100$$

#### ii-2. 最大無酸素パワー測定

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 (Hamada et al., 2000; Tsolakis et al., 2011)，その個人差を特定する試みとして、筋線維

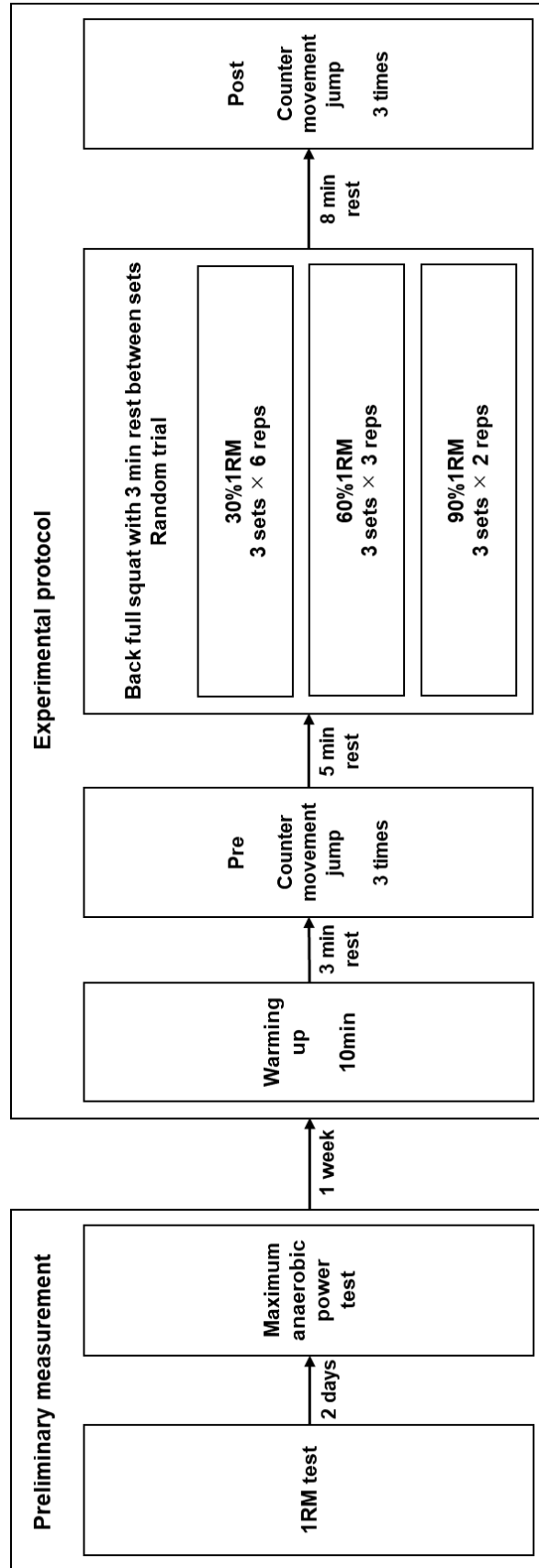
タイプ、筋量および運動単位の動員様式などの筋形態や機能的特性を間接的に評価できる最大無酸素パワーとの関連 (Dore et al., 2005; Martin et al., 1997; Mayhew and Salm, 1990) を調べた。最大無酸素性能能力を評価するために自転車エルゴメーター (Power Max VIII, COMBI) を用いて三段階の負荷をそれぞれ 10 秒間、2 分間の休憩を挟んで全力ペダリングを実施した。なお、最大無酸素パワーは、事前測定として 1RM 測定とは別日に行い少なくとも 2 日以上の間隔を設けた。

### iii. 実験手順

本研究は、事前に測定されたスクワット 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、最小単位を 2.5kg とした。コンディショニング活動の条件を低・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 回、60%1RM×3 セット×3 回、90%1RM×3 セット×2 回であり、すべての条件の総挙上重量を統一し、エクササイズ中の PP, PV, PF, MP, MV, MF を記録した。PAP の効果を検証するために、CMJ<sub>pre</sub> を測定し、5 分間の休憩を挟み各条件でスクワット運動を実施した。CMJ<sub>post</sub> については、先行研究 (Gouvêa et al., 2013) において、8~12 分後にジャンプ高が増加する傾向にあることから、本実験では、スクワット運動後のリカバリー時間を 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。なお、3 条件の実験はすべてランダムかつ別日にて行い、少なくとも実験の間隔を 48 時間以上とした (図 III-1-1)。

### iv. 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。スクワット重量の条件間の差の検定には 1 要因の分散分析、CMJ<sub>pre</sub> および CMJ<sub>post</sub> 差の検定には 2 要因の分散分析を行い、有意差が認められた場合には Bonferroni 法による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 の積率相関係数を求め、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、CMJ の差の大きさを示すために効果量 (Cohen's *d*) を算出した。効果量の目安は、小 (0.2 以上 0.5 未満)、中 (0.5 以上 0.8 未満)、大 (0.8 以上) と定めた (水本・竹内, 2008)。



図III-1-1 事前測定（スクワット 1RM テスト、最大無酸素パワーテスト）および PAP の効果検証の実験手順

### 3) 結果

#### i. スクワット運動の各強度におけるパラメータ

表III-1-1 にスクワット運動中の 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挙上重量を統一するため、セット数を3セットに固定し、反復回数を変えて行った。各強度条件のセット間において、各パラメータに統計的に有意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条件間で有意な差が認められた。多重比較検定では、PP と MP において 30%1RM および 60%1RM が 90%1RM よりも有意に高い値を示した。また、PV と MV では、重量の増加に伴い有意に低い値となり、PF と MF では重量の増加に伴い有意に高い値となった。



表III-1-1 スクワット運動の各強度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	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<0.01

## ii. CMJ のパラメータ

### ii-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<sub>pre</sub> 測定では、すべての条件間で統計的に有意な差は認められなかった。また、各強度条件での CMJ<sub>pre</sub> および CMJ<sub>post</sub> のしゃがみ込む深さについて比較した結果 (30%1RM : CMJ<sub>pre</sub>,  $0.61 \pm 0.05\text{m}$ , CMJ<sub>post</sub>,  $0.60 \pm 0.05\text{m}$ , 60%1RM : CMJ<sub>pre</sub>,  $0.61 \pm 0.06\text{m}$ , CMJ<sub>post</sub>,  $0.59 \pm 0.07\text{m}$ , 90%1RM : CMJ<sub>pre</sub>,  $0.61 \pm 0.04\text{m}$ , CMJ<sub>post</sub>,  $0.60 \pm 0.05\text{m}$ ), 統計的に有意な差は認められなかった。

### ii-2. 跳躍高の変化

図III-1-2 はスクワットの各強度条件の前後における CMJ の跳躍高の比較を示した。60%1RM および 90%1RM 条件において、CMJ<sub>post</sub> の跳躍高 (60%1RM :  $0.475 \pm 0.036\text{m} - 0.498 \pm 0.049\text{m}$ , ES=0.68 ; 90%1RM :  $0.474 \pm 0.046\text{m} - 0.503 \pm 0.051\text{m}$ , ES=0.63) が有意に高い値を示した。変化率は、60%1RM が  $4.6 \pm 3.1\%$ , 90%1RM が  $6.2 \pm 4.0\%$ であった。

### ii-3. ピークパワーの変化

図III-1-3 に各強度条件の前後における CMJ の PP の比較を示した。60%1RM および 90%1RM 条件において、CMJ<sub>post</sub> の PP (60%1RM :  $4346.0 \pm 669.6\text{W} - 4882.9 \pm 894.7\text{W}$ , ES=0.80 ; 90%1RM :  $4342.6 \pm 562.2\text{W} - 4881.3 \pm 699.4\text{W}$ , ES=0.96) が有意に増大した。変化率は、60%1RM が  $12.1 \pm 8.2\%$ , 90%1RM が  $12.4 \pm 9.1\%$ であった。

### ii-4. ピーク速度の変化

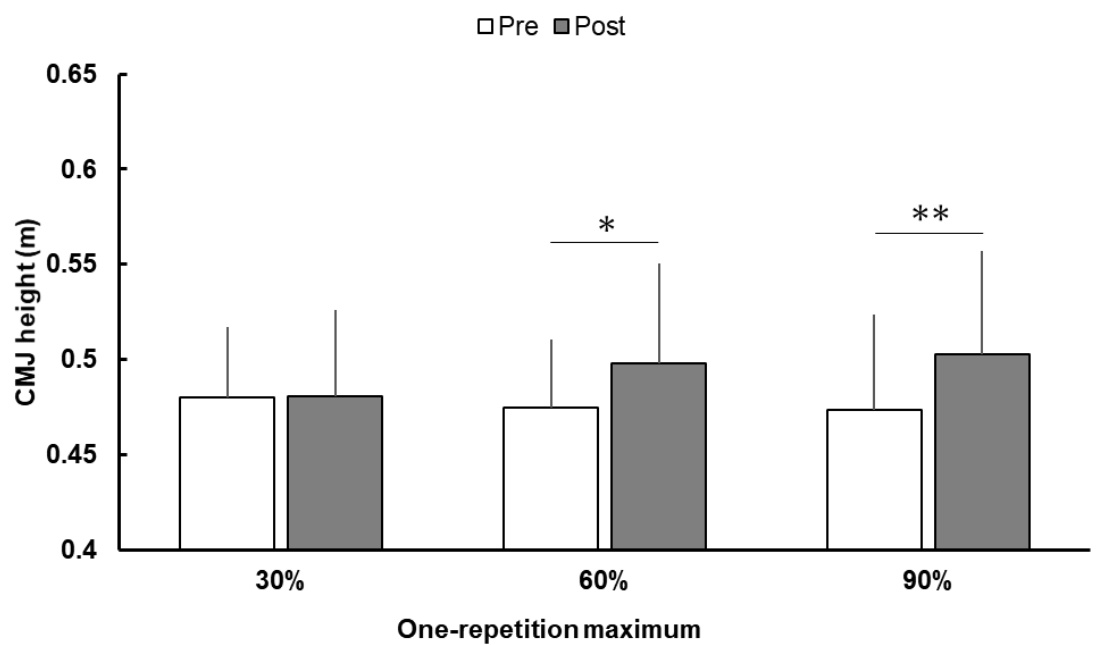
図III-1-4 に各強度条件の前後における CMJ の PV の比較を示した。60%1RM および 90%1RM 条件において、CMJ<sub>post</sub> の PV (60%1RM :  $3.32 \pm 0.19\text{m/s} - 3.51 \pm 0.26\text{m/s}$ , ES=1.03 ; 90%1RM :  $3.31 \pm 0.23\text{m/s} - 3.45 \pm 0.26\text{m/s}$ , ES=0.60) が有意に向上した。変化率は、60%1RM が  $5.7 \pm 4.5\%$ , 90%1RM が  $4.3 \pm 4.4\%$ であった。

### ii-5. 平均パワーの変化

図III-1-5 に各強度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 CMJ<sub>post</sub> の MP (60%1RM :  $1707.9 \pm 361.2\text{W} - 1856.3 \pm 369.4\text{W}$ , ES=0.44) が有意に増大した。変化率は、 $9.2 \pm 8.8\%$ であった。

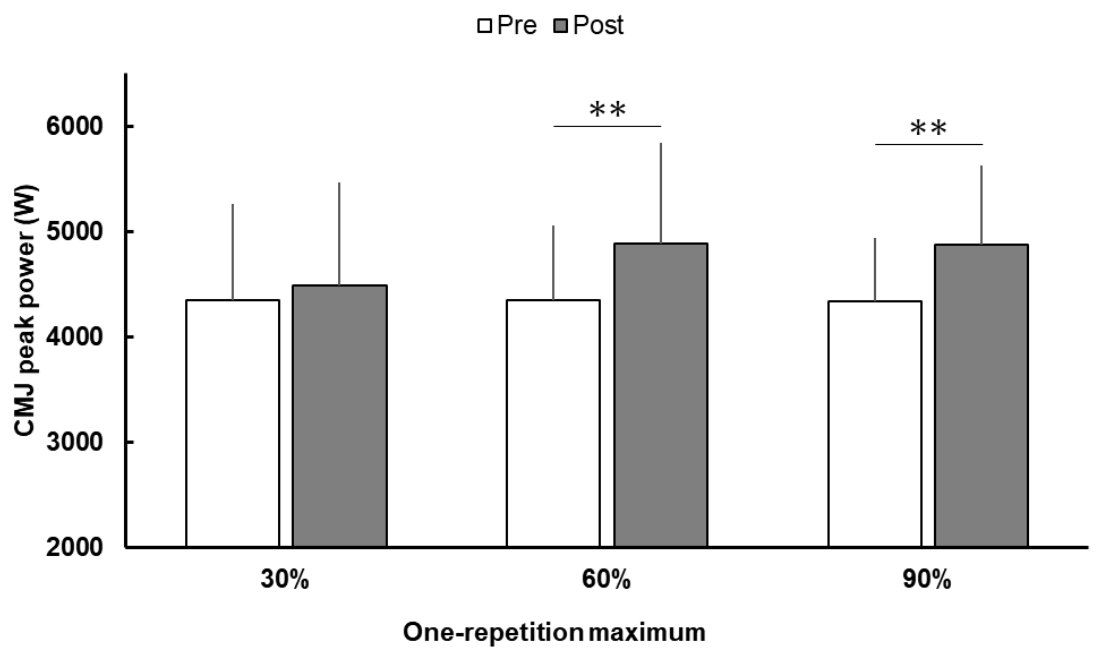
## ii-6. 平均速度の変化

図III-1-6 に各強度条件の前後における CMJ の MV の比較を示した。すべての強度条件において統計的に有意な差は認められなかった。



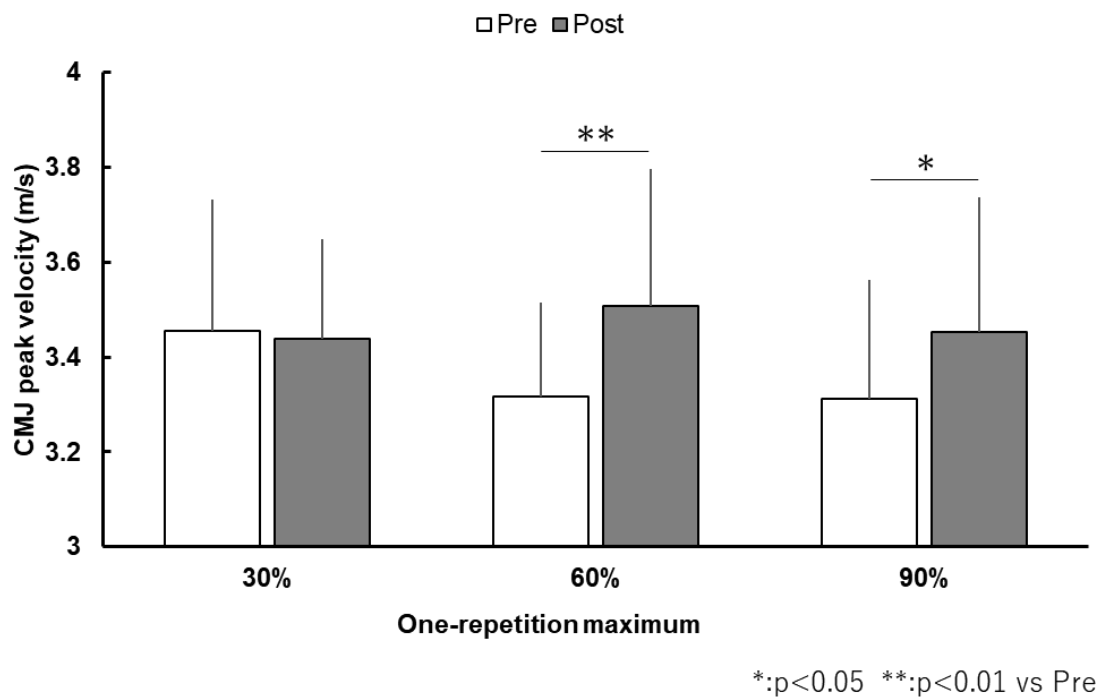
\*:p<0.05 \*\*:p<0.01 vs Pre

図III-1-2 各強度条件の前後における CMJ の跳躍高の比較

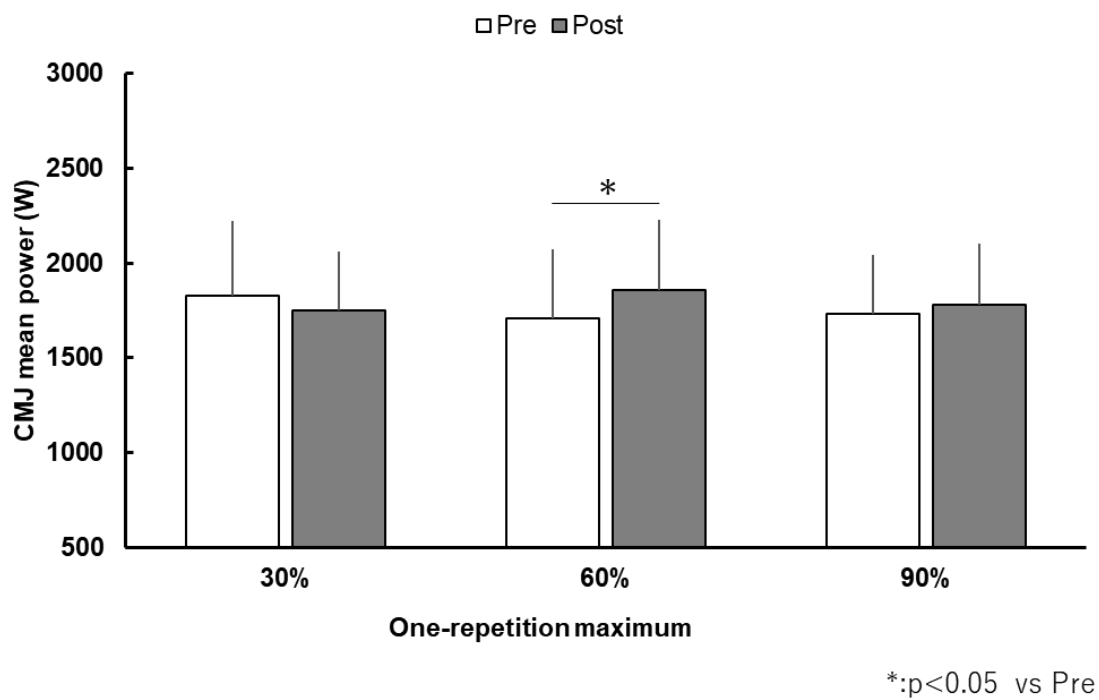


\*\* : p < 0.01 vs Pre

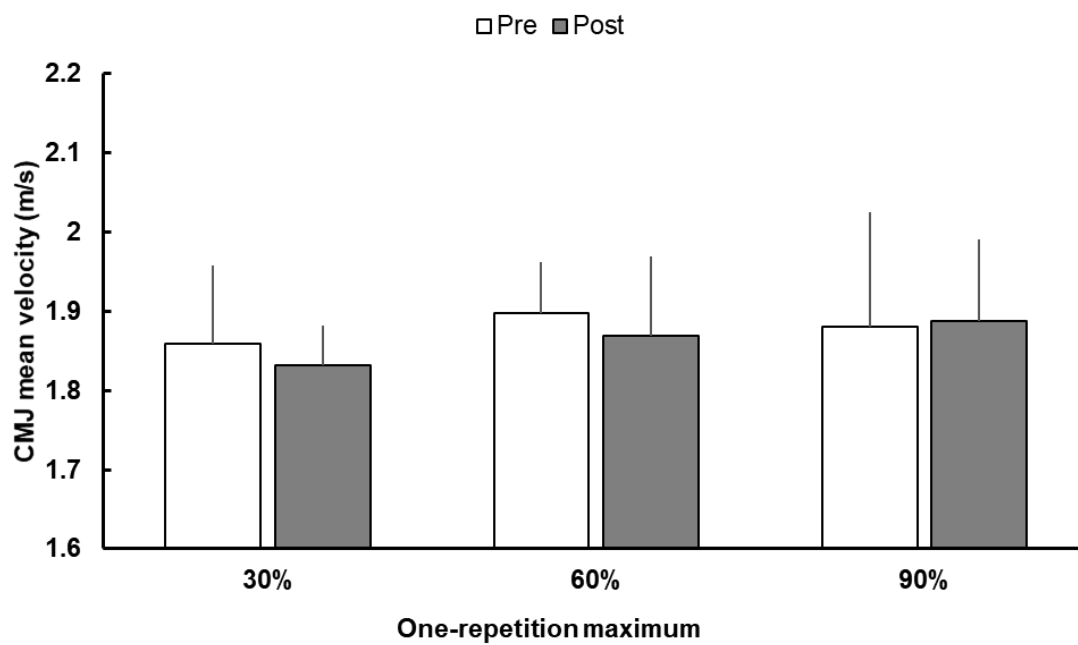
図III-1-3 各強度条件の前後における CMJ のピークパワーの比較



図III-1-4 各強度条件の前後における CMJ のピーク速度の比較



図III-1-5 各強度条件の前後における CMJ の平均パワーの比較

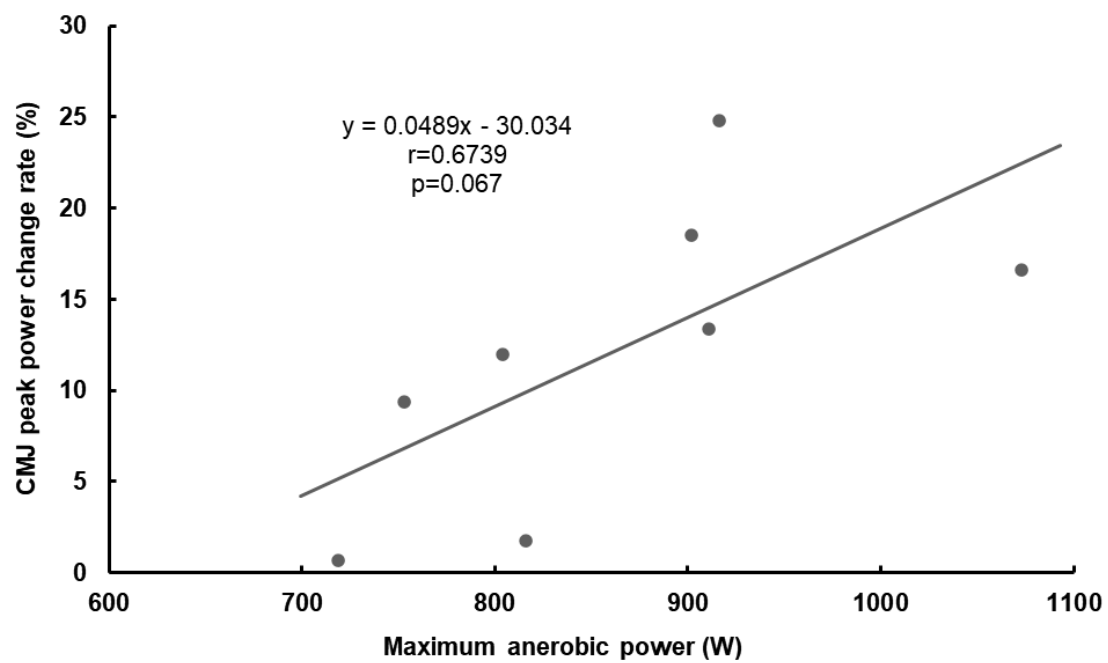


図III-1-6 各強度条件の前後における CMJ の平均速度の比較



### iii. CMJ における変化率と最大無酸素パワーの関係

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、 $861.8 \pm 112.9\text{W}$  ( $11.9 \pm 0.8\text{W/kg}$ ) 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に有意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 ( $r=0.674$ ,  $p=0.067$ ) (図III-1-7)。



図III-1-7 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

#### 4) 考察

##### i. スクワット運動強度の違いによるパラメータ比較

本研究では、コンディショニング活動の強度を低・中・高強度の3条件に設定し、総挙上重量を統一してスクワット運動を実施した結果、レジスタンスエクササイズ中の力、速度、パワーにおいて条件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（新トレーニング用語辞典, 2007）。また、等張性筋収縮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（Siegel et al., 2002）。本研究では、30%1RMおよび60%1RMのMPが1100W前後で最大値を示し、90%1RMと比較して有意に高い値を示した。MFは重量の増加に伴い、MVは重量の減少に伴いそれぞれ有意に増加したことから、力-速度関係（Cormie et al., 2007; Siegel et al., 2002）の再現性は高いことが示唆された。また、すべての強度条件のセット間で各パラメータに統計的に有意な差は認められなかった。このことから、本研究で設定したセット数、反復回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。Esformes and Bampouras (2013)は、スクワットのしゃがみ込みの違いによる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、より深い方においてPAP効果が高いことを示唆している。本研究では、フルスクワットを採用しており、股関節、膝関節および足関節の可動域が最大であった。したがって、PAPを促進するうえで少なくとも有効な動作範囲であったことが推測される。

##### ii. スクワット運動の強度条件におけるPAP効果

###### ii-1. PAP効果に対するCMJのしゃがみ込む深さの影響

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<sub>pre</sub>では、すべての条件間で統計的に有意な差は認められなかった。すなわち、CMJ<sub>post</sub>の変量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に有意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。

## ii-2. 低強度、中強度および高強度のスクワット運動による PAP 効果

PAP においてポジティブな効果が示された研究 (Baker, 2003; Gourgoulis et al., 2003; McBride et al., 2005) ではスプリントやジャンプを指標として評価することが多く、Young et al. (1998) は、高強度 (5RM) 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 の強度で 3 回のスクワット後、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 (Kilduff et al., 2008)。さらに、Sotiropoulos et al. (2010) 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%1RM および 90%1RM のスクワット運動後に CMJ の跳躍高がそれぞれ 4.8% と 6.1% の向上が認められ、同様に PP および PV において  $CMJ_{pre}$  と比較し  $CMJ_{post}$  が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、本研究で採用した中・高強度のプロトコルは PAP を誘発するうえで、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. (2010) の研究と異なる結果になった。その理由の一つとして、本実験では挙上動作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。しかしながら、低強度での PAP 検証は希少であるため、総挙上重量や負荷抵抗の種類による影響について、今後さらに検討する必要があると言えよう。他方、30%1RM と 60%1RM のスクワット運動時の発揮パワーに有意差は認められなかったにも関わらず、60%1RM のみ PAP 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みると 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する必要があると考えられる。

以上の結果から本研究で用いた中強度および高強度で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 誘発に有用な手段となり得る可能性が示唆された。

### iii. PAP 効果の個人差についての検討

PAP 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報告されており、タイプ II 線維の割合が多いほど PAP 効果が出現しやすい可能性が示唆されている (Hamada et al., 2000; Tsolakis et al., 2011)。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 (Dore et al., 2005; Martin et al., 1997; Mayhew and Salm, 1990)。すなわち、先行研究の報告から仮説として PAP 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、各強度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。しかしながら、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 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ため、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、より詳細に分類し PAP 効果を検討していく必要があると考えられる。

## 5) 結論

本研究は、下肢のレジスタンスエクササイズとして代表的なスクワット運動を用い、総挙上重量を統一したうえで、低・中・高強度の3条件に設定し、強度の違いによるスクワット運動が、PAPに与える影響について検証した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- i. スクワット運動中における運動力学的変数について、力-速度関係の再現性は高いことが示唆された。また、本研究で設定したセット数、反復回数および休息時間が疲労に及ぼす影響は少ないことが明らかとなり、強度の違いによるPAP効果を検証するうえで妥当なプロトコルであったことが示唆された。
- ii. 中強度および高強度を用いたスクワット条件後にCMJの跳躍高およびPP、PVが有意に向上し、PAP誘発に貢献することが示唆された。また、低強度と中強度においてスクワット運動中の発揮パワーが同等であったが、低強度条件でのPAP効果は確認できなかったことから力-速度関係を考慮する必要性が示唆された。
- iii. PAPにおける個人差を明確に特定するまでには至らなかったがPAPの変化率と最大無酸素パワーとの関係に有意傾向が示され、強度条件によって個人間および個人内でPAP効果の差異が生じる可能性が推察された。

以上のことから、本研究で採用したコンディショニング活動のプロトコルにおいて疲労の影響は少ないことが認められ、総挙上重量を統一したエクササイズ変数を用いた場合、中強度および高強度においてPAPが誘発されることが明らかとなった。また、強度条件によって力-速度関係を考慮する必要性が示唆された。

2. 研究2 スクワット運動の強度と挙上速度の組み合わせの違い  
による活動後増強効果

## 1) 目的

PAP に伴う筋パワー増強に関連するコンディショニング活動の因子についてメタ分析した報告によると、中～高強度を用いた筋収縮を複数セット実施後に 4～12 分の休息時間を設けることで、その効果が得られるとされている (Gouvêa et al., 2013; Hodgson et al., 2005). 一方、PAP に影響を及ぼす要因には、個人差 (Hamada et al., 2000; Tsolakis et al., 2011) や筋力発揮の様相 (Fukutani et al., 2014; Gołaś et al., 2016) についても指摘されており、PAP に対するポジティブな効果 (Baker, 2003; Gourgoulis et al., 2003; Macintosh and Bryan, 2002; Young et al., 1998) とネガティブな効果 (Ebben et al., 2000; Jensen and Ebben, 2003; Jonse and Less, 2003; Scott and Docherty, 2004) が散見され、コンディショニング活動におけるエクササイズ変数の組み合わせによる影響を十分に考慮されていない可能性がある。とりわけ、PAP は、ミオシン調節軽鎖のリン酸化と運動単位の動員増加に起因 (Abbate et al., 2000; Grange et al., 1993) することから、コンディショニング活動において強い運動刺激が必要となる。したがって、PAP 誘発に関連するコンディショニング活動の強度や量について様々な検証がなされてきた。

従来、レジスタンストレーニングに代表されるスクワット運動の強度を示す場合、重量 (kg) や相対値 (%1RM) で捉えることが一般的であるが、バーベル等を挙上する動作では、速度の要因に留意する必要がある。つまり、加速度の違いによって実際に発揮される筋力が異なることから、PAP に影響を及ぼす生体刺激を正確に捉えるうえで、挙上速度の要因を検討することは重要な課題となる。

PAP に関連するコンディショニング活動での速度に着目すると、筋収縮速度の違いが、その後の筋力発揮の増強に影響を及ぼすことが考えられており、より速い筋収縮によって PAP が誘発される可能性が報告されている (Baudry and Duchateau, 2007; Fukutani et al., 2013; Gago et al., 2014). しかしながら、これらの研究では、母指内転筋や足関節底屈筋などの単関節動作を対象としており、スポーツパフォーマンスへの有用性を明らかにするうえでは、多関節動作を用いた検証が必要となる。Suchomel et al. (2016) は、ハーフスクワット (90%1RM×1回) を用いてバリストック動作の有無による増強効果をその後のスクワットジャンプにて評価した結果、バリストック動作が PAP の誘発に寄与する可能性を報告している。この研究結果から、PAP を誘発するうえで挙上速度を最大にすることが有効であると推察されるが、高強度スクワットに対する動作の違いを比較したものであり、明確な速度の違いについては不明である。また、高強度以外を用いて PAP 効果を検討



した報告によれば、低強度群と中強度群でのハーフスクワット（2回×5セット、最大速度での挙上）後に CMJ のパフォーマンスが増強することを示唆している (Sotiropoulos et al., 2010).

以上のことを踏まえると、コンディショニング活動において扱う強度に対する最大速度の筋収縮が求められることとなるが、PAP では等尺性筋収縮 (French et al., 2003) や最大下速度での筋収縮 (島ら, 2007) においてもその効果が確認されており、速度ゼロ、あるいは遅い速度であっても大きな力発揮によってパフォーマンスの増強をもたらすものと推察される。実際に研究 1 の結果では、低強度と中強度のスクワット時の発揮パワーが同等でありながら、中強度のみ PAP の効果が得られており、両条件の速度と力を観察すると、低強度では速度が、中強度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コンディショニング活動の強度に対する力-速度関係を検討する必要性が考えられるが、これらを詳細に調べた研究はみられない。

そこで本研究は、コンディショニング活動に総挙上重量を統一したスクワット運動を用い、強度および挙上速度の組み合わせの違いが 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。

## 2) 方法

### i. 被験者

本研究は、日常的な運動習慣を有し、レジスタンストレーニング経験のある健常な男子大学生 12 名（年齢：21.9±1.7 歳，身長：1.70±0.04m，体重：66.4±3.7kg，体脂肪率：11.9±2.6%，スクワット 1RM：102.1±15.4kg，スクワット体重比：1.53±0.20）を対象とした。被験者のトレーニング経験年数は、1 年以上，4 年未満であった。被験者には、測定に先立ち研究計画の概要、個人情報保護、非侵襲および安全管理、インフォームドコンセントに関する十分な説明を口頭および書面にて行い、同意書の提出をもって実験に参加した。また、研究参加に同意した後に測定期間中であれば文章により同意を撤回できることを告知した。なお、本研究はヘルシンキ宣言の趣旨を遵守して倫理的配慮のもと行われた。

## ii. 測定項目および測定方法

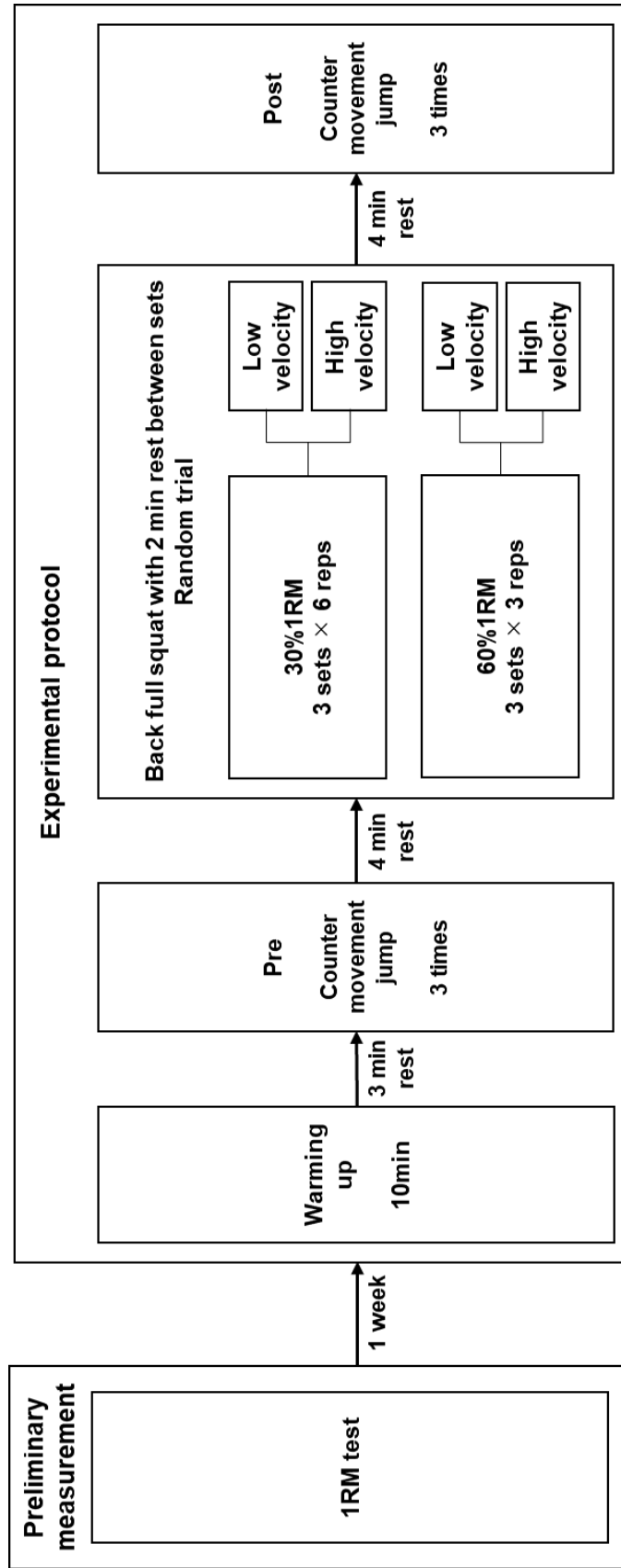
本研究は、スクワット運動を用いて、低強度および中強度をそれぞれ低速および高速で挙上することによる PAP 効果の検証を行った。PAP の評価にはエクササイズ前 ( $CMJ_{pre}$ ) およびエクササイズ後 ( $CMJ_{post}$ ) の CMJ のパラメータを分析した。測定項目はスクワット 1RM と CMJ とし、第 II 章の研究方法で示した手順に従って、測定を行った。

## iii. 実験手順

本研究は、事前に測定されたスクワット 1RM ( $102.1 \pm 15.4\text{kg}$ ) から、それぞれ 30%1RM ( $30.6 \pm 4.6\text{kg}$ ) および 60%1RM ( $61.3 \pm 9.3\text{kg}$ ) を算出し、最小単位を 2.5kg とした。コンディショニング活動は、低強度×低速、低強度×高速、中強度×低速、中強度×高速と定義し 4 条件とした。スクワットの下降局面は 2 秒に統一し、挙上局面については、低速条件で 2 秒、高速条件では、足底部が床面から離れない範囲にて最大速度で挙上するよう指示した。エクササイズ変数は、それぞれ、30%1RM×3 セット×6 回、60%1RM×3 セット×3 回とした。なお、PAP のリカバリー時間のメタ分析 (Gouvêa et al., 2013) において 4~12 分の範囲で跳躍高が少なくとも増大する傾向にあることと、実際のワークアウトの経済性を踏まえ、本実験ではスクワット運動後のリカバリー時間を 4 分と設定した。それ以外の手順については、研究 1 と同様とした (図 III-2-1)。

## iv. 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。スクワット運動の強度および速度条件間の差について対応のある t 検定を用い、 $CMJ_{pre}$  の跳躍高、 $CMJ_{pre}$ 、 $CMJ_{post}$  のしゃがみ込む深さについては 1 要因の分散分析を用いた。CMJ におけるエクササイズ条件間、 $CMJ_{pre} - CMJ_{post}$  間については、2 要因の分散分析を行い、交互作用が有意であった場合、単純主効果を検討した。すべての有意水準は 5%未満とした。また、CMJ におけるパラメータの差の大きさを示すために効果量 (*Cohen's d*) を算出した。効果量の目安は、小 (0.2 以上 0.5 未満)、中 (0.5 以上 0.8 未満)、大 (0.8 以上) と定めた(水本・竹内, 2008)。



図III-2-1 事前測定およびPAP効果検証の実験手順

### 3) 結果

#### i. スクワット運動条件におけるパラメータ

表Ⅲ-2-1a,b は、スクワット運動時の各パラメータを条件ごとに示したものである。本研究は、研究 1 と同様に総挙上重量を統一して行った。各条件のセット間において、各パラメータの値に統計的に有意な差は認められなかったため、全てのセットの平均値±標準偏差を求めた。その結果、30%1RM および 60%1RM において、全てのパラメータは低速よりも高速で挙上する条件が有意に高い値を示した。低速で挙上する条件下では、PP, PF, MP, MF において、30%1RM よりも 60%1RM が有意に高い値を示し、PV では 60%1RM よりも 30%1RM が有意に高い値であった。次に高速で挙上する条件下では、PF, MF において 30%1RM と比較して 60%1RM が有意に高い値を示し、PV, MV では、30%1RM が 60%1RM よりも高い値を示した。



表III-2-1a スクワット運動時の各パラメータ

Squat %1RM	Set	Low velocity					
		PP (W)	PV (m/s)	PF(N)	MP (W)	MV (m/s)	MF(N)
30%	1	688.4±113.0	0.69±0.13	1181.4±83.4	434.0±65.6	0.45±0.07	952.6±69.0
	2	656.5±92.0	0.67±0.11	1177.7±88.3	411.8±53.2	0.44±0.07	952.0±68.7
	3	638.7±86.3	0.65±0.11	1167.0±83.8	409.4±49.0	0.43±0.07	952.1±68.9
	Total average	659.8±86.8	0.67±0.11	1175.4±85.0	418.4±57.2	0.44±0.06	952.2±68.5
60%	1	785.4±133.3	0.60±0.10	1532.3±178.7	526.9±75.1	0.42±0.06	1254.1±111.0
	2	787.5±116.0	0.61±0.10	1524.4±161.0	524.7±71.5	0.42±0.06	1253.6±110.1
	3	769.5±120.6	0.59±0.09	1533.9±176.9	526.7±71.3	0.42±0.05	1252.9±110.6
	Total average	780.8±122.6	0.60±0.09	1530.2±170.8	526.1±72.0	0.42±0.06	1253.5±109.6
30%1RM vs 60%1RM		30%<60% p<0.01	30%>60% p<0.01	30%<60% p<0.01	30%<60% p<0.01	n.s.	30%<60% p<0.01

PP : Peak power PV : Peak velocity PF : Peak force MP : Mean power MV : Mean velocity MF : Mean force

LV : Low velocity HV : High velocity

n.s. : not significantly

表III-2-1b スクワット運動時の各パラメータ

High velocity						LV vs HV
PP (W)	PV (m/s)	PF(N)	MP (W)	MV (m/s)	MF(N)	
2353.3±442.3	1.83±0.19	1582.2±199.1	1073.7±154.1	1.09±0.09	984.1±74.5	
2271.7±471.7	1.79±0.21	1610.3±225.8	1074.3±169.6	1.08±0.10	986.1±81.3	All parameters LV < HV p<0.01
2293.2±505.3	1.81±0.22	1614.1±227.7	1079.9±173.2	1.09±0.10	982.8±75.2	
2306.1±472.8	1.81±0.21	1602.2±217.4	1075.9±165.1	1.08±0.10	984.3±76.7	
2296.4±365.2	1.46±0.13	1910.9±188.0	1076.0±127.1	0.85±0.06	1283.7±117.3	
2210.5±411.2	1.42±0.16	1907.2±174.6	1078.5±141.9	0.85±0.07	1284.5±116.0	All parameters LV < HV p<0.01
2240.0±407.1	1.42±0.15	1912.0±173.8	1074.7±143.2	0.84±0.08	1285.6±117.0	
2249.0±393.0	1.43±0.15	1910.1±177.3	1076.4±136.3	0.85±0.07	1284.9±115.7	
n.s.	30%>60% p<0.01	30%<60% p<0.01	n.s.	30%>60% p<0.01	30%<60% p<0.01	

## ii. CMJ のパラメータ

### ii-1. CMJ<sub>pre</sub> 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<sub>pre</sub> 測定では、すべての条件間で統計的に有意な差は認められなかった (30%1RM\_HV:  $0.508 \pm 0.076\text{m}$ , 30%1RM\_LV:  $0.508 \pm 0.057\text{m}$ , 60%1RM\_HV:  $0.509 \pm 0.055\text{m}$ , 60%1RM\_LV:  $0.503 \pm 0.051\text{m}$ ). 各条件の CMJ<sub>pre</sub> および CMJ<sub>post</sub> のしゃがみ込む深さについて比較した結果、統計的に有意な差は認められなかった (30%1RM\_HV: CMJ<sub>pre</sub>,  $0.648 \pm 0.082\text{m}$ , CMJ<sub>post</sub>,  $0.650 \pm 0.062\text{m}$ , 30%1RM\_LV: CMJ<sub>pre</sub>,  $0.658 \pm 0.078\text{m}$ , CMJ<sub>post</sub>,  $0.642 \pm 0.072\text{m}$ , 60%1RM\_HV: CMJ<sub>pre</sub>,  $0.627 \pm 0.071\text{m}$ , CMJ<sub>post</sub>,  $0.630 \pm 0.094\text{m}$ , 60%1RM\_LV: CMJ<sub>pre</sub>,  $0.658 \pm 0.071\text{m}$ , CMJ<sub>post</sub>,  $0.641 \pm 0.087\text{m}$ ).

※HV: *High velocity*, LV: *Low velocity*

### ii-2. 跳躍高

図III-2-2 はスクワット 30%1RM と 60%1RM をそれぞれ低速および高速で挙上する条件の前後における CMJ の跳躍高の変化を示したものである。30%1RM 条件では統計的に有意な変化は認められず、60%1RM 条件において交互作用が有意であった。事後検定の結果より、60%1RM の高速条件で CMJ<sub>post</sub> の跳躍高が有意に高い値を示した (60%1RM\_HV:  $0.509 \pm 0.055\text{m} - 0.533 \pm 0.051\text{m}$ ).

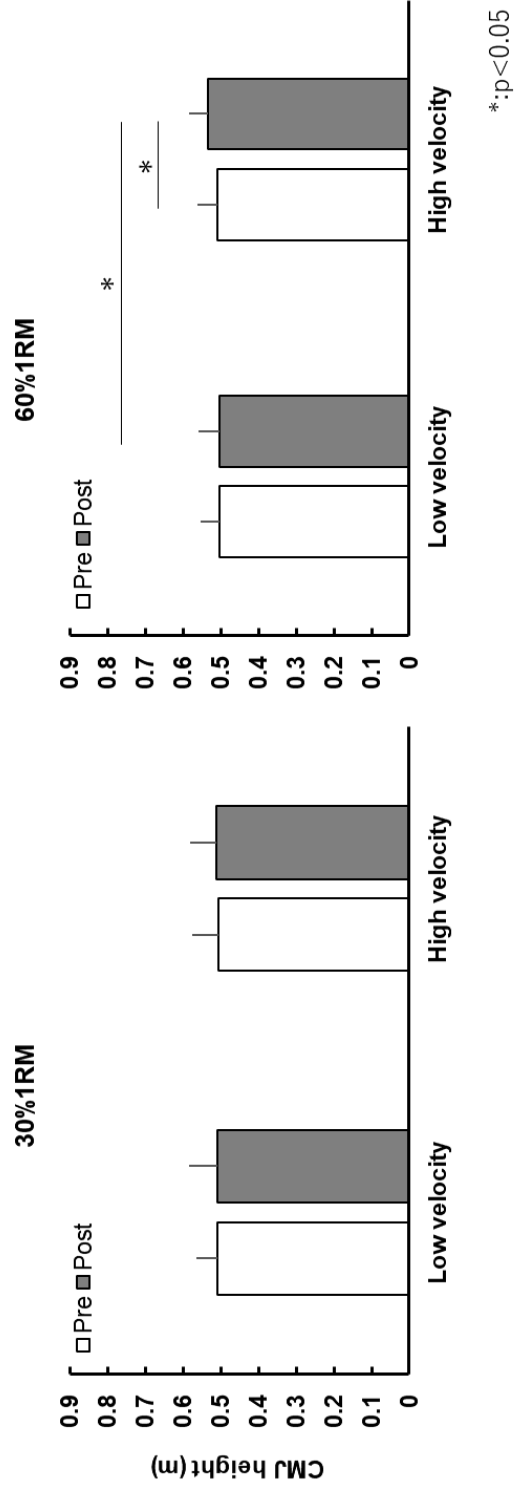
### ii-3. ピーク速度および平均速度

図III-2-3 は、各条件前後の CMJ の PV と MV の変化を示したものである。30%1RM 条件の PV と MV、60%1RM 条件の MV では統計的に有意な変化は認められず、60%1RM 条件の PV おいて交互作用が有意であった。事後検定の結果より、60%1RM の高速条件で、CMJ<sub>post</sub> の PV が有意に高い値を示した (60%1RM\_HV:  $3.46 \pm 0.32\text{m/s} - 3.63 \pm 0.36\text{m/s}$ ).

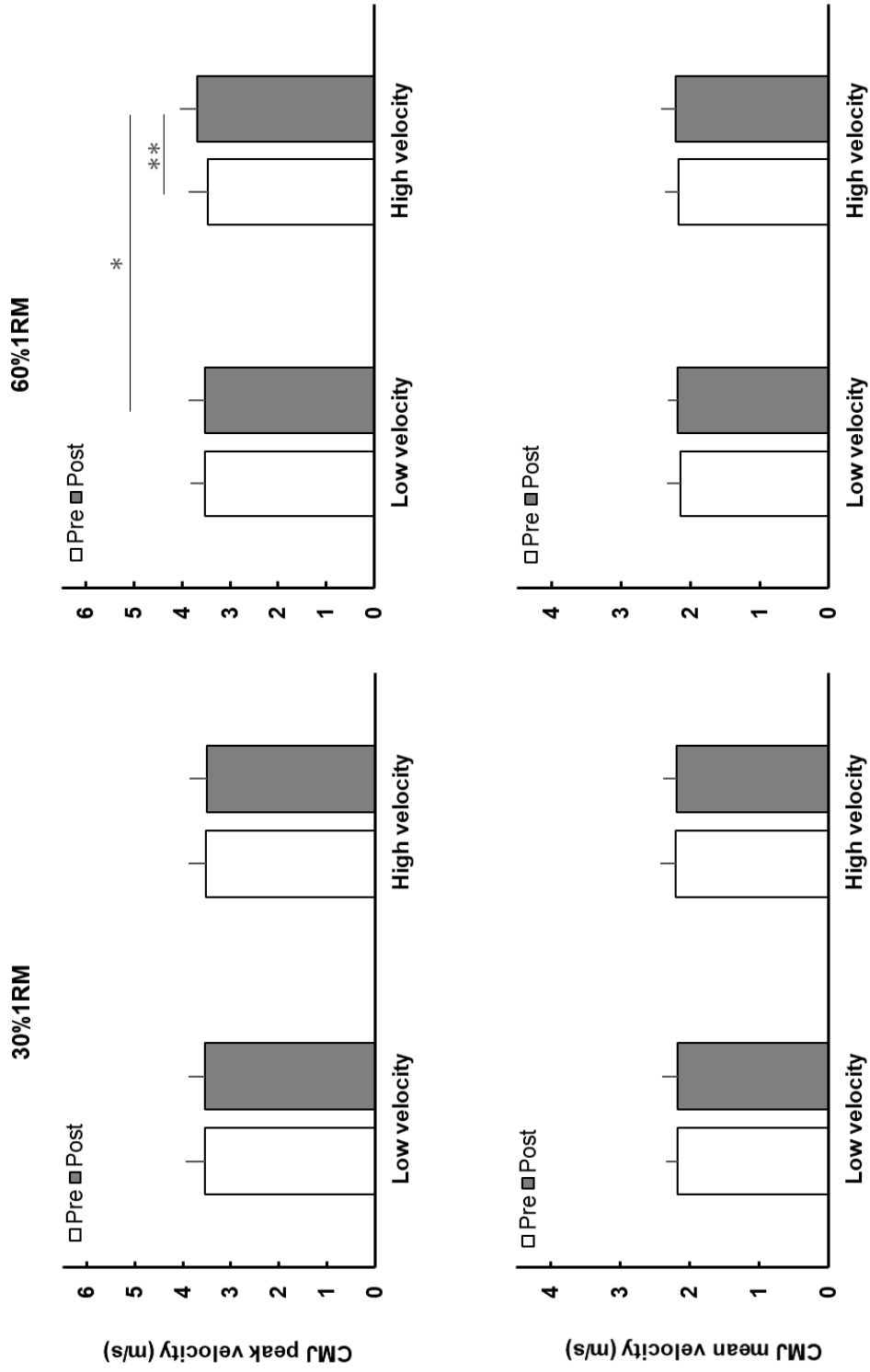
### ii-4. ピークパワーおよび平均パワー

図III-2-4 は、各条件前後の CMJ の PP と MP の変化を示したものである。30%1RM 条件における PP と MP に統計的に有意な変化は見られなかった。60%1RM 条件において PP と MP に有意な交互作用があった。事後検定の結果より、60%1RM の高速条件において PP (60%1RM\_HV:  $4361.0 \pm 948.2\text{W} - 4731.2 \pm 993.8\text{W}$ ) および MP (60%1RM\_HV:  $2567.3 \pm 394.1\text{W} - 2882.0 \pm 562.6\text{W}$ ) が CMJ<sub>pre</sub> と比較して CMJ<sub>post</sub> の値が有意に高かった。



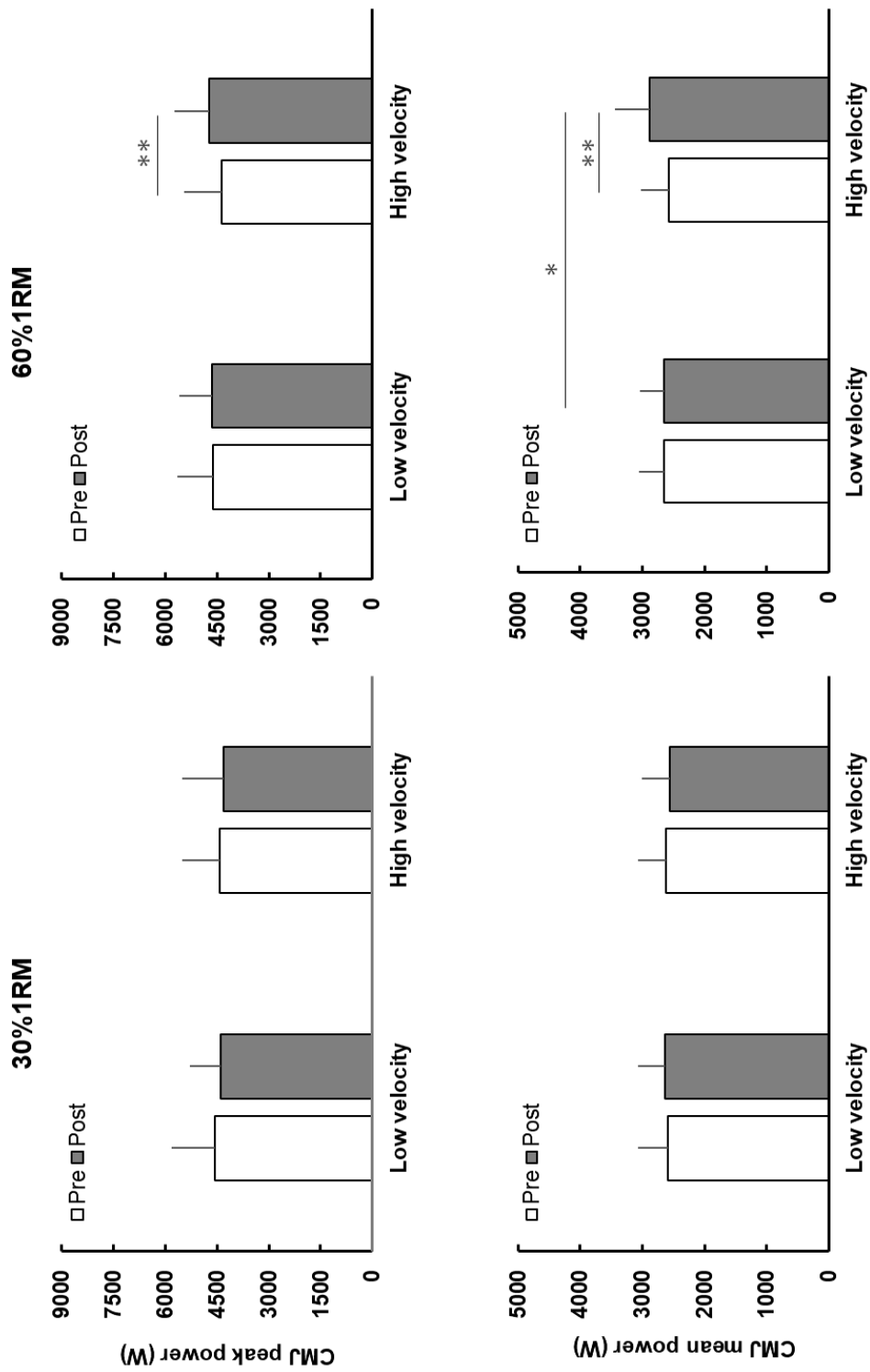


図III-2-2 30%1RM および 60%1RM 前後における各速度条件の CMJ の跳躍高の比較



\*\* : p < 0.01, \* : p < 0.05

図III-2-3 30%1RM および 60%1RM 前後における各速度条件の CMJ のピーク速度と平均速度の比較



\*\* : p<0.01, \* : p<0.05

図III-2-4 30%1RM および 60%1RM 前後における各速度条件の CMJ のピークパワーと平均パワーの比較

### iii. CMJ の効果量

表III-2-2 に各条件における CMJ の効果量を示した。CMJ のパラメータに有意な増大が認められた 60%1RM 高速条件において、跳躍高が 0.45, PP が 0.38, PV が 0.65, MP が 0.58, MV が 0.29 の効果量が示された。

表III-2-2 CMJにおける効果量

Squat % 1 RM	VCS	JH	PP	PV	MP	MV
30%	LV	0.00	0.15	0.03	0.11	0.10
	HV	0.04	0.10	0.03	0.15	0.05
60%	LV	0.02	0.03	0.03	0.01	0.26
	HV	0.45	0.38	0.65	0.58	0.29

VCS : Velocity condition to squat JH : Jump height

PP : Peak power PV : Peak velocity MP : Mean power MV : Mean velocity

LV : Low velocity HV : High velocity

#### 4) 考察

##### i. スクワット運動の強度と挙上速度の違いによるパラメータ比較

##### i-1. 疲労の影響を考慮したプロトコルの妥当性

本研究は、スクワット運動を用いたコンディショニング活動において、強度および挙上速度の違いが PAP に与える影響について検証した。スクワット運動は低強度および中強度に対し、それぞれ低速および高速で挙上する 4 条件に設定し、総挙上重量を統一して実施した。その結果、すべての条件においてセット間のパラメータに統計的に有意な差は認められなかった。PAP を誘発するための条件として、事前に高い筋活動を行うことと (Gourgoulis et al., 2003; Kilduff et al., 2008; Young et al., 1998)、疲労によるマイナスの影響を考慮する必要がある (Fukutani et al., 2014; Gołaś et al., 2016)。Sánchez-Median and González-Badillo (2011) は、レジスタンストレーニングにおける異なるセットと反復回数の組み合わせについて、3 セット間の速度低下率および筋疲労の影響を調べた結果、6~12RM の強度で高回数行うと速度低下率が顕著であり、疲労が多く蓄積されることを示唆している。また、筋肥大を目的としたレジスタンストレーニングでは反復回数をより多くすることで筋の修復、成長に大きな影響を与える一方で、疲労回復に長い時間を要することになる (González-Badillo et al., 2016)。本研究は、1 セット当たりの反復回数が低強度で 6 回、中強度で 3 回であり、セット間のパラメータに差がなかったことから、少なくとも同条件下では、すべてのセットで同等の筋力発揮を有し、かつ、前セットの筋活動による疲労の影響は少ないと考えられる。本研究のエクササイズ変数 (重量、回数、セット数、セット間休息時間) は研究 1 における低強度および中強度条件と同様であり、得られた結果よりプロトコルの再現性が確認された。また、William et al. (2000) は、「増強効果は、1 セットに比べ、複数セット用いることで引き起こされやすい」と述べている。よって、前述した PAP 効果の条件の一つにある疲労の影響を考慮するうえで、本研究プロトコルは妥当なデザインであることが示唆された。

##### i-2. 低強度および中強度での力-速度関係

本研究の低速条件をみると、MV は重量間において統計的に有意な差は認められなかったが、PV では、60%1RM より 30%1RM が有意に高い値を示していた。このことは、挙上速度のコントロールは、外的テンポに合わせる形で調整しているものの、強度条件を変えると、その平均的な速度は変わらないが、挙上局面の範囲で、瞬間的な最大速度は、低強度

の方が大きくなる傾向にあると推察される。一方、高速条件下では、MV、PVともに中強度に比べ低強度が有意に高い値を示していた。また、MFおよびPFは、その逆であった。さらに、MP、PPをみると、低速条件では、60%1RMが高い値を示し、高速条件では、統計的に有意な差は見られず、同等のパワー発揮が示された。通常、レジスタンストレーニングにおけるパワー発揮は、力と速度で構成されており、両者は互いに相反する関係にある（長谷川, 2014）。つまり、高速条件下において、低強度では、速度が優位に、中強度では、力が優位となり、発揮パワーは同等になることが考えられる。本研究で得られた結果からも力-速度関係が確認され（Cormie et al., 2007; 長谷川, 2014; Siegel et al., 2002）、スクワット運動時の各パラメータ値の信頼性は高いと言えるであろう。低強度および中強度の速度条件の違いを比較すると、両強度とも低速条件に比べ高速条件が全てのパラメータで高い値であった。これは当然の結果であるが、扱う重量が同じであれば、挙上する速度をコントロールすることで発揮されるパラメータに変化が生じる。力は、質量×加速度であるため（深代, 2015; 若山・平野, 2014）、挙上速度を意図的に高めることで大きな力発揮が可能となることが示唆された。

## ii. スクワット運動の強度と挙上速度の違いによる PAP 効果

### ii-1. PAP 効果に対する CMJ のしゃがみ込む深さの影響

本研究は、PAP 効果を検証するために、スクワットの強度と挙上速度をそれぞれ規定し、CMJ の変化を分析した。CMJ<sub>pre</sub> では、すべての条件間で統計的に有意な差は認められなかった。つまり、CMJ<sub>post</sub> 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いえる。また、跳躍高の増減については、予備動作の可動範囲に影響されることが知られているが（Bobbert et al., 1996; Fukashiro and Komi, 1987; 原ら, 2008）、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に有意な差は認められなかった。よって、本研究における CMJ の変化はしゃがみ込む深さに影響されないことが示唆された。

### ii-2. 中強度条件における PAP 効果

PAP を誘発するコンディショニング活動については多くの研究によって高強度の負荷を用いた筋収縮の実施で、その効果が得られることが確認されている（Gourgoulis et al., 2003; Kilduff et al., 2008; McBride et al., 2005; Young et al., 1998）。Young et al. (1998)

の報告によると 5RM の強度を用いたハーフスクワット後に CMJ の跳躍高が有意に増加 (2.8%) していた。また、ラグビー選手を対象に 87%1RM で 3 セット×3 回のハーフ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%有意に増加した報告がみられる (Kilduff et al., 2008)。さらに、研究 1 では、コンディショニング活動の総挙上重量を統一し、スクワット運動強度の違いによる PAP 効果を検証した。その結果、中強度および高強度のスクワット運動後に CMJ の跳躍高がそれぞれ 4.8%, 6.1%の向上を示した。加えて、跳躍時の発揮パワーや速度についても有意な増大が認められ、PAP 誘発を目的としたコンディショニング活動には 60~90%1RM の負荷を用いることが有用であることが明らかとなっている。したがって、PAP 誘発には少なくとも中強度以上の負荷が必要であることが考えられる。本研究では、4 条件のうち 60%1RM を高速で挙上する条件でのみ CMJ の跳躍高が有意に増大し、跳躍時の平均パワーや平均速度についても向上していた。この結果は、一連の先行研究 (Gourgoulis et al., 2003; Kilduff et al., 2008; McBride et al., 2005; Young et al., 1998) を支持するものであるが、同強度の低速条件で CMJ のパラメータに変化が示されなかったことは、コンディショニング活動として 60%1RM 程度の負荷を用いる場合、最大努力かつ最大速度での挙上動作を実施することが PAP を誘発する条件の一つとなる可能性が示唆された。

60%1RM の高速条件における CMJ の効果量は、0.29~0.65 の範囲にあり、本研究のプロトコルにおいて小から中程度の効果量が期待できる。研究 1 と比較 (0.44~1.03) すると、やや小さな効果量となっているが、PAP におけるエクササイズ後のリカバリー時間についてメタ分析した研究 (Gouvêa et al., 2013) では、8~12 分後に最も増加傾向にあり、4~7 分後で効果量は小さく、0~3 分後で効果量がマイナスになるとされている。本研究では、スクワット運動後のリカバリー時間を 4 分と設定しており、先行研究の知見から再考すると効果量の大きさは妥当であると考えられる。しかし、後述する個人差の影響や運動課題の違いを考慮する必要があるため効果量については、今後さらに検討する必要がある。

本研究は、研究 1 と同様のプロトコルを採用しており、60%1RM のスクワット運動時の筋出力を観察すると (PP:2321W, MP:1077W, PV:1.41m/s, MV:0.81m/s, PF:1898N, MF:1336N)、本研究で PAP 効果が得られた 60%1RM の高速条件と近似する値を示していた。当然ながら同強度の低速条件では挙上速度が遅延することでパワーや力発揮は小さくなる。60%1RM の低速条件で PAP が誘発されなかったことは、スクワット運動時の力-速度関係を考慮した強度と挙上速度の設定が重要であることを意味するものであった。



### ii-3. 低強度条件における PAP 効果

先述したように PAP 効果が得られた先行研究の多くは、高強度を用いており、低強度において PAP 効果が得られた事例は希少である。Sotiropoulos et al. (2010) 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 (いずれも 2 セット×5 回で最大速度の挙上) 後の CMJ において両群ともに跳躍高および膝伸展筋群の筋電図活動に有意な増大が認められたことを示している。また、島ら (2007) は、過去にレジスタンストレーニングの経験があり、ハーフスクワットの 1RM が体重の 1.5 倍以上の健康な成人男性を対象に 40% 1RM および 80% 1RM の負荷を事前運動として実施した結果、両条件ともにその後の負荷を用いたスクワットジャンプの跳躍高や動作中の筋パワー、身体重心速度が有意に向上したことを報告している。本研究で実施した低強度 (30%1RM) では、低速条件、高速条件ともに CMJ の変化は見られず、先行研究とは異なる結果を示した。

その要因として、実験の対象者や事前運動のプロトコルの違いが考えられる。本研究は、30%1RM で 3 セット×6 回のプロトコルを採用しており、Sotiropoulos et al. (2010) の実験と類似する。しかし、被験者の 1RM を比較すると本研究では、平均 102kg (体重比 1.5)、先行研究で 185kg (体重比 2.4) と大きな違いがみられた。PAP 効果について、活動レベルや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 (Hamada et al., 2000; Tsolakis et al., 2011) ことから PAP 効果の個別性を今後検討する必要があると言えよう。一方、島ら (2007) の研究と比較すると被験者の最大筋力は、ほぼ同値であった。彼らの実験プロトコルには明確な反復回数が示されていないが、80%1RM のハーフスクワットを 2 秒間のしゃがみ込み動作と 2 秒間の立ち上がり動作のテンポを維持できなくなるまで反復しており、40%1RM では、その倍の反復回数とされている。このことから低強度での持続運動を少なくとも 20 回程度反復していたことが推察される。本研究で採用した強度と近似するもののハーフスクワットとフルスクワットでは、移動距離の違いから仕事量が大きく異なる。このことは、コンディショニング活動のエクササイズ種目やプロトコルの違いが、PAP 効果の有無に影響していたと考えられるが、本研究からは明確な結論は導けないと言える。

さらに、Smilios et al. (2005) は、30%1RM と 60%1RM を用いて、それぞれハーフスクワット (HS) およびジャンプスクワット (JS) のエクササイズ (3 セット×5 回、セット間休息时间 3 分) 前後の鉛直跳躍の変化を検証した結果、スクワットジャンプ (反動なし) は HS の 60%1RM プロトコルのみ有意に向上 (4.9%) したと報告している。一方、

CMJ（反動あり）では、JSにおいて30%1RMプロトコルで3.8～3.9%、60%1RMプロトコルで3.4～3.9%の有意な向上が認められた。つまり、PAP効果の有無には、事前の運動様式の影響が否定できない。Smilius et al. (2005)の研究と本研究を比較するとコンディショニング活動において30%1RMの強度は同様であるが、先行研究では最大速度でのジャンプを課しているところが異なる点である。本研究の高速条件では、最大速度での挙上を指示しているが、足底部が床面から離れない範囲と制限を設けていたため、先行研究のようにコンセントリック局面終盤まで加速することは困難であり、挙上範囲での減速局面（Kubo et al., 2018）が少なからず存在し、30%1RMの強度においてはPAP効果を得るための十分な刺激になっていなかった可能性がある。このことは、低強度を用いてPAPを誘発するためには、挙上範囲の制限をなくした最大努力でのバリスティックな動作が必要かもしれない。

よって、これまでの圧倒的多数の研究で支持された高強度以外の負荷を用いてPAPを誘発するためには、中程度の強度を高速で挙上することが条件の一つになり得ることが示唆された。しかし、低強度でのコンディショニング活動においては、PAP効果が完全に得られないことを否定することはできず、実践者の個別性と運動プロトコルの組み合わせをさらに検討する必要があると考えられる。

## 5) 結論

本研究は、スクワット運動を用い、総挙上重量を統一したうえで、低強度、中強度をそれぞれ低速、高速で挙上する 4 条件に設定し、PAP 効果について検証した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- i. 本研究で用いたエクササイズ変数は疲労の影響を受けず、同条件下においてセット間を通じて高い筋力発揮であったことが示された。研究 1 と本研究の結果より、PAP 検証のためのプロトコルとしての再現性が確認された。
- ii. 中強度の高速条件において、その後の CMJ のパラメータが有意に増大し、同低速条件下では CMJ の変化が確認できなかった。
- iii. 低強度を用いたスクワット運動では挙上する速度に関係なく、CMJ のパラメータに変化は見られなかった。低強度において可動範囲が制限される場合、コンセントリック局面終盤まで加速することが困難であることから、PAP のための十分な筋活動とならない可能性が考えられた。

以上のことから、疲労の影響を受けないプロトコルの再現性が確認され、コンディショニング活動として中強度のスクワット運動を用いる場合、少なくとも最大努力での挙上速度が PAP を誘発する条件の一つになり得ることが示唆された。また、低強度での PAP 誘発には、可動範囲の制限による影響の可能性が推察された。



### 3. 研究3 スクワット運動の挙上速度および仕事量の違いによる

#### 活動後増強効果

—低強度に限定した異なる条件からの検討—

## 1) 目的

PAP のポジティブな効果が確認された多くの研究 (Baker, 2003; Gourgoulis et al., 2003; Kilduff et al., 2008; Young et al., 1998) では中～高強度を用いた運動課題が採用されている。PAP の誘発には、筋の活性化レベルを最大化するうえで強い筋収縮を要するが故に、大きな疲労が伴い実際には運動直後の筋出力が低下するため、筋活動による疲労の影響が小さいエクササイズ変数の設定が重要であることが考えられる。

これまでの先行研究をレビューするとその多くは高強度を用いているが、低強度を用いたコンディショニング活動においても希少ながら PAP 効果が認められている (島ら, 2007; Smilios et al., 2005)。とりわけ、筋力発揮はサイズの原理 (Henneman, et al., 1965; Sale, 1987) に基づくことから、PAP 効果の検証には強度設定が注目され、必要とされる運動単位の動員数を増大させるために高強度が用いられてきた。一方で、レジスタンストレーニングの筋肥大効果に関するメタ分析では、低強度でも総挙上重量を高めることで高強度トレーニングと同等の効果が得られることが示されており (Schoenfeld et al., 2017)、扱う強度が軽量の場合にも高い筋活動になり得ることから、PAP 効果においてもコンディショニング活動の総挙上重量に影響されることが考えられる。

研究 1 および研究 2 ではスクワット運動の総挙上重量を統一した条件下において、強度と挙上速度の観点から PAP 効果に影響を与える要因について検討した。その結果、中強度と高強度においては、概ね先行研究を支持する知見が得られ、中強度では、最大速度での挙上条件付けられることが明らかとなった。一方、低強度スクワット運動後の PAP 効果は、研究 1 および研究 2 のいずれにおいても確認されず、先行研究と異なる結果となった。その理由の一つに、スクワット運動中に生じる減速局面の影響が考えられる。

通常、レジスタンスエクササイズでは、加速によって生じる挙上動作終盤での減速局面を最小限に止めるため可動域全般にわたって筋に負荷抵抗を与えるように、最大下の速度でコントロールされることが多い。しかし、PAP の誘発には高い筋活動が必要であることから、低強度での筋活動の場合、最大速度で挙上し、より大きな加速度を得ることで力を増大させる必要があると考えられる。特に、総挙上重量を統一するためには、バーベルの変位を同じにする必要があるが低強度の場合、可動域終盤において、バーベルを静止するための挙上とは逆向きの大きな加速度が生じ、少なからず減速局面が存在する (Kubo et al., 2018)。したがって、コンセントリック局面終盤まで十分に力発揮することが困難であると考えられる。

PAP 効果が得られた報告では、その多くが高強度を用いていることから低強度に比べ減速局面が小さく、可動域全般にわたり高い筋活動が十分可能であったことが推察される (Lake et al., 2012). とりわけ、力は質量と加速度の積で定義されるため、質量が同じでも加速度の増大によって発揮される力やパワーが大きくなる (有賀ら, 2014). したがって、低強度を用いたエクササイズの場合、動作速度を高めることで PAP に必要な高い筋活動となる可能性がある。しかし、先述したように、低強度では動作終盤の減速に伴い筋力発揮の低減が生じ、強度の大小によって動作範囲内で発揮される力のフェーズの割合が異なると考えられる (Kubo et al., 2018). このことは、低強度において可動域全般にわたっての十分な短縮性筋活動が行えていない可能性を否定できず、逆に減速フェーズをより小さくすることで動作終盤までの短縮性筋活動を促進できると捉えることもできる。つまり、低強度において、上記の条件を満たすためには、スクワット運動の場合、床面から足底部が離地するようなジャンプ動作が必要ではないだろうか。

低強度を用いて高い筋活動を再現するためには、バリスティック動作によって、より大きな加速度を得ることが力発揮を増大させる条件の一つになると考えられる (Gołaś et al., 2017; Seitz and Haff, 2016; Smilios et al., 2005). 低強度においてバリスティック動作の有無を条件付けし、PAP 効果を検討することは重要であると考えられるが、十分な実験データがないため、低強度に限定したバリスティック動作を伴う挙上速度の影響は検証されていない。また、可動域全般にわたって大きな力発揮が可能となる弾性抵抗を用いた研究 (Lum and Chen, 2020) では、極めて少ない仕事量から PAP の所見が確認されている。このことは、低強度でのバリスティック動作を伴うコンディショニング活動によっても期待される効果であるが、仕事量の影響については不明である。

本研究の目的は、PAP に与える影響について低強度に限定し、①スクワット運動のバリスティック動作の有無による挙上速度の違いと、②バリスティック動作を伴うスクワット運動の仕事量の違いから検討することとした。

## 2) 方法

### i. 被験者

本研究は、日常的に積極的な運動習慣を有し、定期健康診断により心身の異常が認められない健常な男子大学生 9 名 (年齢:  $22.0 \pm 1.7$  歳, 身長:  $1.69 \pm 0.04$ m, 体重:  $67.5 \pm 4.6$ kg, BMI:  $23.6 \pm 2.3$ kg/m<sup>2</sup>, スクワット 1RM:  $99.4 \pm 13.3$ kg, スクワット体重比:  $1.50 \pm 0.14$ )

を対象とした。なお、被験者のレジスタンストレーニング経験年数は1年以上、3年未満であった。本研究はヘルシンキ宣言の趣旨を遵守して行われ、すべての被験者に同意書を配布し、研究計画の概要、個人情報の保護、非侵襲および安全管理、インフォームドコンセントに関する十分な説明を口頭および書面にて行い、実験参加への同意を署名により得た。また、実験参加に同意した後であっても測定期間中であれば文書により同意を撤回できることを告知し、実験参加者が不利益を受けないように配慮した。実験中における安全性の確保には、研究機関に付置する保健管理センターの医師および保健師等と連携し、危機管理に対し十分に留意したうえで、本人の意思を尊重しながら測定を実施した。

## ii. 測定項目および測定方法

本研究は、スクワット運動を用いて、30%1RMの強度を挙上する際の速度および仕事量の違いによるPAP効果の検証を行った。PAPの評価には、CMJを用いてエクササイズ前(CMJ<sub>pre</sub>)とエクササイズ後(CMJ<sub>post</sub>)のパラメータを分析した。測定項目はスクワット1RMとCMJとし、第II章の研究方法で示した手順に従って、測定を行った。

## iii. 実験手順

本研究では、まず、実験1において、スクワット運動中のジャンプ動作制限の有無を条件付けしたうえで挙上速度の違いを検討し、次に実験2では、ジャンプ動作制限を解除した条件下での仕事量の違いによるPAP効果について検討した。以下にその実験手順を示す。

### iii-1. 実験1

本実験は、事前に測定されたスクワット1RM(99.4±13.3kg)から30%1RM(29.8±4.0kg)を算出し、最も近い重量を2.5kg毎に調整して実施した。コンディショニング活動をスクワット低速条件(Squat low velocity; SL条件)、スクワット高速条件(Squat high velocity; SH条件)、スクワットジャンプでの高速条件(Squat jump high velocity; SJH条件)と定義し、3条件とした。スクワットのエキセントリック局面はメトロノームに合わせ2秒に統一し、コンセントリック局面については、SL条件で2秒、SH条件では足底部が床面から離れない範囲にて最大速度で挙上するよう指示し、SJH条件では、SH条件で指示した可動範囲を解除し最大速度のスクワットジャンプとして行った。エクササイズ変数は、30%1RM×3セット×6回(セット間休息3分)であり、挙上速度以外の条件は統一した。



これらの試技は、LPT を用いて、前述した 1RM 測定同様に、しゃがみ込む深さ、鉛直距離、MF、PF、MV、PV、MP、PP、平均パワー体重比 (MP/BW)、ピークパワー体重比 (以下、PP/BW) を計測した。スクワットの仕事量は、挙上毎にバーベル質量×重力加速度 ( $9.81\text{m/s}^2$ ) ×鉛直距離で求め (深代ら, 2015), 1 セットの合計とした。PAP 効果を検証するために、 $\text{CMJ}_{\text{pre}}$  を測定し、4 分間の休息を挟み各条件でスクワット運動を開始した。 $\text{CMJ}_{\text{post}}$  については、PAP のリカバリー時間のメタ分析 (Gouvêa et al., 2013) において 4 ~12 分の範囲で跳躍高が少なくとも増大する傾向にあることと、実際のワークアウトの経済性を踏まえ、本実験ではスクワット運動後のリカバリー時間を 4 分と設定し、スクワット運動前後における CMJ の各パラメータの変化を分析した。これら 3 条件の実験はすべてランダムかつ別日にて行い、少なくとも実験の間隔を 48 時間以上とした (図III-3-1)。

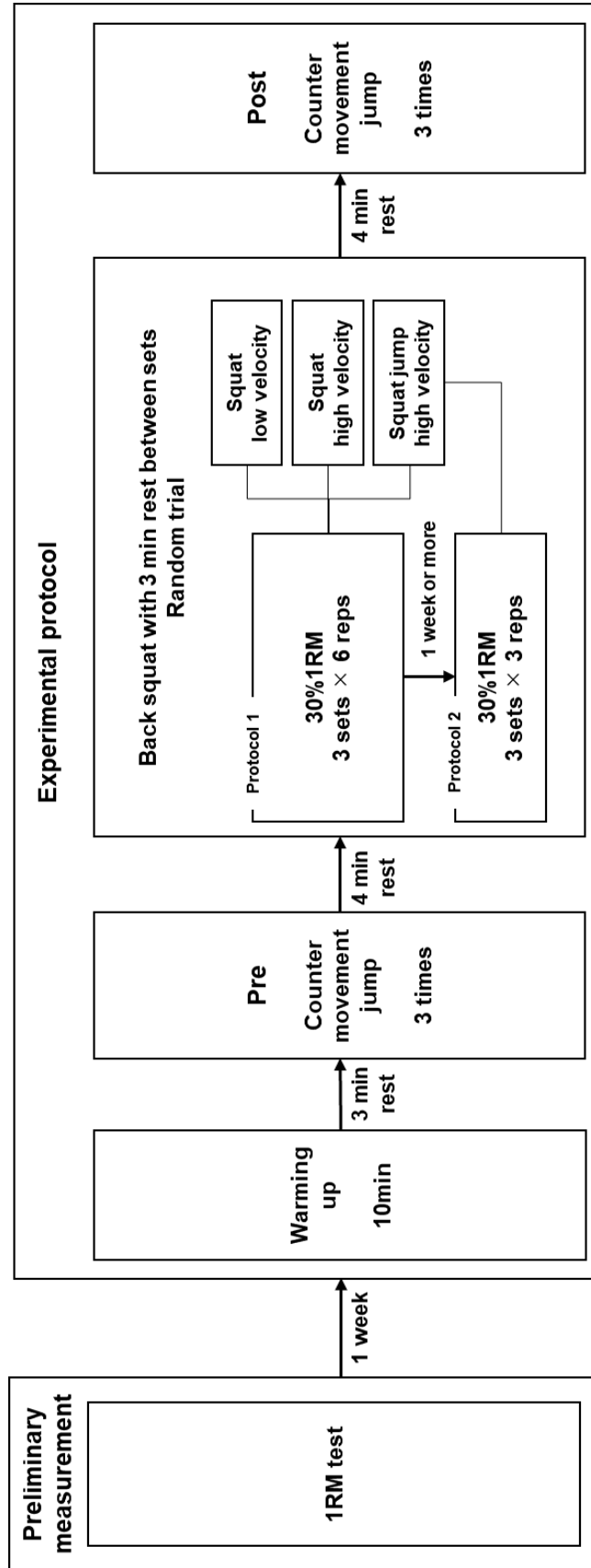
### iii-2. 実験 2

実験 2 は、実験 1 に参加したすべての被験者を対象とし、実験プロトコルは、実験 1 で示した SJH 条件の仕事量が約半分になるようにエクササイズ変数を  $30\%1\text{RM} \times 3$  セット  $\times$  3 回とし ( $\text{SJH}_{3\text{reps}}$  条件)、それ以外の条件は SJH 条件と同様にエキセントリック局面は 2 秒で統一し、コンセントリック局面を最大速度でのスクワットジャンプとして実施した。PAP の検証は、実験 1 と同様にスクワット運動前後の CMJ の変化を比較した。なお、実験 2 は実験 1 で行った最後のエクササイズ条件から少なくとも 1 週間の間隔を設けた (図III-3-1)。

### iv. 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。スクワット運動におけるしゃがみ込む深さおよび疲労の影響を調べるために各条件のセット間の比較を行った。エクササイズ中の出力評価とエクササイズ直前のベースラインを検討するためにスクワット条件間の各パラメータ、条件間の  $\text{CMJ}_{\text{pre}}$  の跳躍高を比較し、CMJ の事前動作の影響を検討するためにすべての試技のしゃがみ込む深さを比較した。これらの平均値の差の検定には 1 要因分散分析を行い、F 値が有意であった場合は、Bonferroni 法による多重比較を行った。PAP の効果を検証するために  $\text{CMJ}_{\text{pre}}$  と  $\text{CMJ}_{\text{post}}$  の差については、エクササイズ条件毎に対応のある t 検定を用いた。すべての有意水準は 5%未満とした。また、PAP 効果として CMJ におけるパラメータの差の大きさを示すために効果量 (*Cohen's d*) を算出した。効果量の目

安は、小 (0.2 以上 0.5 未満)、中 (0.5 以上 0.8 未満)、大 (0.8 以上) と定めた(水本・竹内, 2008).



図III-3-1 事前測定およびPAP効果検証の実験手順

### 3) 結果

#### i. 各条件におけるスクワット運動のパラメータ

表III-3-1a,bに、スクワット運動時のパラメータを条件毎に示した。実験1では、セット数および反復回数を固定し、挙上速度の条件を変えて行った。次いで実験2ではSJH条件の反復回数を半分にして実施した。各条件のセット間におけるパラメータの値に統計的に有意な差は認められなかったため、すべての試技の平均値±標準偏差を求め比較した。事後検定の結果、スクワットのしゃがみ込む深さに統計的に有意な差は認められなかった。仕事量はSJH<sub>3reps</sub>条件で最も小さく、次いでSL, SH, SJH条件の順で有意に大きい値を示した。MFは、SL条件よりSH, SJH, SJH<sub>3reps</sub>条件で有意に高い値を示した。鉛直距離、力(PF)、速度(MV, PV)、パワー(MP, PP, MP/BW, PP/BW)は、SL, SH, SJH条件の順に有意に高い値を示し、SJH条件とSJH<sub>3reps</sub>条件の間に統計的に有意な差は認められなかった。

#### ii. CMJ<sub>pre</sub>の跳躍高と事前動作

CMJ<sub>pre</sub>の跳躍高は条件間に統計的に有意な差は認められなかった。CMJの事前動作であるしゃがみ込む深さについて比較した結果、すべての試技で統計的な差は認められなかった(表III-3-2)。

#### iii. CMJのパラメータ

表III-3-2は、各スクワット条件の事前・事後におけるCMJの変化を示したものである。SL, SH, SJH<sub>3reps</sub>条件は、いずれも統計的に有意な変化は認められなかった。SJH条件では、CMJの跳躍高がエクササイズ後に有意に高い値を示した。跳躍時のパワーについてMPおよびPPともにCMJ<sub>pre</sub>と比較しCMJ<sub>post</sub>が有意に大きな値となった。跳躍時の速度は、MVおよびPVがCMJ<sub>pre</sub>と比較してCMJ<sub>post</sub>で有意に高い値を示した。



表III-3-1a 各条件におけるスクワット運動時のパラメータ

Velocity Condition	Set Number	Dip(m)	Vertical Distance(m)	Work Loads(Nm)	Mean Force(N)	Mean Power(W)
SL	1	0.60 ± 0.06	0.58 ± 0.05	1015.3 ± 108.0	944.1 ± 74.7	415.8 ± 44.1
	2	0.63 ± 0.06	0.60 ± 0.06	1051.1 ± 143.6	943.5 ± 74.5	410.2 ± 42.8
	3	0.62 ± 0.06	0.60 ± 0.06	1045.4 ± 146.2	943.5 ± 74.8	406.0 ± 34.8
Total	average	0.62 ± 0.06	0.60 ± 0.05	1037.3 ± 129.5	943.7 ± 71.8	410.6 ± 39.4
SH	1	0.63 ± 0.06	0.66 ± 0.07	1157.5 ± 179.1	976.0 ± 80.5	1017.0 ± 123.5
	2	0.62 ± 0.06	0.66 ± 0.07	1145.0 ± 163.6	976.4 ± 86.4	1023.8 ± 144.9
	3	0.64 ± 0.05	0.66 ± 0.07	1155.1 ± 165.9	973.7 ± 80.7	1030.9 ± 163.2
Total	average	0.63 ± 0.06	0.66 ± 0.07	1152.5 ± 163.1	975.4 ± 79.4	1023.9 ± 139.2
SJH	1	0.66 ± 0.06	0.92 ± 0.06	1615.5 ± 228.5	981.6 ± 78.7	1419.1 ± 171.6
	2	0.65 ± 0.06	0.94 ± 0.05	1639.8 ± 237.2	981.6 ± 78.5	1444.5 ± 173.9
	3	0.64 ± 0.05	0.93 ± 0.04	1631.3 ± 210.3	979.8 ± 79.7	1432.1 ± 127.7
Total	average	0.65 ± 0.05	0.93 ± 0.05	1628.9 ± 217.0	981.0 ± 75.9	1431.9 ± 153.3
SJH <sub>3reps</sub>	1	0.63 ± 0.04	0.92 ± 0.05	806.3 ± 118.6	982.3 ± 82.2	1451.9 ± 146.5
	2	0.62 ± 0.06	0.92 ± 0.05	807.2 ± 125.2	981.4 ± 79.0	1444.0 ± 160.7
	3	0.63 ± 0.06	0.92 ± 0.06	801.9 ± 113.9	981.8 ± 73.2	1417.1 ± 146.8
Total	average	0.63 ± 0.05	0.92 ± 0.05	805.1 ± 114.7	981.8 ± 75.1	1437.7 ± 146.3
ANOVA		n.s.	F(3,24)=355.1** F(3,24)=253.9** F(3,24)=26.3** F(3,24)=243.9**			
Multiple comparison test			SL<SH<SJH=SJH <sub>3reps</sub> SJH <sub>3reps</sub> <SL<SH<SJH SL<SH=SJH=SJH <sub>3reps</sub> SL<SH<SJH=SJH <sub>3reps</sub>			

SL:Squat low velocity, SH:Squat high velocity, SJH: Squat jump high velocity

SJH<sub>3reps</sub>:Squat jump high velocity with 3repetitions \*\*: p<0.01

表III-3-1b 各条件におけるスクワット運動時のパラメータ

Mean Velocity(m/s)	Mean Power/BW(W/Kg)	Peak Force(N)	Peak Power(W)	Peak Velocity(m/s)	Peak Power/BW(W/Kg)
0.45 ± 0.07	6.3 ± 0.8	1174.5 ± 91.2	686.2 ± 74.3	0.69 ± 0.10	10.4 ± 1.9
0.44 ± 0.07	6.2 ± 0.8	1180.9 ± 94.0	658.0 ± 62.2	0.67 ± 0.09	10.0 ± 1.1
0.43 ± 0.06	6.2 ± 0.7	1165.9 ± 86.0	637.9 ± 46.1	0.65 ± 0.08	9.7 ± 1.1
0.44 ± 0.06	6.2 ± 0.8	1173.7 ± 87.1	653.3 ± 60.6	0.67 ± 0.08	10.0 ± 1.4
1.05 ± 0.06	15.3 ± 1.2	1551.3 ± 223.7	2196.4 ± 355.0	1.76 ± 0.14	33.1 ± 4.5
1.05 ± 0.08	15.4 ± 1.6	1600.4 ± 258.3	2110.6 ± 352.2	1.72 ± 0.17	31.8 ± 4.5
1.06 ± 0.09	15.5 ± 1.9	1592.6 ± 257.2	2123.3 ± 412.2	1.73 ± 0.18	32.0 ± 5.4
1.05 ± 0.07	15.4 ± 1.5	1581.5 ± 238.2	2143.4 ± 361.5	1.74 ± 0.16	32.3 ± 4.6
1.31 ± 0.06	21.0 ± 2.1	1749.3 ± 213.7	3552.0 ± 493.2	2.44 ± 0.14	52.6 ± 6.2
1.33 ± 0.07	21.4 ± 2.1	1792.8 ± 260.5	3556.9 ± 469.3	2.46 ± 0.16	52.7 ± 6.0
1.32 ± 0.05	21.2 ± 1.5	1790.8 ± 223.7	3527.1 ± 460.8	2.45 ± 0.16	52.3 ± 6.1
1.32 ± 0.06	21.2 ± 1.9	1777.6 ± 225.2	3545.4 ± 456.2	2.45 ± 0.15	52.5 ± 5.8
1.33 ± 0.06	21.5 ± 1.8	1763.2 ± 257.5	3640.7 ± 376.2	2.48 ± 0.14	54.0 ± 5.2
1.34 ± 0.08	21.4 ± 1.9	1813.0 ± 288.2	3554.5 ± 364.4	2.46 ± 0.14	52.8 ± 5.6
1.32 ± 0.08	21.0 ± 1.9	1871.0 ± 291.1	3587.6 ± 358.7	2.46 ± 0.16	53.3 ± 5.4
1.33 ± 0.07	21.3 ± 1.8	1815.7 ± 272.1	3594.3 ± 354.0	2.47 ± 0.14	53.4 ± 5.2
F(3,24)=412.3** F(3,24)=291.1** F(3,24)=69.1** F(3,24)=292.3** F(3,24)=508.1** F(3,24)=317.1**					
SL<SH<SJH=SJH <sub>3reps</sub> SL<SH<SJH=SJH <sub>3reps</sub> SL<SH<SJH=SJH <sub>3reps</sub> SL<SH<SJH=SJH <sub>3reps</sub> SL<SH<SJH=SJH <sub>3reps</sub> SL<SH<SJH=SJH <sub>3reps</sub>					

表III-3-2 スクワット運動前後におけるCMJの変化

Velocity Condition	Dip(m)	Jump Height(m)	Mean Power(W)	Mean Velocity(m/s)	Peak Power(W)	Peak Velocity(m/s)
SL	Pre	0.656 ± 0.050	2419.6 ± 320.9	2.12 ± 0.12	3988.8 ± 1069.6	3.35 ± 0.32
	Post	0.653 ± 0.044	2375.9 ± 375.0	2.07 ± 0.13	4021.5 ± 1107.7	3.36 ± 0.32
	ES(d)	—	-0.14	-0.41	0.03	0.03
SH	Pre	0.650 ± 0.054	2359.6 ± 272.7	2.09 ± 0.15	4275.6 ± 1107.7	3.37 ± 0.38
	Post	0.642 ± 0.062	2338.7 ± 363.7	2.09 ± 0.13	4293.8 ± 1047.5	3.41 ± 0.36
	ES(d)	—	-0.08	-0.04	0.02	0.09
SJH	Pre	0.651 ± 0.048	2479.0 ± 310.8	2.17 ± 0.15	4174.5 ± 846.0	3.42 ± 0.37
	Post	0.661 ± 0.059	2657.5 ± 326.3**	2.25 ± 0.15**	4548.3 ± 929.1*	3.53 ± 0.39**
	ES(d)	—	0.57	0.58	0.44	0.31
SJH <sub>3reps</sub>	Pre	0.660 ± 0.053	2447.4 ± 318.9	2.16 ± 0.12	4198.3 ± 919.1	3.42 ± 0.41
	Post	0.658 ± 0.051	2455.7 ± 268.8	2.17 ± 0.16	4246.2 ± 957.8	3.41 ± 0.29
	ES(d)	—	0.03	0.03	0.08	0.05

SL:Squat low velocity, SH:Squat high velocity, SJH: Squat jump high velocity

SJH<sub>3reps</sub>:Squat jump high velocity with 3 repetitions, ES:Effect size, \*\*: p<0.01 \*: p<0.05



#### 4) 考察

##### i. 挙上速度と仕事量の違いによるスクワット運動のパラメータ比較

本研究は、低強度のスクワット運動を用いたコンディショニング活動における挙上速度をスクワット低速、高速、スクワットジャンプ高速の3条件と設定し、加えてスクワットジャンプ高速条件の反復回数を半減させた2種類のプロトコルにて実施した。

本研究結果は、パワー、力、速度においてSL条件、SH条件、SJH条件の順で有意に高い値を示し、SJH条件とSJH<sub>3reps</sub>条件の間に統計的に有意な差は認められなかった。通常、エクササイズ中に発揮されるパワーは、力と速度が互いに相反する関係上にあるため扱う重量によって力と速度の優位性が異なる（深代ら, 2015; 若山・平野, 2014）。本研究では、強度を固定したうえで挙上する速度を変化させている。つまり、大きな加速度を生じさせるためには大きな力発揮が必要となり、同質量に対し挙上速度を意図的に高めることで発揮パワーに影響を与えることが示唆された。これは当然の結果であるが、扱う重量が同じでも挙上速度をコントロールすることで発揮されるパラメータに変化が生じることは、本研究においてPAP効果を検証するうえで妥当なモデルであると言える。さらに、すべての条件でセット間のパラメータに統計的に有意な差は認められなかった。PAPは事前に強い筋収縮を行うことでその効果が誘発されるが、疲労の影響を常に考慮しなければならない。Sanchez-Median and González-Badillo (2011)は、6~12RMの強度で高回数行うと速度低下率が顕著であり、疲労が多く蓄積されることを示唆している。本研究は、20RM以上の強度（有賀ら, 2014）に対し、1セット当たりの反復回数は実験1で6回、実験2では3回であり、挙上時のジャンプ動作の有無に関わらず、セット間のパラメータに差は生じなかった。このことは、すべてのセットで同等の筋力発揮を有し、かつ前セットの筋活動による疲労の影響は少ないと考えられ、PAPの条件の一つであるマイナスの要因は考慮されたプロトコルであったと言えよう。

また、スクワット運動時のしゃがみ込む深さに統計的に有意な差は認められなかった。このことは、すべての条件においてエキセントリック局面の動作範囲は高い再現性であると判断でき、本研究におけるPAPの検証結果は、コンセントリック局面での運動が影響していたと考えられる。ところで、スクワット運動中の鉛直距離は最下降点からのバーベル変位で評価しており、床面と足底部が離地しない条件下にあるSL条件およびSH条件ではしゃがみ込む深さが同じであれば、挙上する距離も同じとなる。しかし、両条件で差が生じた理由として、SH条件では足底部の離地が制限されているものの、被験者はその可動範囲内に

において最大努力で挙上を行っている。その際、SL条件と比べバーベルの勢いが多少大きくなるため、意図せずして若干の底屈運動が生じていた可能性が考えられるが、後述するSL条件とSH条件のPAP効果はいずれも確認できなかったため、それらの影響はないと考える。他方、2つのジャンプ動作を伴う高速条件を比較すると反復回数が半分になることで当然のことながら、仕事量は約50%程度となっている。仕事量以外では統計的に有意な差は認められず鉛直距離をはじめとするパラメータが同値を示したことは、両条件ともにスクワットジャンプが最大努力で再現されたと考えられる。つまり、ジャンプ動作を伴った高速条件下におけるその後のCMJの変化は仕事量の違いによる影響が考えられる。

## ii. 挙上速度と仕事量の違いによるPAP効果

### ii-1. PAP効果に対するCMJのしゃがみ込む深さの影響

本研究は、PAP効果を検証するために、スクワット運動前後のCMJの変化を分析した。CMJ<sub>pre</sub>ではすべての条件間で統計的に有意な差は認められなかった。このことはCMJ<sub>post</sub>の変化は、その直前の運動課題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考えられる。さらに、跳躍高の増減には跳躍前の予備動作の可動範囲に影響されることが知られているが(Bobbert et al., 1996; Fukashiro and Komi, 1987)、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に有意な差は認められなかった。したがって、本研究におけるCMJの予備動作の再現性が確認され、パラメータの変化はしゃがみ込む深さに影響されないことが示唆された。

### ii-2. PAP効果に対するバリスティック動作の影響

高強度を用いた運動課題によってPAPが誘発されることは、多くの研究で明らかにされている(Baker, 2003; DeRenn, 2010; Ebben et al., 2000; Sale, 2002)。Young et al. (1998)の報告では、5RMの強度を用いたハーフスクワット後にCMJの跳躍高が2.8%有意に増加していた。また、ラグビー選手を対象に87%1RMの強度で3セット×3回のハーフ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%有意に増加した報告がみられる(Kilduff et al., 2008)。研究1では、コンディショニング活動の総挙上重量を統一したプロトコルにて、スクワット運動の強度の違いによるPAP効果の検証を行った結果、中強度および高強度においてその後のCMJのパラメータに有意な増大が認められ、研究2では中強度での最大速度挙上でPAPの所見が確認されている。しかしながら、研究1および研究

2 のいずれにも低強度条件での PAP 効果は確認できなかった。同様のエクササイズ変数を採用した本研究でも、SL 条件および SH 条件において CMJ のパラメータに変化は見られなかった。スクワット運動中のパラメータについて研究 1 (低強度の最大速度)、研究 2 (低強度の低速および高速) と比較すると本研究の SL・SH 条件と近似する値となっている。すなわち、低強度を最大速度で挙上する場合、足底部が床面から離地しない条件下では、結果的にコンセントリック局面終盤で起こる減速によって十分な事前筋活動が行えていなかった可能性が考えられる (Kubo et al., 2018)。このことから、低強度を扱う場合、平均挙上速度がおよそ 0.4~1.0m/s の範囲において PAP 効果は出現しないことが示唆された。

### ii-3. ジャンプ動作を伴った超高速挙上の影響

PAP のコンディショニング活動には、その多くが高強度を用い、少なくとも中強度以上の高い筋活動が必要とされることから、低強度を用いたコンディショニング活動で PAP 効果が得られた事例は希少である。Sotiropoulos et al. (2010) は、事前エクササイズにハーフスクワットを用い、最大速度の挙上で 2 セット×5 回のプロトコルにて低強度群 (25~35%1RM) と中強度群 (45~65%1RM) の CMJ の変化を検証している。その結果、両群ともに跳躍高がそれぞれ 3.9%と 3.0%向上し、発揮パワーや膝伸展筋群の筋電図活動においても有意な増大が認められたことを示している。さらに、Smilios et al. (2005) の研究では、30%1RM と 60%1RM の負荷を用いて、それぞれハーフスクワット (HS) およびジャンプスクワット (JS) のエクササイズ (3 セット×5 回、セット間休息时间 3 分) 前後の鉛直跳躍の変化を検証した結果、スクワットジャンプ (反動なし) は 60%1RM の負荷で HS を行った条件でのみ有意に向上した (4.9%)。一方、CMJ (反動あり) では、JS において 30%1RM プロトコルで 3.8~3.9%、60%1RM プロトコルで 3.4~3.9%の有意な向上が認められている。

本研究において、SL 条件および SH 条件で PAP 効果は確認できず SJH 条件のみ CMJ の跳躍高が 5.9%有意に向上し、他のパラメータも同様に増大した。上述の 2 つの研究と本研究を比較するとエクササイズ変数や挙上の際に最大努力あるいはジャンプ動作を有する点で類似している。本研究の SL・SH 条件と SJH 条件の違いはコンセントリック局面のジャンプ動作の有無にあり、SJH 条件ではジャンプ動作に伴い、ピーク速度、ピーク力およびピークパワーが SL・SH 条件よりも有意に高かった。このことは、減速フェーズが小さくなり大きな加速度が得られた結果、PAP の条件である、高い筋活動に達していた可能性

が推察される。

Lum and Chen (2020) は、男性アスリートを対象に強度の異なる 3 種類の可変性抵抗（弾性抵抗）を用いて、3 回×2 セットのジャンプエクササイズ後の CMJ の変化を検証した。その結果、すべての条件で跳躍高が大幅に増大し、条件間で統計的に有意な差は認められなかったと報告している。これは、後述する仕事量と関連するが、彼らの研究では非常に少ない仕事量でありながら PAP の所見が確認されたことは、ジャンプエクササイズにおいてエクササイズバンドなどの弾性抵抗を用いることで動作終盤の発揮筋力を増大させることに成功した可能性が考えられる。そのため、コンディショニング活動で扱う負荷抵抗の種類と仕事量の関係について、今後さらに検討をする必要があると言えよう。

通常レジスタンストレーニングでは、加速によって生じる挙上動作終盤での減速局面を最小限に止め可動域全般にわたって筋に負荷抵抗を与える関係上、最大下の速度でコントロールされることが多い。この方法は筋肥大効果に有用性があると言えるが（中谷ら, 2019）、パワーや短時間に大きな力を発揮する能力（RFD）の向上を妨げ、さらに反動動作の機械的な能力を低下させてしまう可能性がある（有賀ら, 2014）。一方、短縮性筋活動において高速で挙上動作を行うトレーニングでは、RFD の増加や筋活動の機能的な改善効果が期待できるとされている（Cormie et al., 2011; Haff et al., 2001）。つまり、最大速度で挙上する際、高強度では減速局面が小さいため挙上と逆向きの加速度は小さく、反対に低強度では挙上速度が増大することで、減速のための大きな加速度が生じることとなる。

先述の通り、SL 条件および SH 条件は、足底部と接地面が離地しないことを規定しているため、PAP を誘発するうえでの十分な短縮性筋活動にならなかった可能性が考えられる。SJH 条件では、これらの動作制限が解除されたことで、PAP が誘発され、CMJ<sub>post</sub> においてピーク速度の増大がピークフォースおよびピークパワーに影響していたものと考えられ、その要因の一つに RFD の関与（Andersen and Aagaard, 2006; Comfort et al., 2011; Gruber and Gollhofer, 2004）を否定することはできないであろう。

このことは、これまで圧倒的多数の研究で支持されてきた高強度での筋活動が PAP 誘発の条件とされてきたが、本研究結果より、強度に対する挙上条件の影響が考えられ、先行研究で議論されてきた PAP 条件の強度に加え、パワー、力、速度等の力学的変数を考慮する必要があると考えられる。

#### ii-4. PAP 効果に対する仕事量の影響

一方, SJH 条件の反復回数以外は同様のプロトコルである実験 2 では PAP が確認されなかった. 本研究において挙上速度が同等でありながら, 仕事量が約半減することで PAP 効果が消失したことは興味深い知見となった. PAP が誘発されなかった理由として, SJH 条件では, 3 セット×6 回の仕事量であってもセット間の出力に差は認められず, SJH<sub>3reps</sub> 条件では, その半分の仕事量であるため疲労の影響は考えにくい. すなわち, 低強度運動での PAP には反復刺激として一定の仕事量が必要となる可能性が考えられる. 島ら (2007) は, 40% 1 RM および 80% 1 RM の負荷を事前運動として実施した結果, 両条件ともにその後の負荷を用いたジャンプの跳躍高や動作中の筋パワー, 身体重心速度が有意に向上したことを報告している. 彼らの実験プロトコルには明確な反復回数が示されていないが, 80%1RM のハーフスクワットを 2 秒間のしゃがみ込み動作と 2 秒間の立ち上がり動作のテンポを維持できなくなるまで反復しており, 40%1RM では, その倍の反復回数とされている. このことから低強度での持続運動を少なくとも 20 回程度反復していたことが推察される. Sotiropoulos et al. (2010) や Smilios et al. (2005) の反復回数は合計で 10 回および 15 回となっている. 本研究は低強度に対し, 合計 18 回の挙上を行っている. 先行研究では, ハーフスクワットを採用しており, 本研究と移動距離が大きく異なるため, 仕事量を一概に比較するのは難しいが, 本研究の SJH<sub>3reps</sub> 条件で PAP 効果が認められなかったことから, 低強度を扱う場合には, 動作様式の条件によって合計で 10 回~20 回程度の反復刺激を要することが推察される.

サイズの原理に基づく低強度運動では, 小さな運動単位が動員されるため筋収縮に要する疲労の影響は少ないが, フィラメントの感受性亢進やカルシウムイオン放出量の増大には十分でないことが考えられる (Henneman et al., 1965; Sale, 1987). しかし, 近年, 運動スピードや総挙上重量を高めることで高強度エクササイズ同等の効果が得られることが指摘されており (Burd et al., 2010; Michell et al., 2012; Morton, et al., 2016; Schoenfeld et al., 2017), PAP においても挙上速度や総挙上重量が筋活動を活性化するうえで重要である可能性が考えられる. よって, 本研究の成果として, PAP 誘発に低強度を用いる場合, コンセントリック局面において減速することなく最大速度で挙上し, 少なくとも 6 回の反復回数で複数セットの運動課題が必要であることが示唆された.

## 5) 結論

本研究は、低強度を用いて低速・高速挙上のスクワット運動、高速挙上のスクワットジャンプの 3 条件に加え、スクワットジャンプの反復回数を半減させたプロトコルを実施し、スクワット運動における挙上速度および仕事量の違いが PAP に与える影響について検証した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- i. スクワット運動に対し、可動範囲が制限される（足底部が床面から離地しない）条件下で低強度を扱う場合、平均挙上速度がおよそ 0.4~1.0m/s の範囲において PAP 効果は出現しないことが明らかとなった。
- ii. ジャンプ動作を伴う高速条件において、その後の CMJ パラメータが有意に高まり、同挙上速度条件下で仕事量が半減することでその効果が消失することが明らかとなった。

以上のことから、コンディショニング活動として低強度を用いる場合、少なくとも挙上時のバリスティックな動作が PAP に影響を与える可能性が示唆された。また、低強度運動での PAP には総仕事量の影響を考慮する必要性が考えられる。

#### 4. 研究 4 活動後増強効果に関連する挙上速度損失率の研究





#### 4-1 スクワット運動の速度損失率の違いによるトレーニング効果

—活動後増強の促進に向けた速度基準の検討—

## 1) 目的

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、強度、回数、セット数、休憩時間、頻度などの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(有賀ら, 2014)。例えば、筋肥大を目的とした場合、1RM の 70~85%の強度で 8~12 回反復し、セット間の休息を 30~90 秒に設定する。最大筋力や筋持久力の向上についても同様に強度や反復回数をコントロールし、目的とするトレーニング効果が最大となるようにトレーニング変数を適切に設定する必要がある。このようにレジスタンストレーニングでは、1RM を測定し、相対強度を基準に個々の目的に合わせ重量と反復回数を決定し実践する PBT が一般的な方法として多く活用され、直接法や間接法から求めた重量でトレーニングすることが主流である(有賀, 2013)。

近年、VBT が注目されており、特定の速度領域内で挙上を反復することで大きな効果をもたらすことが明らかとなっている(Randell et al., 2011; Banyard et al., 2018)。VBT では、これまでの先行研究をもとに最大筋力 (~0.3m/s)、筋力パワー (0.6~0.8m/s)、高速パワー (0.8~1.0m/s) など速度を基準とするため重量や反復回数を日々変動させて行える特徴がある(Mann, 2017)。これらの挙上速度は加速度センサーや LPT などのテクノロジーを用いて計測することが可能であり、トレーニング中のパワーや速度のモニタリングからコーチングの質向上に寄与することが考えられている(Jovanović and Flanagan, 2014)。

レジスタンストレーニングにおいて挙上速度に着目した研究では、プロフェッショナルのラグビー選手を対象にトレーニング実施中のバーベル速度をリアルタイムでフィードバックした結果、跳躍能力や疾走速度に大きな影響を及ぼすことを明らかにしている(Randell et al., 2011)。また、サッカー選手を対象に VBT を介入した結果、跳躍能力や疾走速度が有意に向上し、特に 10 代の選手で顕著であったと報告している(González-Badillo et al., 2015)。さらに、Fielding et al. (2002) は、高齢女性を対象に高速のレジスタンストレーニングを 16 週間実施した結果、低速で行うグループと比較して、下肢の多関節および単関節での伸展ピークパワーが有意に向上したと報告している。このようにスポーツ現場での実践や発育発達期および高齢期において VBT の効果が確認されている。VBT には、いくつかのバリエーションが存在するが、ほとんどの場合、目的とする速度領域内で挙上を繰り返され、設定された速度以下になると直ちに運動が終了する、あるいは設定速度領域を

大きく外れるケースでは速度を基準に重量を増減するため、セット毎に重量や反復回数が異なることから事前に決められた回数をやり遂げるといった概念は除外される。

VBT における速度損失率について調査した研究は希少であるが、ベンチプレスのセット中に発揮された最大挙上速度に対し 80%以上の速度でトレーニングした場合、疲労困憊まで反復させる方法よりも 1RM や最大速度の向上に有用であり、いわゆる「オールアウト」のように挙上が不可能になるまで反復する必要はないと結論付けている (Padulo et al., 2012). さらに, Pareja-Blanco et al. (2017) は, 挙上速度の損失率が 20%でトレーニングを終了する群 (VL20) と, 同様に 40%群 (VL40) のトレーニング効果を比較した結果, 両群ともに 1RM や筋横断面積が有意に増大し, 群間に統計的に有意な差は認められなかったと述べている. 加えて, VL20 は VL40 よりも総反復回数が少なく, かつ軽量での挙上速度や CMJ の跳躍高が有意に向上したと報告している. つまり強度, 回数, セット数という総挙上重量で管理されてきた従来の PBT と比較し, VBT は, 相対的な挙上速度の損失率を基準とするため, より少ない仕事量で筋機能に多くの影響を与えることが期待できるであろう. しかし, 挙上速度の損失率に関する報告は, 近年わずかに確認できるが, ターゲットとする挙上速度の絶対値や損失率の程度, あるいは個人差の影響など, 未確定な部分が少なからず存在するため VBT の妥当性および有用性を検証するうえで, さらに基礎的データを蓄積する必要性は否めない.

そこで本研究は, 次の研究 4-2 に続く活動後増強の促進に向けた速度基準の有用性を検討するうえで, VBT における速度損失率の設定方法の違いによるトレーニング効果を明らかにすることを目的とした.

## 2) 方法

### i. 被験者

本研究は, 日常的に運動習慣を有しレジスタンストレーニングの経験者である健常な男子大学生 27 名 (年齢:  $20.1 \pm 1.6$  歳, 身長:  $1.71 \pm 0.06$ m, 体重:  $63.2 \pm 4.6$ kg, スクワット 1RM\*:  $93.1 \pm 15.5$ kg, スクワット体重比\*:  $1.48 \pm 0.20$ , \*スクワットはトレーニング前の値) を対象とした. このうち, スクワット 1RM の値を基準に群間に差が生じないように考慮し, それぞれ 9 名ずつを後述する 3 つのグループ (VL10 群, VL20 群, VL30 群) に分類した. なお, 被験者のレジスタンストレーニング経験年数は 1 年以上, 4 年未満であった. 本研究はヘルシンキ宣言の趣旨を遵守して行われ, すべての被験者に同意書を配布し,

研究計画の概要，個人情報保護，非侵襲および安全管理，インフォームドコンセントに関する十分な説明を口頭および書面にて行い，実験参加への同意を署名により得た．また，実験参加に同意した後であっても測定期間中であれば文書により同意を撤回できることを告知し，実験参加者が不利益を受けないように配慮した．測定およびトレーニング時における安全性の確保には，研究機関に付置する保健管理センターの医師および保健師等と連携し，危機管理に対し十分に留意したうえで，本人の意思を尊重しながら測定を実施した．

## ii. 測定項目および測定方法

### ii-1. 身体特性

測定はいずれも立位で行い，身長は身長計を用いて測定し，体重は体組成計（インナーキャン 50V BC-622, TANITA）を用いて測定した．大腿部および下腿部の最大周径囲はメジャーを用い，大腿部は大転子から大腿骨外側上顆を結んだ大腿長の近位 50%，下腿部は大腿骨外側上顆から外果を結んだ下腿長の近位 30%の位置を計測点とした．

### ii-2. スクワット 1RM, スクワット最大パワー, CMJ および最大無酸素パワーの測定

第II章の研究方法で示した手順に従って，スクワット 1RM, CMJ を測定し，研究1と同様に最大無酸素パワーの測定を行った．また，1RM 測定の全試技から平均パワーが最大となる値を抽出し，スクワット最大パワーとして相対強度を評価した．

### ii-3. 主観的運動強度

毎回のトレーニング後に主観的運動強度（Rating of perceived exertion; RPE）を聴取した．RPE は修正ボルグスケールを参考に，本研究では運動直後のみの評価であることから1～10の10段階で設定し，1を「非常に楽である」，10を「非常にきつい」と定義した．

## iii. トレーニングプロトコル

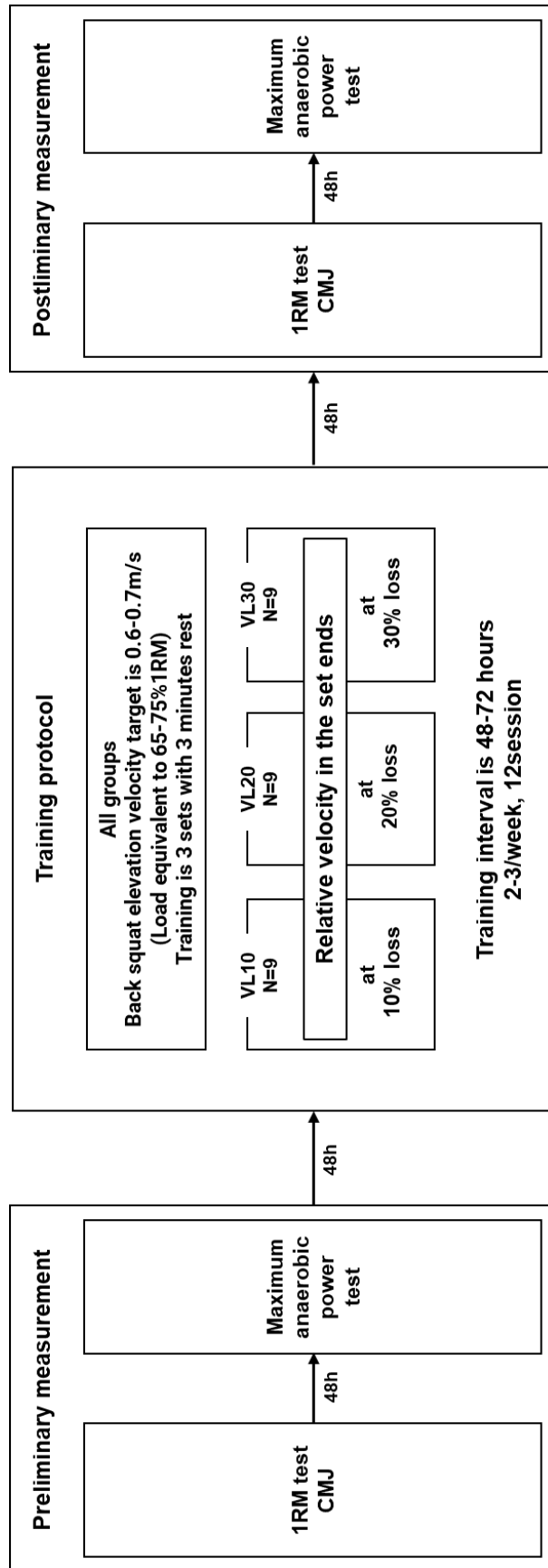
トレーニングは，週2～3回の頻度で6週行い，全12回のセッションとした．トレーニングセッションの間隔は48～72時間とし，被験者にはトレーニングを実施する前日および同日に他のレジスタンストレーニングを行わないように指示した．また，トレーニング介入の効果を検証するために，体重，下腿部・大腿部周径囲，スクワット 1RM, スクワット最大パワー，CMJ および最大無酸素パワーをそれぞれトレーニング介入前（Pre）とトレーニ

ング介入後 (Post) に測定した (図III-4-1)。トレーニング経過を総括的に観察するために 4 セッション毎のトレーニングを 1 つのマイクロサイクル (Micro-C1, Micro-C2, Micro-C3) として評価した。

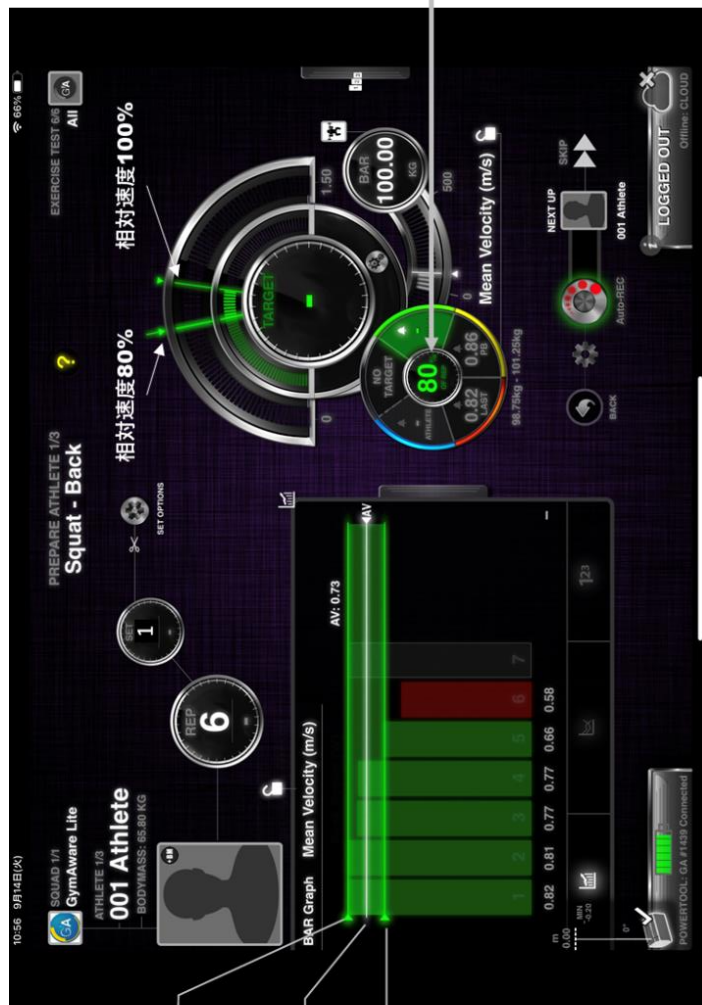
トレーニングは、事前に測定されたスクワット 1RM の重量および挙上速度を参考に、ウォーミングアップ (2~3 回×2 セット) において、2.5~5.0kg の範囲で重量を増減し挙上速度が 0.6~0.7m/s の範囲になるように調整した。本実験は、速度損失率の影響を検証するうえで個人間の変動を小さくするため、先行研究を参照し筋力パワーをターゲットとする挙上速度の範囲 (0.6~0.8m/s) をさらに限定して 0.1m/s 内に収まるように速度領域を設定した。スクワット動作は、大腿部後面と下腿部後面が触れる位置を最下点とし、エキセントリック局面では、速度をコントロールしながら 2 秒程度で下降した後に、適切な反動動作を用いた最大努力での挙上を教示した。VBT は、3 つのグループに分け、GymAware のアプリケーションシステムで算出される各セット内の最大挙上速度を 100% として相対的な挙上速度の損失率の閾値を 10% (VL10 群)、20% (VL20 群)、30% (VL30 群) とし、トレーニング中は常に挙上速度をモニタリングした。図III-4-2 に示すようにアプリケーション上で各種設定を行い、各トレーニング群で指定された速度損失率の閾値に達した場合、自動的に GymAware のビープ音の合図で、そのセットを終了とし 3 セット (セット間休憩 3 分) 行った。1 セット目または 2 セット目に本実験で設定された挙上速度の範囲から明らかに外れる場合は、状況に応じて次のセットから重量を増減させた。これらのトレーニングは GymAware を用いて MP, MV, MF, PP, PV, PF を計測し、トレーニング量は、1 セット毎に重量と反復回数の積によって求め、3 セットの合計とした。また、毎回のトレーニング後に RPE を聴取し記録した。

#### iv. 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。各測定項目における群間および測定時期の差の検定には、2 要因分散分析 (群×時間) を用い、交互作用が認められた場合には単純主効果を検討し、交互作用が有意でない場合は主効果を検討した。各群のトレーニング全体およびマイクロサイクルのパラメータの平均値の差の検定には 1 要因分散分析を行い、有意差が認められた場合は、Bonferroni 法による多重比較を行った。なお、統計処理の有意性は危険率 5% 未満とした。



図III-4-1 Pre-Post 測定およびトレーニングプロトコル



セット内の最大速度が100%となる。これを基準に速度の相対値が自動的に算出される。次のレップで最大速度が更新されれば、相対値も更新される。

セット内で反復された平均速度速度損失率の閾値ライン。これを下回った時点で、自動的に運動が終了となる。

**速度損失率の閾値**

アプリケーション上では、100%-(速度損失率)として表記される。

図III-4-2 VBT における GymAware アプリケーションのモニタリング画面

### 3) 結果

#### i. 身体特性

Pre-Post における身体特性の変化を表III-4-1 に示す。分散分析の結果、交互作用は認められなかったため、主効果を検討した。体重は VL10 群 ( $61.7 \pm 4.4\text{kg} - 62.8 \pm 3.8\text{kg}$ ), VL20 群 ( $64.5 \pm 7.2\text{kg} - 65.5 \pm 7.4\text{kg}$ ), VL30 群 ( $62.7 \pm 6.7\text{kg} - 64.2 \pm 6.5\text{kg}$ ) であり Post が有意に増大した。大腿部周径囲は VL10 群 ( $49.3 \pm 3.3\text{cm} - 51.2 \pm 3.5\text{cm}$ ), VL20 群 ( $49.5 \pm 2.4\text{cm} - 52.4 \pm 2.8\text{cm}$ ), VL30 群 ( $49.4 \pm 3.2\text{cm} - 53.1 \pm 3.3\text{cm}$ ) であり Post が有意に増大した。下腿部周径囲は VL10 群 ( $34.7 \pm 1.3\text{cm} - 35.1 \pm 1.4\text{cm}$ ), VL20 群 ( $35.5 \pm 1.4\text{cm} - 36.0 \pm 1.3\text{cm}$ ), VL30 群 ( $35.1 \pm 1.6\text{cm} - 35.4 \pm 2.0\text{cm}$ ) であり Pre と比較して, Post が有意に増大した。



表III-4-1 各群における Pre-Post の身体特性

Measurement item	VL10(n=9)		VL20(n=9)		VL30(n=9)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Height (m)	1.72 ± 0.06	1.72 ± 0.06	1.72 ± 0.05	1.72 ± 0.05	1.70 ± 0.07	1.70 ± 0.07
Body weight (kg)	61.7 ± 4.4	62.8 ± 3.8**	64.5 ± 7.2	65.5 ± 7.4**	62.7 ± 6.7	64.2 ± 6.5**
Girth measurements						
thigh(cm)	49.3 ± 3.3	51.2 ± 3.5**	49.5 ± 2.4	52.4 ± 2.8**	49.4 ± 3.2	53.1 ± 3.3**
calf(cm)	34.7 ± 1.3	35.1 ± 1.4**	35.5 ± 1.4	36.0 ± 1.3**	35.1 ± 1.6	35.4 ± 2.0**

\*\* : p < 0.01 vs Pre

## ii. 筋出力特性

### ii-1. スクワット 1RM

図III-4-3は、Pre-Postのスクワット1RMの変化を示したものである。分散分析の結果、交互作用は認められなかったため、主効果を検討した。Preと比較して、Postが有意に向上しており、それぞれVL10群 ( $91.7 \pm 11.5\text{kg} - 99.2 \pm 12.0\text{kg}$ )、VL20群 ( $91.7 \pm 12.7\text{kg} - 102.2 \pm 14.6\text{kg}$ )、VL30群 ( $96.1 \pm 19.7\text{kg} - 107.5 \pm 21.7\text{kg}$ )であった。

### ii-2. スクワット最大パワー

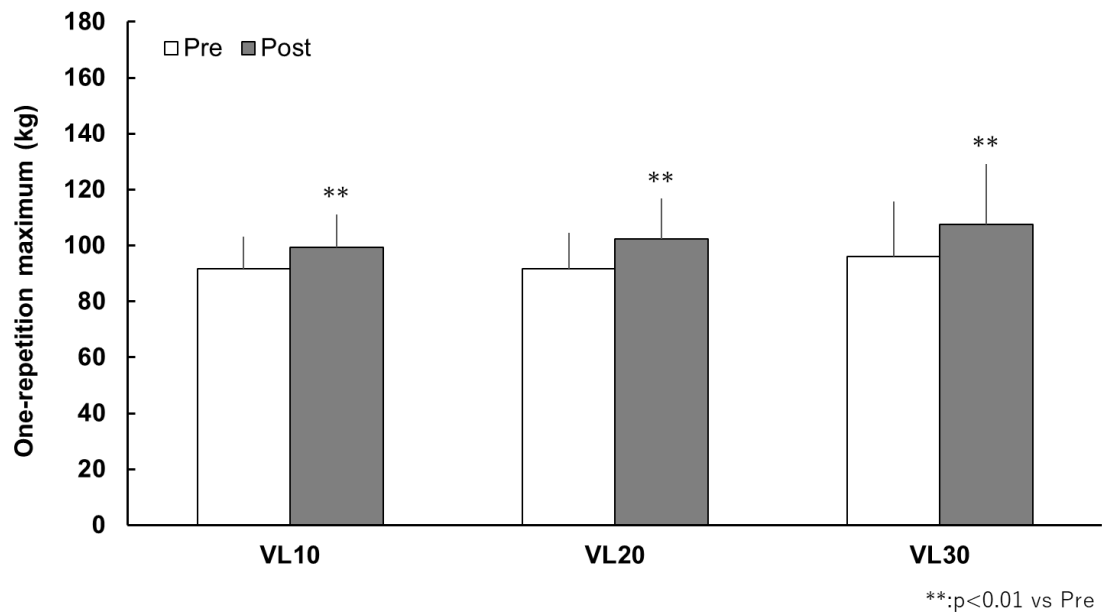
図III-4-4にPre-Postにおけるスクワット最大パワーの変化を示した。分散分析の結果、交互作用は認められなかったため、主効果を検討した。Preと比較してPostで有意にパワーの増大が認められた。パワーの増大は、それぞれVL10群 ( $1039.1 \pm 180.0\text{W} - 1178.6 \pm 139.1\text{W}$ )、VL20群 ( $1063.1 \pm 179.9\text{W} - 1180.8 \pm 117.0\text{W}$ )、VL30群 ( $1007.4 \pm 221.5\text{W} - 1182.3 \pm 206.0\text{W}$ )であった。最大パワー発揮時の相対強度はPreが29~77%1RM ( $48.5 \pm 14.4\%1\text{RM}$ )、Postが35~73%1RM ( $50.0 \pm 11.5\%1\text{RM}$ )の範囲となり統計的に有意な差は認められなかった。

### ii-3. CMJ

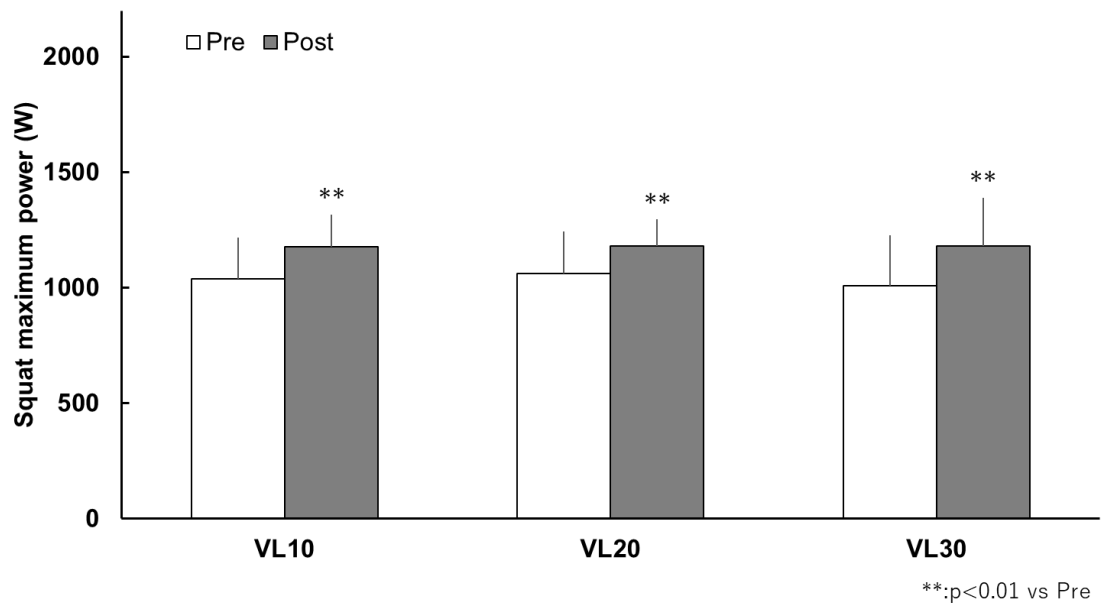
図III-4-5にPre-PostにおけるCMJの跳躍高の変化を示した。分散分析の結果、交互作用は認められなかったため、主効果を検討した。VL10群 ( $0.479 \pm 0.041\text{m} - 0.497 \pm 0.042\text{m}$ )、VL20群 ( $0.482 \pm 0.046\text{m} - 0.519 \pm 0.052\text{m}$ )、VL30群 ( $0.504 \pm 0.056\text{m} - 0.519 \pm 0.054\text{m}$ )となり、Preと比較してPostの跳躍高が有意に高い値を示した。

### ii-4. 最大無酸素パワー

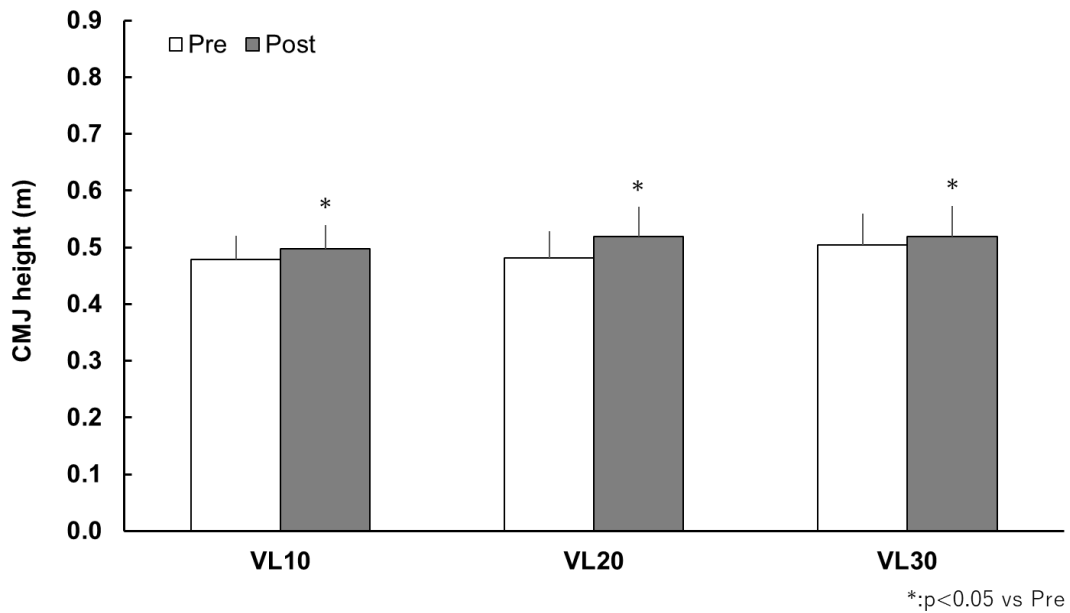
図III-4-6にPre-Postにおける最大無酸素パワーの体重比の変化を示した。分散分析の結果、交互作用は認められなかったため、主効果を検討した。VL10群 ( $12.0 \pm 0.9\text{W/kg} - 12.6 \pm 0.9\text{W/kg}$ )、VL20群 ( $12.0 \pm 1.1\text{W/kg} - 12.3 \pm 0.9\text{W/kg}$ )、VL30群 ( $12.2 \pm 0.5\text{W/kg} - 12.7 \pm 0.6\text{W/kg}$ )となり、Preと比較してPostの値が有意に高い値を示した。



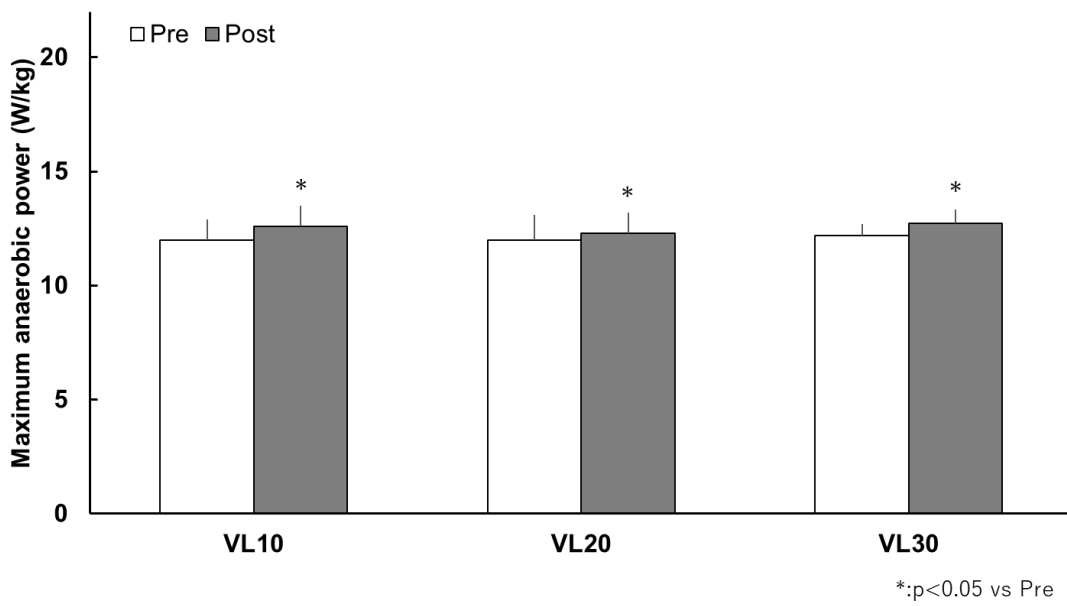
図III-4-3 スクワット 1RM の変化



図III-4-4 スクワット最大パワーの変化



図III-4-5 CMJ の変化



図III-4-6 最大無酸素パワー体重比の変化

iii. トレーニング期間中のパラメータ

表III-4-2a,b はトレーニング全体の平均パラメータと 4 セッション毎のトレーニングデータを 1 つのマイクロサイクルとしてまとめたものである。以下にトレーニング期間中におけるパラメータ変化の詳細を示す。

表III-4-2a トレーニング全体およびマイクロサイクルのパラメータ

Group	Micro cycle	Bar weight (kg)	Rep Number	Training Volume(t)	Mean Force(N)	Mean Power(W)	Mean Velocity(m/s)
VL10 (n=9)	1	68.0 ± 2.9	4.8 ± 1.0	3.92 ± 0.13	1305.3 ± 147.3	842.3 ± 106.0	0.65 ± 0.04
	2	74.3 ± 10.8	4.6 ± 1.0	4.13 ± 0.05	1368.2 ± 144.2	882.4 ± 99.7	0.65 ± 0.03
	3	77.1 ± 11.1	4.6 ± 1.2	4.22 ± 0.08	1405.0 ± 146.5	885.5 ± 105.2	0.63 ± 0.03
<i>Total average</i>		<i>73.2 ± 11.8</i>	<i>4.7 ± 1.1</i>	<i>12.28 ± 0.09</i>	<i>1356.6 ± 149.7</i>	<i>867.4 ± 104.5</i>	<i>0.65 ± 0.03</i>
VL20 (n=9)	1	67.2 ± 10.2	7.4 ± 2.0	6.00 ± 0.14	1343.3 ± 171.1	821.6 ± 99.3	0.63 ± 0.03
	2	70.6 ± 9.7	8.4 ± 2.0	7.20 ± 0.11	1357.6 ± 162.5	852.9 ± 104.5	0.64 ± 0.04
	3	72.0 ± 9.1	8.3 ± 1.8	7.29 ± 0.11	1372.0 ± 148.0	844.4 ± 101.9	0.62 ± 0.03
<i>Total average</i>		<i>69.9 ± 10.1</i>	<i>8.1 ± 2.0</i>	<i>20.53 ± 0.18</i>	<i>1352.0 ± 152.2</i>	<i>840.0 ± 103.1</i>	<i>0.63 ± 0.03</i>
VL30 (n=9)	1	73.1 ± 16.0	9.7 ± 1.9	8.60 ± 0.19	1364.4 ± 211.9	816.6 ± 135.0	0.61 ± 0.04
	2	73.8 ± 16.6	11.4 ± 2.0	10.01 ± 0.05	1374.2 ± 218.0	822.5 ± 143.3	0.61 ± 0.04
	3	74.6 ± 16.4	11.5 ± 2.0	10.37 ± 0.08	1384.4 ± 213.8	863.1 ± 137.5	0.63 ± 0.03
<i>Total average</i>		<i>73.8 ± 16.5</i>	<i>10.8 ± 2.1</i>	<i>29.00 ± 0.23</i>	<i>1374.4 ± 212.8</i>	<i>834.1 ± 139.3</i>	<i>0.61 ± 0.04</i>
<i>ANOVA</i>		<i>p&lt;0.01</i>	<i>p&lt;0.01</i>	<i>p&lt;0.01</i>	<i>n.s.</i>	<i>p&lt;0.01</i>	<i>p&lt;0.01</i>
<i>Multiple comparison test</i>		<i>VL20&lt;VL10,VL30</i>	<i>VL10&lt;VL20&lt;VL30</i>	<i>VL10&lt;VL20&lt;VL30</i>		<i>VL20,VL30&lt;VL10</i>	<i>VL30&lt;VL20&lt;VL10</i>

VL:Velocity loss, n.s.:not significantly

表III-4-2b トレーニング全体およびマイクロサイクルのパラメータ

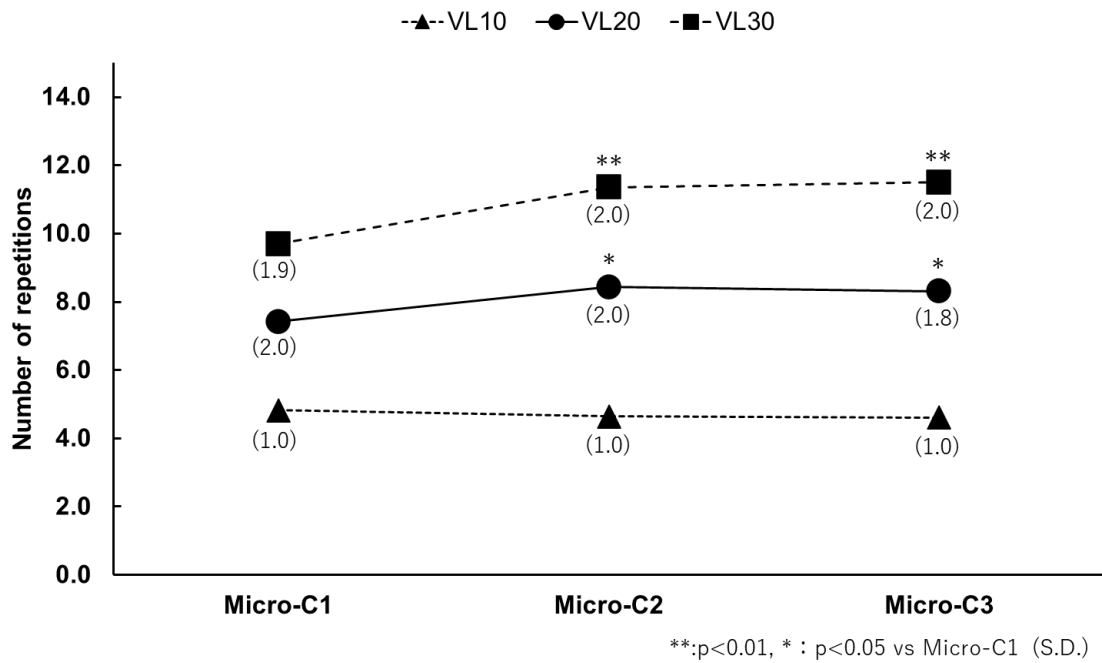
Mean Power/BW(W/Kg)	Peak Force(N)	Peak Power(W)	Peak Velocity(m/s)	Peak Power/BW(W/Kg)	RPE (1-10)
13.4 ± 1.1	1875.3 ± 274.1	2006.9 ± 238.1	1.26 ± 0.10	32.1 ± 3.5	5.2 ± 1.3
14.1 ± 1.1	2047.5 ± 301.0	2120.0 ± 191.0	1.25 ± 0.09	34.0 ± 3.0	4.8 ± 1.1
14.0 ± 1.0	2113.6 ± 314.4	2124.2 ± 181.7	1.23 ± 0.09	33.8 ± 3.3	4.6 ± 1.1
<i>13.9 ± 1.1</i>	<i>2012.1 ± 308.4</i>	<i>2083.7 ± 212.1</i>	<i>1.25 ± 0.10</i>	<i>33.3 ± 3.3</i>	<i>4.9 ± 1.2</i>
12.5 ± 0.9	1938.5 ± 322.5	1811.0 ± 195.3	1.17 ± 0.11	27.7 ± 2.7	7.6 ± 1.0
13.0 ± 1.0	2015.7 ± 301.1	1848.1 ± 181.3	1.16 ± 0.08	28.3 ± 1.9	7.5 ± 1.3
12.9 ± 0.9	1992.5 ± 264.3	1899.8 ± 216.5	1.17 ± 0.09	29.1 ± 2.0	6.9 ± 1.3
<i>12.8 ± 1.0</i>	<i>1982.2 ± 301.5</i>	<i>1852.9 ± 196.3</i>	<i>1.17 ± 0.09</i>	<i>28.4 ± 2.2</i>	<i>7.3 ± 1.2</i>
12.8 ± 1.4	1912.4 ± 361.9	1938.3 ± 413.3	1.18 ± 0.09	30.2 ± 4.0	7.6 ± 0.6
12.8 ± 1.6	1948.1 ± 336.7	1865.5 ± 413.4	1.14 ± 0.09	28.9 ± 4.3	7.6 ± 0.9
13.5 ± 1.5	2014.9 ± 340.1	1926.7 ± 331.7	1.17 ± 0.08	30.0 ± 3.5	7.4 ± 0.8
<i>13.0 ± 1.5</i>	<i>1958.5 ± 345.1</i>	<i>1910.2 ± 388.5</i>	<i>1.17 ± 0.09</i>	<i>29.7 ± 4.0</i>	<i>7.5 ± 0.8</i>
<i>p&lt;0.01</i> VL20,VL30<VL10	<i>n.s.</i>	<i>p&lt;0.01</i> VL20<VL10,VL30	<i>p&lt;0.01</i> VL20,VL30<VL10	<i>p&lt;0.01</i> VL20,VL30<VL10	<i>p&lt;0.01</i> VL10<VL20,VL30

### iii-1. 反復回数および総トレーニング量の変化

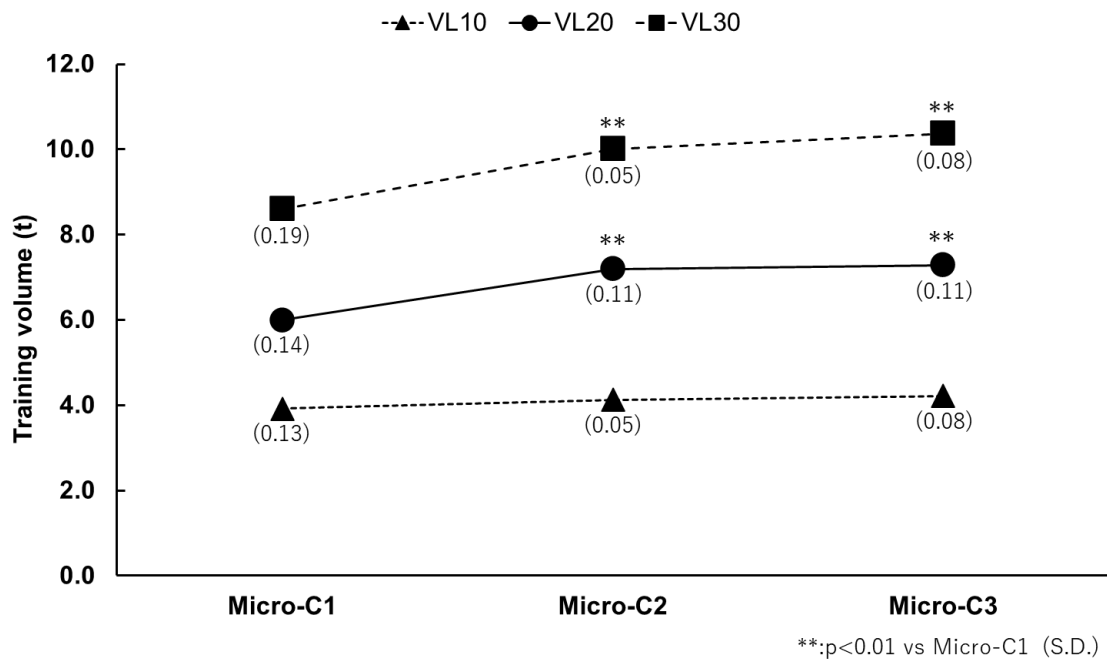
トレーニング全体の反復回数は、VL10 群が  $4.7 \pm 1.1$  回、VL20 群が  $8.1 \pm 2.0$  回、VL30 群が  $10.8 \pm 2.1$  回となり、多重比較検定の結果、VL30 群 > VL20 群 > VL10 群の順で有意に多かった (表III-4-2a,b)。各群におけるマイクロサイクル毎の反復回数は、VL10 群が  $4.8 \pm 1.0$  回 -  $4.6 \pm 1.0$  回 -  $4.6 \pm 1.0$  回、VL20 群が  $7.4 \pm 2.0$  回 -  $8.4 \pm 2.0$  回 -  $8.3 \pm 1.8$  回、VL30 群が  $9.7 \pm 1.9$  回 -  $11.4 \pm 2.0$  回 -  $11.5 \pm 2.0$  回となり、VL20 群および VL30 群は Micro-C1 より Micro-C2 と Micro-C3 で反復回数が有意に増加した (図III-4-7)。

総トレーニング量は、セット毎に重量×反復回数を算出し、12 セッションの合計で示した。トレーニング期間中の総トレーニング量は、VL10 群が  $12.28 \pm 0.09t$ 、VL20 群が  $20.53 \pm 0.18t$ 、VL30 群が  $29.00 \pm 0.23t$  となり、多重比較検定の結果、VL30 群 > VL20 群 > VL10 群の順で有意に多い値であった (表III-4-2a,b)。各群におけるマイクロサイクル毎の総トレーニング量は、VL10 群が  $3.92 \pm 0.13t$  -  $4.13 \pm 0.05t$  -  $4.22 \pm 0.08t$ 、VL20 群が  $6.00 \pm 0.14t$  -  $7.20 \pm 0.11t$  -  $7.29 \pm 0.11t$ 、VL30 群が  $8.60 \pm 0.19t$  -  $10.01 \pm 0.05t$  -  $10.37 \pm 0.08t$  であった。VL20 群および VL30 群では、Micro-C1 と比較し Micro-C2 と Micro-C3 で有意に増大した (図III-4-8)。





図III-4-7 ミクロサイクルにおける反復回数の変化



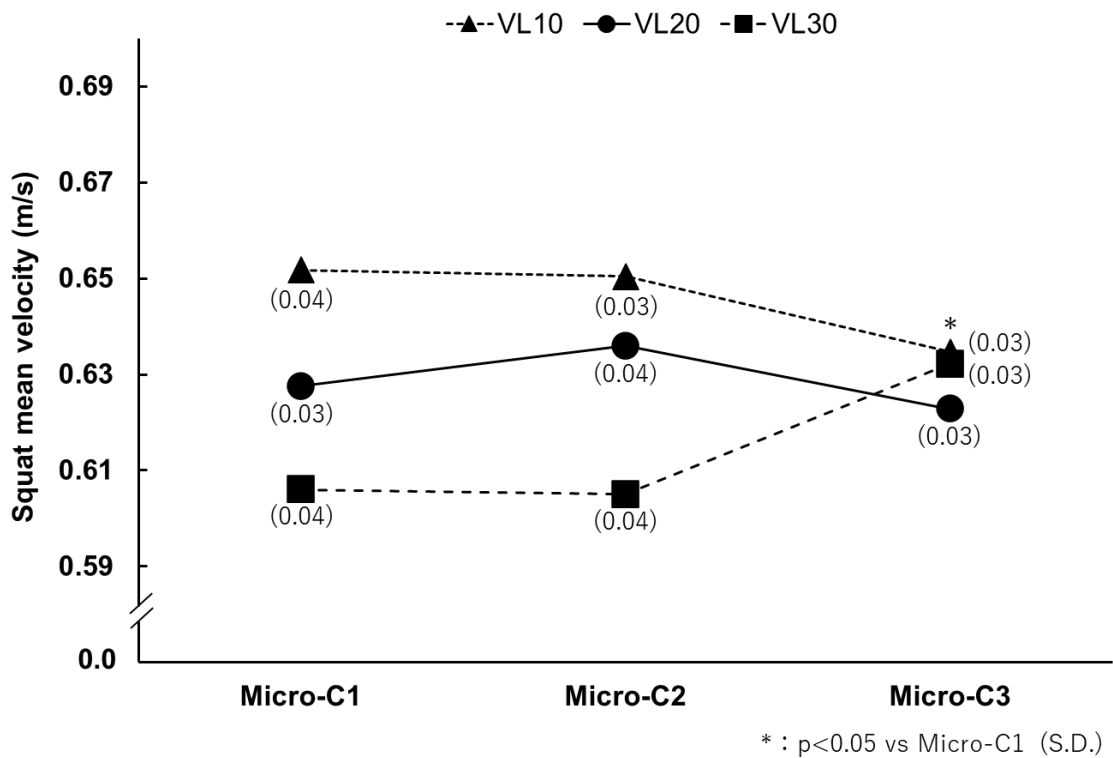
図III-4-8 ミクロサイクルにおける総トレーニング量の変化

### iii-2. 平均速度の変化

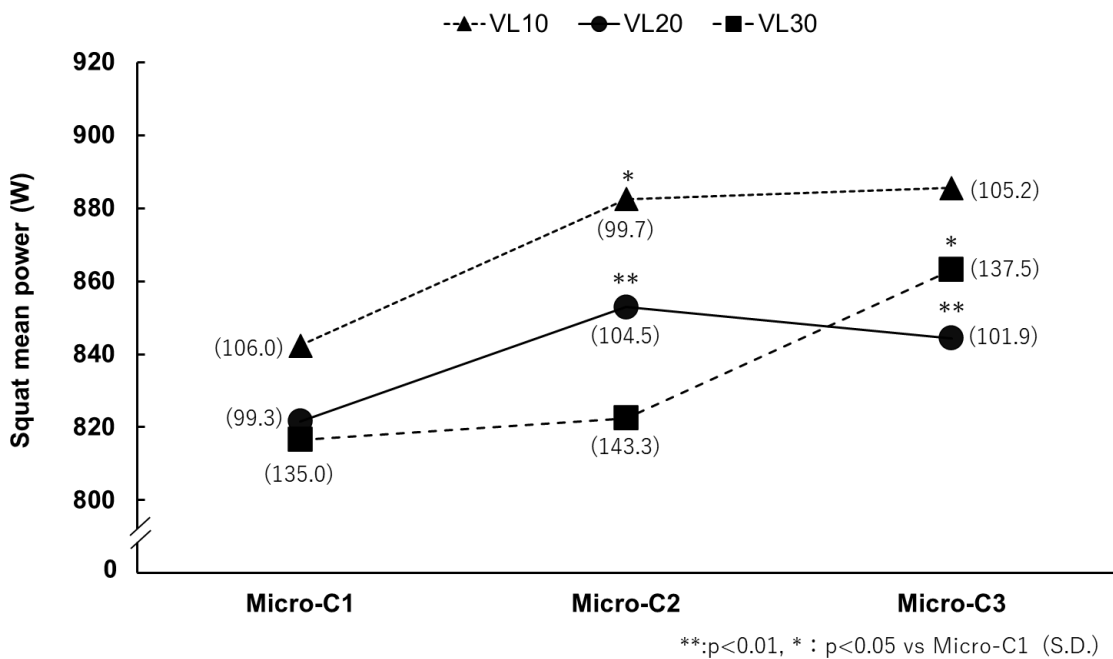
トレーニング全体の平均速度は、VL10 群が  $0.65 \pm 0.03\text{m/s}$ 、VL20 群が  $0.63 \pm 0.03\text{m/s}$ 、VL30 群が  $0.61 \pm 0.04\text{m/s}$  となり、VL10 群 > VL20 群 > VL30 群の順で有意に高かった (表III-4-2a,b)。マイクロサイクル毎の平均拳上速度は、VL10 群が  $0.65 \pm 0.04\text{m/s} - 0.65 \pm 0.03\text{m/s} - 0.63 \pm 0.03\text{m/s}$ 、VL20 群が  $0.63 \pm 0.03\text{m/s} - 0.64 \pm 0.04\text{m/s} - 0.62 \pm 0.03\text{m/s}$ 、VL30 群が  $0.61 \pm 0.04\text{m/s} - 0.61 \pm 0.04\text{m/s} - 0.63 \pm 0.03\text{m/s}$  となり、VL30 群において、Micro-C1 と比較し Micro-C3 が有意に高い値を示した (図III-4-9)。

### iii-3. 平均パワーの変化

トレーニング全体の平均パワーは、VL10 群で  $867.4 \pm 104.5\text{W}$ 、VL20 群で  $840.0 \pm 103.1\text{W}$ 、VL30 群で  $834.1 \pm 139.3\text{W}$  となり、VL30 群および VL20 群より VL10 群が有意に大きな値であった (表III-4-2a,b)。マイクロサイクル毎の平均パワーは、VL10 群が  $842.3 \pm 106.0\text{W} - 882.4 \pm 99.7\text{W} - 885.5 \pm 105.2\text{W}$ 、VL20 群が  $821.6 \pm 99.3\text{W} - 852.9 \pm 104.5\text{W} - 844.4 \pm 101.9\text{W}$ 、VL30 群が  $816.6 \pm 135.0\text{W} - 822.5 \pm 143.3\text{W} - 863.1 \pm 137.5\text{W}$  となり、Micro-C1 と比較して、VL10 群では Micro-C2 が、VL20 群では Micro-C2 と Micro-C3 が、VL30 群では Micro-C3 が有意に高い値を示した (図III-4-10)。



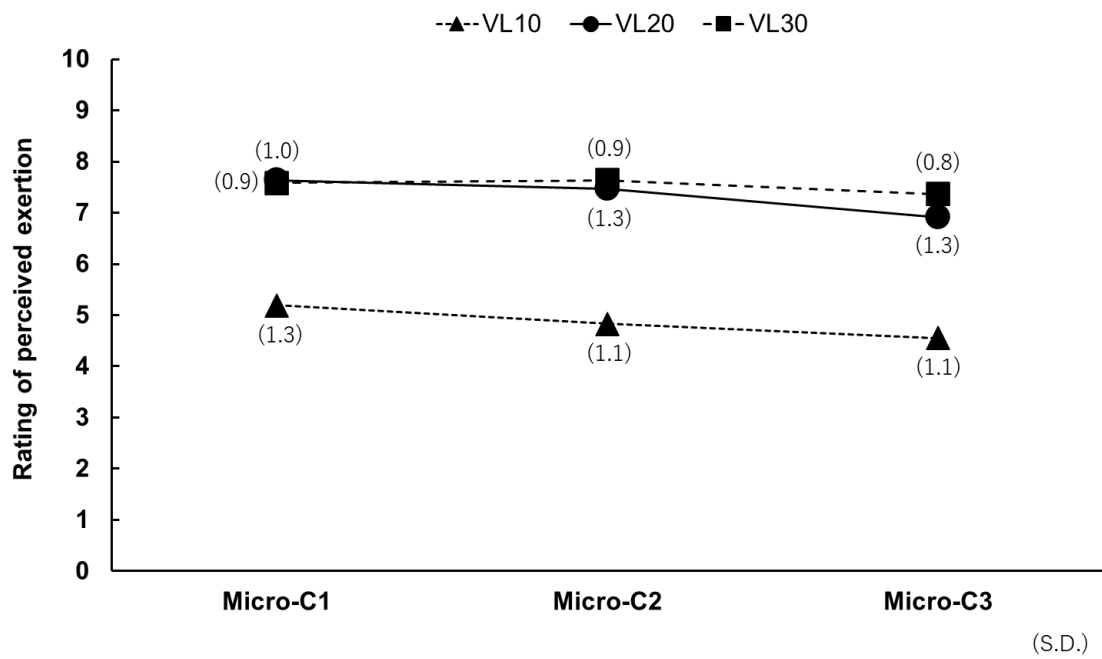
図III-4-9 ミクロサイクルにおける平均速度の変化



図III-4-10 ミクロサイクルにおける平均パワーの変化

#### iii-4. 主観的運動強度の変化

トレーニング全体の RPE は、VL10 群で  $4.9 \pm 1.2$ 、VL20 群で  $7.3 \pm 1.2$ 、VL30 群で  $7.5 \pm 0.8$  となり、群間に有意差が認められた (VL10<VL20,VL30) (表III-4-2a,b)。マイクロサイクル毎の RPE は、VL10 群が  $5.2 \pm 1.3 - 4.8 \pm 1.1 - 4.6 \pm 1.1$ 、VL20 群が  $7.6 \pm 1.0 - 7.5 \pm 1.3 - 6.9 \pm 1.3$ 、VL30 群が  $7.6 \pm 0.6 - 7.6 \pm 0.9 - 7.4 \pm 0.8$  となり、すべての群で Micro-C 間に統計的に有意な差は認められなかった (図III-4-11)。



図III-4-11 ミクロサイクルにおける RPE の変化

#### 4) 考察

##### i. 身体組成の変化

本研究は、トレーニング前後における身体組成を評価した。その結果、すべての群において、体重、下腿部・大腿部周径囲がトレーニング後に有意に増大した。一般的にレジスタンストレーニングにおいて筋肥大を目的とした場合、70~85%1RMの重量で8~12回を複数セット実施することが効果的であるとされている(有賀ら, 2014)。本研究において1RMを直接測定したのはトレーニング介入前後の2回であったため、トレーニング期間中の正確な1RMは不明であるが、VBTは、毎回の挙上速度を基準に重量を設定するため、変動する1RMに対応でき、相対的な強度を正確に測定できる可能性が高い。本研究では、トレーニング期間を通じて一定の挙上速度<sup>※)</sup>でトレーニングを実施していたため、その再現性は高いと判断できる。つまり、トレーニング期間中は常に70%1RM前後の強度でトレーニングしていたことになり、本研究結果から体重および下肢周径囲の増大に影響を及ぼしたものと考えられる。

レジスタンストレーニングにおいて筋肥大が生じるには、通常3~4ヶ月の期間が必要であるとされてきたが、近年では、短期間でその効果がみられる事例も存在する(Abe et al., 2005; 眞鍋ら, 2008; Staron et al., 1994)。本研究は6週のトレーニング期間で12回のトレーニングセッションであり、短期間で下腿部・大腿部周径囲と体重が増大したことは、非常に興味深い知見となった。通常、骨格筋はサイズの原理に従い、運動強度が上がるにつれ運動単位の大きなタイプII線維を動員する(石井, 2014)。筋肥大はタイプII線維をより多く動員することに起因する。つまり、本研究で用いた運動強度(65~75%1RM)に対し最大速度で挙上したことによって、筋肥大に影響を及ぼしていたものと推測される。

<sup>※)</sup> ターゲットとする速度領域を外れた場合は、次セットから重量の増減により調整しており、規定外の試技数は全体の3~5%であり、1セット1人平均で0.4回であった。

##### ii. 筋出力特性の変化

###### ii-1. 最大筋力の向上効果

本研究は、スクワットの挙上速度を基準とし、3つのグループにそれぞれ異なる速度損失率を設定したプロトコルにて、6週間で12セッションのトレーニングを実施し、筋出力に与える影響について検証した。

スクワット 1RM は、すべての群において、およそ 8~12%の有意な増大が認められた。レジスタンストレーニングによって筋力を決定する要因は神経系機能の改善と筋横断面積の増大(石井, 2014)が考えられるが、筋力向上を目的とした場合、85% (6RM) 以上の高強度を用いて、1~5 回の全力による反復を、2~5 分の休息時間を挟んで 2 セット以上行う方法が多く採用されている(有賀ら, 2014; 眞鍋ら, 2008)。本研究で採用した速度領域は 0.6~0.7m/s (65~75%1RM) と先行研究と比較してやや低い強度であるが、反復回数は VL10 群で 4.1 回, VL20 群で 8.1 回, VL30 群で 10.8 回とトレーニング条件によって差が生じており、当然のことながら、速度損失率が最も小さい VL10 群では、VL30 群に対し、42%の総トレーニング量であった。Pareja-Blanco et al. (2017) は、挙上速度が 20%Loss および 40%Loss 時に終了するプロトコルで 2 つのグループを比較した。その結果、20%Loss 群の総挙上重量や反復回数は 40%Loss 群の約 60%程度となり、1RM は両群で同等の増加量を示したが、40%Loss 群はより高い筋肥大効果が得られたと報告している。40%Loss 群の筋肥大の要因については、タイプ II x 線維の割合の減少、タイプ II a 線維の増加によることを示唆している。本研究は、すべての群において 1RM の向上に加え、体重および下肢の周径囲の増大がみられたが、群間の差は認められなかった。このことは、反復回数や総トレーニング量に関係なく、最大筋力や筋サイズに同等の変化が生じることを意味するものであるが、筋力向上に神経系機能改善と筋横断面積増大がどの程度影響していたかは不明である。高強度レジスタンストレーニングを長期間継続すると、筋線維サブタイプの遅筋化が生じ、パワーや RFD が低下する可能性がある(有賀ら, 2014)。とりわけ 40%Loss まで総挙上重量が増大するとタイプ II ミオシン重鎖の減少は否定できないが、本研究で最も速度損失率が大きかった VL30 群では、他のグループと同程度の筋肥大効果であり、後述する最大パワーや CMJ の値が同様に向上していることから、短期的なトレーニングにおいて、速度領域が 0.6~0.7m/s の範囲である場合、それらの影響は少ないと考える。

## ii-2. 最大パワーの向上効果

レジスタンストレーニングにおいて、発揮パワーの向上には、パワーを構成する力(筋力)と速度(筋収縮速度)を考慮する必要がある。筋力は神経系機能や筋横断面積の要因に、筋収縮速度は神経系機能、筋長、腱の接合部などの影響を受けるとされており、後者は遺伝の影響が強く、トレーナビリティが低いことが指摘されている(有賀ら, 2014)。また、パワーは筋力と有意な相関関係が認められているため、トレーナビリティが高い筋力を増大さ

せることが、パワー向上の基本条件となり、スクワットのような多関節運動では、1RM の30~70%において最大パワーが発揮され個人差が存在する (Cormie et al., 2007; González and Sánchez, 2010; Kirby and Erickson, 2010; 砂川・下嶽, 2017)。本研究では、すべての群においてトレーニング後に最大パワーが有意に増大した。1RM 測定で実施されたすべての試技から最大パワーが発揮された試技を抽出したところ、約 50%1RM (35~73%1RM) の相対強度であり、先行研究の結果からも妥当な範囲と言える。パワーを高めるには、前述した最大パワーが発揮される相対強度でトレーニングをすることが最も有効 (Cormie et al., 2007; Kirby and Erickson, 2010) とされているが、筋力や速度の優位性を考慮しなければならない。本研究はトレーニング期間を通じて常に挙上速度が 0.6~0.7m/s となる強度 (65~75%1RM) を用いていたことによって、発揮パワーが向上したと推察され、トレーニングの原理原則からも妥当な結果であろう。したがって、VBT では、より少ないトレーニング量においてもトレーニング強度に応じたパワー発揮の向上に寄与できる可能性が示唆された。

#### ii-3. 下肢の爆発的筋力と最大無酸素パワー

本研究は、下肢の爆発的筋力および最大無酸素パワーを CMJ, 自転車こぎ運動で評価した。その結果、すべての群で CMJ の跳躍高、最大無酸素パワー体重比が有意に向上していた。下肢筋力はジャンプパフォーマンスやスプリントパフォーマンスに大きな影響を及ぼすとされており、福永ら (1991) は、スクワット動作中の力の立ち上がりや発揮パワーと垂直跳びの跳躍高との間には正の相関関係が認められたことを報告している。また、Hedrick (1996) は、トレーニングによる下肢の筋力向上に伴い、垂直跳びのパフォーマンスが有意に改善されることを明らかにしている。通常レジスタンストレーニングは、加速によって生じる挙上動作終盤での減速局面を最小限にとどめ可動域全般にわたって筋に負荷抵抗を与えるため、中程度の速度で実施されることが多い。この手法は、筋肥大には非常に有効的であるが (中谷ら, 2019)、パワーや短時間に大きな力発揮をする能力 (RFD) の向上を妨げ、さらに反動動作の機能的な能力を低下させてしまう可能性がある (有賀ら, 2014)。一方で、短縮性筋活動において高速で挙上動作を行う高速レジスタンストレーニングは、RFD の増加や筋活動の機能的な改善効果が期待できるとされている (Cormie et al., 2011; Haff et al., 2001; 金子ら, 1981)。本研究の VBT プロトコルは、すべて最大速度での挙上としていることから短時間で大きな力を発揮する能力の改善によって、CMJ の跳躍高の変化に



影響を及ぼしたと考えられる。さらに、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 (Dore et al., 2005; Martin et al., 1997; Mayhew and Salm, 1990)。つまり、本研究で得られた成果として、12 回のセッションで少ないトレーニング量においてもこれらの機能的改善が推察できることは特に注目すべき点であると言えよう。

#### ii-4. 速度損失率の違いによるトレーニング効果の特徴

12 回のトレーニングセッションを初期・中期・終期で期分けし、トレーニング全体を総合的に評価するために、4 回のトレーニングセッションを 1 つのマイクロサイクルとしてトレーニング量、速度およびパワーの変化を分析した。トレーニング量は、重量×反復回数で示されるため、速度損失率が大きくなるにつれて、トレーニング量が増大することは当然の結果といえるが、VL20 群、VL30 群は、トレーニング初期と比較し中期・終期において多くなるのに対し、VL10 群では、その変化が一定であった。つまり、速度損失率を 10% に設定した場合、トレーニング期間を通じて安定した反復回数で行うことが可能であり、逆に 20% 以上の速度損失率は、トレーニング中期以降に設定された速度領域内での反復回数が増加することが明らかとなった。また、トレーニング期間中の平均速度および平均パワーの変化を見てみると、VL10 群 > VL20 群 > VL30 群の順で、より高い速度での挙上と高い発揮パワーが確認され、特に VL10 群では、トレーニング中期以降に平均パワーの増大を示した。VL30 群は、トレーニング終期において平均速度および平均パワーの向上が顕著であった。とりわけ、VL30 群における反復回数は 10 回前後となるが、トレーニング初期に比べ、終期では 0.6~0.7m/s の挙上速度範囲内で反復回数が増えた結果、平均速度の向上に影響していたと考えられる。このことから、運動時間が比較的短く単発のパワー発揮が重要となる競技スポーツには、VL10 群のようなトレーニングプロトコルを 2~4 週行うことでその効果が得られる可能性がある。反対に高い発揮パワーの持続性の向上を目的とする場合は、速度損失率を 30% 程度に設定し、少なくとも 6 週間のトレーニング期間を要することが示唆された。本研究は 6 週間のトレーニング期間において、すべてのグループで最大筋力や最大パワーといった筋機能の向上が確認されている。これは筋力増加等の貢献度として神経系機能改善の要因が大きいと考えられるが、短期的なトレーニングでは、総トレーニング量の大小に関わらず同程度のトレーニング効果を得られることが期待される。つまり、トレ

ーニング初期において速度を基準に総トレーニング量をコントロールすることで疲労蓄積の抑制や回復に要する時間の短縮などに影響し、ピリオダイゼーションの観点からも戦略的に活用できるかもしれない。しかし、中・長期的な VBT の有用性については今後さらに検討する必要があるであろう。

#### ii -5. 速度損失率の違いによる疲労の影響

筋機能の向上にはトレーニングの目的に応じた条件設定が不可欠といえ、エクササイズ種目やトレーニング変数の調整が極めて重要である。例えば、筋肥大を目的とした場合、成長ホルモンの分泌を促し、一時的な筋損傷後の修復を経てその効果が得られる(石井, 2014)。そのため、多くのトレーニング量が必要になる一方、筋疲労からの回復までにかなりの時間を要する。本研究は、毎回トレーニング直後に 10 段階の RPE を聴取した。その結果、VL10 群と比較し、VL20 群および VL30 群は有意に大きな値を示した。運動強度の増加や運動時間の延長は、心拍数、呼吸数、血中乳酸濃度等を上昇させ、疲労が蓄積する (Anderson and Rhodes, 1989; Ribeiro et al., 2004; Stallknecht et al., 1998)。トレーニング中における生理的指標のモニタリングは行っていないため言及はできないが、これらの生理的機序は、RPE と高い相関関係にあるため(中谷ら, 2009)、RPE の増大は、大きな疲労を伴うことを意味する。本研究において、トレーニング量が最も少なかった VL10 群は、RPE の値が他群より低いことから疲労を著しく減少させることができるトレーニングプロトコルであったと言えよう。つまり、速度損失率を 10%程度にする VBT は、その他のトレーニングに対して疲労が干渉することを防止するための一つの選択肢として用いることが可能であると考えられる。

## 5) 結論

本研究は、速度を基準としたレジスタンストレーニングにおいて、個々に設定された速度損失率の違いが筋機能に与える影響について検証した。トレーニングは 3 つのグループにより構成され、設定された速度領域においてスクワット運動を週 2～3 回の頻度で 12 セッション実施した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- i. トレーニング期間中の反復回数と総トレーニング量は、VL10 群が最も少なく、続いて VL20 群、VL30 群の順で有意に多かった。
- ii. RPE は VL10 群が他群に比べ有意に低く、トレーニング期間を通じて一定であった。
- iii. すべてのグループにおいて、体重、下肢の周径囲、スクワット 1RM、スクワット最大パワー、CMJ、最大無酸素パワーの値がトレーニング後に有意に増大した。

以上のことから、本研究で実施した VBT は、速度損失率の違いに関わらず、最大筋力や筋パワー等の向上に同等のトレーニング効果であることが示唆された。また、10%の速度損失率を用いることで過剰な疲労を抑制しつつ、より少ないトレーニング量で高いトレーニング刺激を得られることが考えられる。



## 4-2 スクワット運動の速度損失率の違いが各セッションの

活動後増強効果に及ぼす影響

—トレーニング経過に伴う短期的検証—

## 1) 目的

最大筋力や筋パワーの増大はスポーツパフォーマンスの向上に大きく影響される重要な因子であり、目的に応じて様々な手法のトレーニングプログラムが提唱されている(有賀, 2014)。レジスタンストレーニングの効果と有用性は多くの研究で確認されており、その一つに筋力とパワー向上を促す方法として複合トレーニングが挙げられる(Bauer et al., 2019; Bogdanis et al., 2017; Docherty and Hodgson, 2007; Ebben et al., 2000)。複合トレーニングは筋の発揮パフォーマンスの最大化を目的にコンディショニング活動として高強度レジスタンスエクササイズを行った後、続けて動作パターンが類似するエクササイズを実行することで運動単位の動員や同期が促進される(Bauer et al., 2019; Ebben et al., 2000)。例えば、高強度のバックスクワット後にCMJやプライオメトリクスエクササイズを組み合わせることでエクササイズ中の発揮パワーが増大するとされている(Docherty and Hodgson, 2007; Scott and Docherty, 2004)。これは、PAP現象をトレーニングに応用したものであり、適切なプロトコルにおいて実行される場合、大きなトレーニング効果が期待される。

これまでのPAPに関する研究において、その後の筋力パフォーマンスに対する結果の不一致(Baker, 2003; Gourgoulis et al., 2003; Jensen and Ebben, 2003; Jones and Lees, 2003; Scott and Docherty, 2004)、さらには、広範囲のエクササイズ変数がPAP誘発に貢献する可能性(McBride et al., 2005; Rahimi, 2007; Smilios et al., 2005; Sotiropoulos et al., 2010; 砂川, 2020b)を踏まえると、コンディショニング活動のエクササイズ変数が最も重要な要因であることが推察される。また、PAP誘発には、筋の活性化と疲労の2つの要因を考慮したコンディショニング活動の定量化が求められるが、性、年齢、活動レベルなどの個人差が影響しており(Golaś et al., 2016; Hamada et al., 2000; Tsolakis et al., 2011)、特に対象者の疲労耐性によって、PAPに対する至適な活動量に差異が生じる可能性も否定できない(Rahimi, 2007)。

VBTは、トレーニング中の挙上速度を基準に強度と量を決定するため、PBTのように重量や反復回数を固定する必要はなく、エクササイズ変数を日々変動させて行える特徴がある(González-Badillo et al., 2011; Pareja-Blanco et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2018; 砂川・古堅, 2020)。通常、レジスタンストレーニングでは複数回、挙上を繰り返すことからセット内の序盤に比べ終盤では、疲労が蓄積し挙上速度が低下することが知られており(Sánchez-Median and González-Badillo, 2011)、トレーニング中の速度損失の割合は、筋

疲労を客観的に定量化することができる可能性が考えられる。したがって、VBT は、疲労耐性が異なる対象者間 (Bogdanis et al., 2014; Gołaś et al., 2016; Kilduff et al., 2008) において少なくとも筋疲労の程度を同等にするプロトコルとして有用性が高いと言える。PAP における活性化と疲労の相互関係を踏まえると、コンディショニング活動に速度損失率を利用することで、個々の疲労耐性に従って仕事量を決定することが可能となり、その後の筋のパフォーマンスに対する PAP 現象を個別に促進できることが期待される。

VBT の注目すべき利点としては、少ない仕事量でありながら筋機能に多くの影響を与えることが期待でき、過剰な疲労を抑制することである。先行研究において、10%や20%といった小さな速度損失率が選択されれば、十分に疲労を抑制できることが明らかにされている (Pareja-Blanco et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2018; 砂川・古堅, 2020)。つまり、重量、反復回数、セット数などの総挙上重量で管理されてきた従来の方法と比べ、速度基準の評価法によって PAP 効果が促進される可能性が高いと言えるが、速度基準のコンディショニング活動を用いた PAP の検討はされていない。

他方、PAP は、「一時的な増強効果」であることから、実験プロトコルの多くが一過性の検証に留まっている (Baker, 2003; Gourgoulis et al., 2003; McBride et al., 2005; Rahimi, 2007; Smilios et al., 2005; Sotiropoulos et al., 2010)。しかし、PAP をスポーツのパフォーマンスやトレーニングに応用 (Gołaś et al., 2016) することを考えた場合、一過性の効果のみならず、トレーニング経過に伴う PAP の再現性と有用性を明らかにすることで、様々な負荷を使用した効果的なコンディショニングプロトコルを決定することが可能であると考えられる。また、日々のコンディションによる筋出力の変動性 (Chtourou et al., 2012; Michel et al., 2016; Souissi et al., 2002) を踏まえると、トレーニング経過に伴う PAP 効果の有無や大小を検証することは、トレーニング現場において有益な情報となり得る可能性がある。

そこで本研究は、速度基準のスクワット運動において、速度損失率を用いて反復回数を決定する方法が各セッションの PAP に与える影響について明らかにするとともにトレーニング経過を観察し、速度基準によるトレーニング効果と PAP の有用性について検討することを目的とした。

## 2) 方法

### i. 被験者

本研究は、積極的な運動習慣があり、過去にレジスタンストレーニングの経験を有する健康な男子大学生 16 名（年齢：19.8±1.3 歳，身長：1.72±0.05m，体重：62.1±5.3kg，スクワット 1RM<sup>\*</sup>：90.6±12.8kg，スクワット体重比<sup>\*</sup>：1.46±0.14，<sup>\*</sup>スクワットはトレーニング前の値）を対象とした。このうち，スクワット 1RM の値を基準に群間に差が生じないように考慮し，それぞれ 8 名を後述する 2 つのグループに分類した (VL10 群, VL20 群)。なお，被験者のレジスタンストレーニング経験年数は 1 年以上，4 年未満であった。本研究はヘルシンキ宣言の趣旨を遵守して行われ，すべての参加者に同意書を配布し，研究計画の概要，個人情報保護，非侵襲および安全管理，インフォームドコンセントに関する十分な説明を口頭および書面にて行い，実験参加への同意を署名により得た。また，実験参加に同意した後であっても測定期間中であれば文書により同意を撤回できることを告知し，実験参加者が不利益を受けないように配慮した。実験中における安全性の確保には，研究機関に付置する保健管理センターの医師および保健師等と連携し，危機管理に対し十分に留意したうえで，本人の意思を尊重しながら測定を実施した。

### ii. 測定項目および測定方法

本研究は，スクワット運動を採用し，トレーニング期間を通じて速度損失率を基準としたプロトコルの違いによる PAP 効果の検証を行った。PAP の評価には CMJ を用いて各セッションでのエクササイズ前 (CMJ<sub>pre</sub>) とエクササイズ後 (CMJ<sub>post</sub>) のパラメータを分析した。以下にその測定項目と測定方法の詳細を示す。

#### ii-1. 身体計測

研究 4-1 と同様に身長，体重および大腿部周径を計測した。

#### ii-2. スクワット 1RM および CMJ の測定

第 II 章の研究方法で示した手順に従って，スクワット 1RM および CMJ の測定を行った。

#### ii-3. RPE

研究 4-1 と同様に RPE を聴取した。

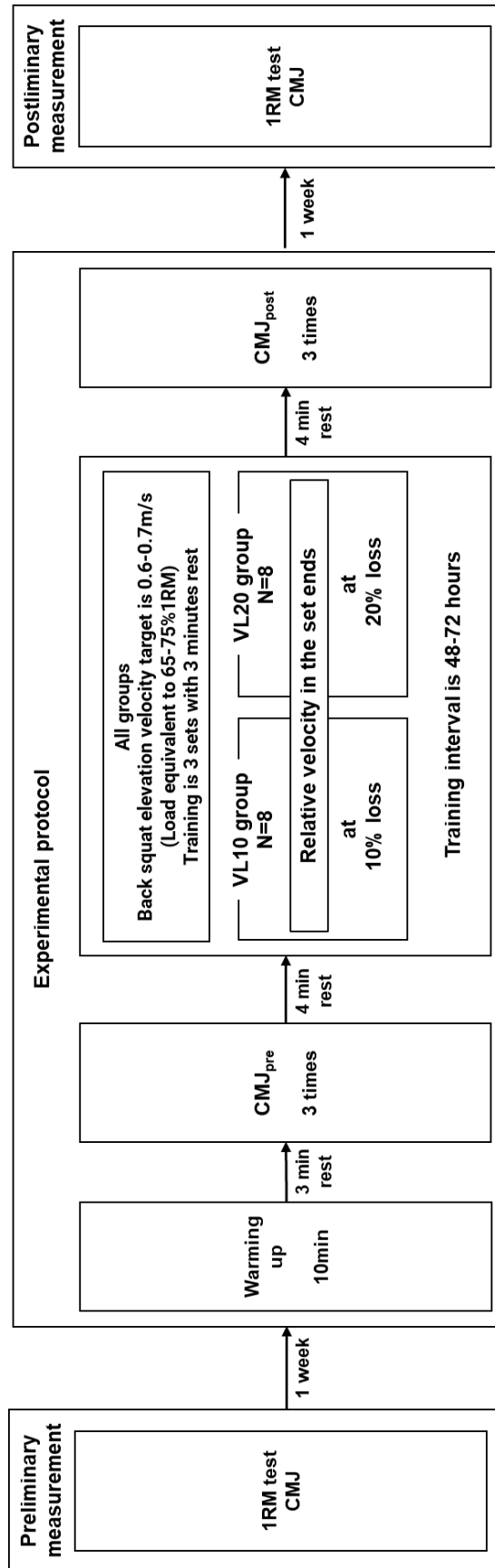


### iii. トレーニング内容および CMJ の測定手順

トレーニングは VL10 群および VL20 群とし、研究 4-1 で実施したトレーニング内容と同様とした。トレーニング介入の効果を検証するために、介入前 (Pre) と介入後 (Post) で体重、大腿部周径、スクワット 1RM、CMJ を測定した (図 III-4-12)。トレーニング経過を包括的に観察するために 4 セッション毎のトレーニングを 1 つのマイクロサイクル (MC1, MC2, MC3) として評価した。セッション毎の CMJ の測定は、第 II 章の研究方法と同様とし、スクワット運動後のリカバリー時間は 4 分とした。

### iv. 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。群間およびトレーニング前後のパラメータの差、マイクロサイクルにおけるトレーニングデータの差の検定には、2 要因分散分析 (群×時間) を用い、交互作用が認められた場合は単純主効果を検討し、交互作用が有意でない場合は主効果を検討した。単純主効果および主効果の検定の結果、有意であった場合は、Bonferroni 法による多重比較検定を行った。トレーニングセッション毎に PAP 効果を評価するために  $CMJ_{pre}$ 、 $CMJ_{post}$  の変化は対応のある t 検定を用いた。すべての有意水準は 5% 未満とした。全トレーニングセッションで行った CMJ の試技 (96 試技×2 群) における PAP の割合については  $\chi^2$  検定を用いた。トレーニング効果およびマイクロサイクル毎の CMJ におけるパラメータの差の大きさを示すために効果量 (*Cohen's d*) を求め、90% 信頼区間 (90%CI) を算出し、PAP の割合の結果については効果量 ( $\phi$ ) を求めた。効果量の目安は、*d* を小 (0.2)、中 (0.5)、大 (0.8)、 $\phi$  を小 (0.1)、中 (0.3)、大 (0.5) と定めた (水本・竹内, 2008)。また、効果量とその信頼区間から求められる差の程度に基づく推量 (Magnitude-based inference; MBI) を使用して、各群のマイクロサイクル毎に PAP の効果がどの程度有益であるかを評価した。本研究は先行研究 (Batterham and Hopkins, 2006; Hopkins et al., 2009) を参考に効果量 0.2 を最小有効変化 (Smallest worthwhile change; SWC) と定義し、PAP 効果がネガティブ、些細、ポジティブかの Percentage likelihood を求めた。Percentage likelihood の閾値は、most unlikely; <0.5%, very unlikely; 0.5–<5%, unlikely; 5–<25%, possibly; 25–<75%, likely; 75–<95%, very likely; 95–<99.5%, most likely; >99.5% と定義した。これらは、Hopkins, W.G. によるスプレッドシート (Hopkins, 2006) を用いて算出した。



図III-4-12 事前事後測定および実験プロトコル

### 3) 結果

#### i. 身体特性および筋機能特性のトレーニング効果

本研究に参加した被験者は、12セッションのすべてにおいてトレーニングを行っており、参加率は100%であった。

表III-4-3は、トレーニング介入前後における身体特性と筋機能特性の変化を示したものである。分散分析の結果、交互作用が認められなかったため主効果を検討した。身体特性および筋機能特性において両群ともにPreと比較してPostが有意に高い値を示し、パラメータの変化率は、それぞれ体重(VL10群;1.6%, VL20群;1.3%), 大腿部周径囲(VL10群;3.9%, VL20群;6.1%), スクワット1RM(VL10群;8.7%, VL20群;11.0%), スクワット体重比(VL10群;6.8%, VL20群;9.5%), CMJ(VL10群;7.8%, VL20群;8.3%)であった。

表III-4-3 トレーニング前後の身体特性および筋機能特性

	VL10(n=8)			VL20(n=8)		
	Pre	Post	ES (90%CI)	Pre	Post	ES (90%CI)
Body weight (kg)	61.5 ± 5.0	62.5 ± 4.5**	0.24 (0.08—0.40)	62.7 ± 5.9	63.6 ± 5.7**	0.16 (0.04—0.28)
Thigh circumference (cm)	48.9 ± 3.5	50.8 ± 3.2**	0.57 (0.18—0.96)	49.1 ± 2.4	52.1 ± 3.0**	1.10 (0.61—1.60)
Squat 1RM (kg)	90.0 ± 12.0	97.8 ± 12.9**	0.63 (0.23—1.00)	91.3 ± 14.3	101.3 ± 16.2**	0.65 (0.31—0.99)
Squat 1RM/BW	1.46 ± 0.14	1.56 ± 0.12**	0.77 (0.16—1.40)	1.45 ± 0.14	1.59 ± 0.15**	0.93 (0.35—1.50)
CMJ (m)	0.46 ± 0.04	0.500 ± 0.038**	0.97 (0.52—1.40)	0.480 ± 0.05	0.520 ± 0.059**	0.73 (0.38—1.10)

ES = Effect size; CI = Confidence interval \*\*: p<0.01, vs Pre

## ii. 速度基準のスクワット運動のパラメータ変化と群間比較

表III-4-4a,b にトレーニング期間中におけるスクワット運動のパラメータを示した。マイクロサイクルにおけるスクワットの重量、MP、PP、RPE について、分散分析の結果、交互作用が認められなかったため主効果を検討した。スクワットの重量および MP は、両群において MC1 よりも MC2 および MC3 で有意に高い値を示した。PP は、両群において MC1 よりも MC2 および MC3 で有意に高い値を示し、すべてのマイクロサイクルで VL10 群と比較し VL20 群で有意に低い値を示した。RPE は、両群において MC1 よりも MC3 が有意に低い値を示し、すべてのマイクロサイクルで VL10 群と比較し VL20 群で有意に高い値を示した。スクワットの反復回数および総挙上重量について、分散分析の結果、交互作用が有意であったため単純主効果を検討した。反復回数および総挙上重量は、VL10 群において統計的に有意な差は認められず、VL20 群では、MC1 よりも MC2 および MC3 で有意に高い値を示した。また、VL10 群と比較して VL20 群が有意に高い値を示した。スクワットの MV および PV は、統計的に有意な差は認められなかった。

表III-4-4a トレーニングセッションおよびマイクロサイクルのパラメータ

Training group	Micro cycle				1	Micro cycle	
	Training session					Training session	
	1	2	3	4		5	6
VL10 (n=8)							
Bar weight (kg)	67.6 ± 9.6	64.3 ± 16.5	69.8 ± 8.9	70.1 ± 9.4	67.9 ± 11.8	71.2 ± 9.9	72.4 ± 9.7
Rep number	4.2 ± 0.9	4.5 ± 0.6	5.0 ± 0.7	5.1 ± 1.0	4.7 ± 0.9	4.8 ± 0.8	4.7 ± 0.9
Total weight (kg)	848.4 ± 153.8	894.0 ± 268.3	1041.3 ± 103.2	1056.3 ± 163.3	960.0 ± 203.5	998.1 ± 126.4	1010.0 ± 196.5
Mean power (W)	850.3 ± 85.6	807.9 ± 138.4	828.0 ± 93.1	848.1 ± 93.9	833.6 ± 107.9	846.5 ± 96.9	858.8 ± 85.3
Mean velocity (m/s)	0.67 ± 0.04	0.64 ± 0.04	0.63 ± 0.03	0.64 ± 0.03	0.65 ± 0.04	0.64 ± 0.03	0.64 ± 0.02
Peak power (W)	2030.4 ± 163.3	1942.0 ± 299.7	1992.8 ± 244.6	2014.6 ± 244.8	1995.0 ± 249.3	2075.0 ± 214.5	2106.0 ± 213.2
Peak velocity (m/s)	1.28 ± 0.11	1.26 ± 0.09	1.24 ± 0.11	1.24 ± 0.11	1.25 ± 0.11	1.26 ± 0.08	1.26 ± 0.10
RPE (1-10)	4.9 ± 1.7	5.0 ± 1.5	5.4 ± 1.6	5.5 ± 1.9	5.2 ± 1.6	5.6 ± 1.9	4.8 ± 1.3
VL20 (n=8)							
Bar weight (kg)	66.2 ± 10.4	65.4 ± 10.8	67.0 ± 10.5	67.4 ± 11.0	66.5 ± 10.7	67.7 ± 11.6	70.2 ± 10.2
Rep number	6.5 ± 2.1	8.0 ± 2.4	7.1 ± 1.8	8.0 ± 1.6	7.4 ± 2.1▲	9.1 ± 1.4	9.0 ± 1.4
Total weight (kg)	1347.5 ± 650.0	1608.1 ± 659.8	1433.8 ± 462.2	1629.4 ± 509.6	1504.7 ± 588.9▲	1893.4 ± 533.4	1947.8 ± 561.2
Mean power (W)	816.8 ± 115.9	807.5 ± 83.1	810.9 ± 102.6	814.3 ± 97.4	812.5 ± 102.1	848.3 ± 107.8	846.2 ± 117.4
Mean velocity (m/s)	0.64 ± 0.03	0.64 ± 0.03	0.62 ± 0.03	0.63 ± 0.02	0.63 ± 0.03	0.66 ± 0.03	0.64 ± 0.04
Peak power (W)	1824.5 ± 218.8	1718.5 ± 147.1	1744.1 ± 95.4	1780.7 ± 90.1	1768.5 ± 158.2▽	1760.3 ± 56.8	1804.2 ± 80.5
Peak velocity (m/s)	1.20 ± 0.11	1.15 ± 0.13	1.14 ± 0.10	1.16 ± 0.10	1.17 ± 0.12	1.16 ± 0.08	1.15 ± 0.07
RPE (1-10)	7.0 ± 1.2	7.5 ± 1.3	8.1 ± 1.5	7.3 ± 1.5	7.5 ± 1.4▲	7.5 ± 1.4	7.6 ± 1.8

‡ : Interaction; ▲ : Significantly larger than VL10 p<0.01; ▽ : Significantly smaller than VL10 p<0.01; n.s. = not significant

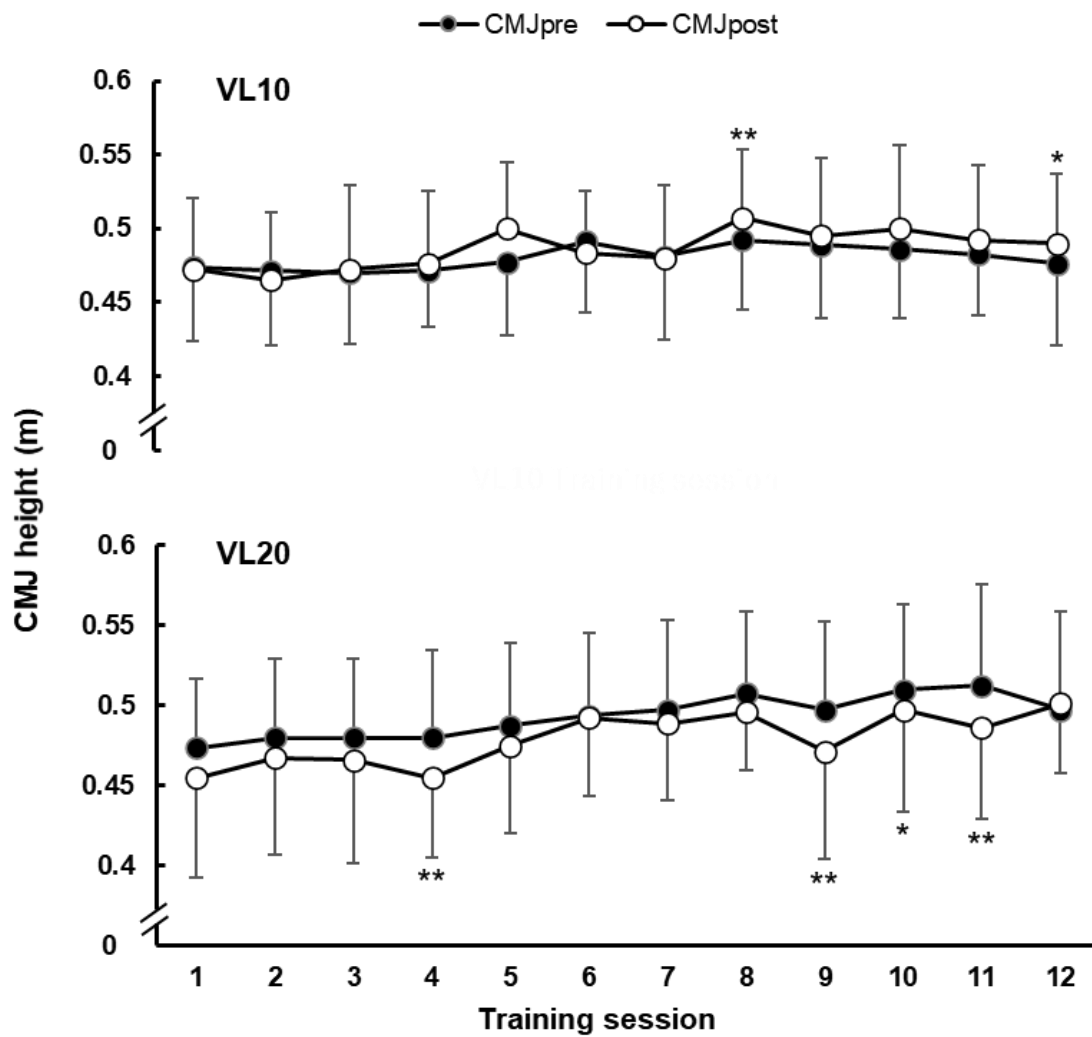
表III-4-4b トレーニングセッションおよびマイクロサイクルのパラメータ

		2	Micro cycle				3	p-Value Multiple comparison of Micro cycle
7	8		Training session					
			9	10	11	12		
73.1 ± 10.9	74.1 ± 11.0	72.7 ± 10.4	75.1 ± 10.0	74.0 ± 10.1	75.2 ± 10.5	76.3 ± 10.4	75.9 ± 10.3	0.000 1<2,3
4.6 ± 1.0	4.3 ± 1.0	4.6 ± 1.0	4.3 ± 1.1	4.3 ± 0.9	4.2 ± 0.7	5.0 ± 1.6	4.4 ± 1.2	‡ n.s.
993.8 ± 217.6	944.1 ± 187.9	986.5 ± 187.0	970.6 ± 238.4	957.5 ± 217.6	940.0 ± 116.6	1123.1 ± 344.5	1007.9 ± 253.9	‡ n.s.
859.6 ± 72.5	892.0 ± 94.5	864.2 ± 90.9	855.5 ± 93.2	848.7 ± 91.2	865.9 ± 98.7	884.0 ± 116.7	863.5 ± 103.0	0.009 1<2,3
0.64 ± 0.03	0.66 ± 0.04	0.65 ± 0.03	0.63 ± 0.03	0.63 ± 0.03	0.63 ± 0.03	0.64 ± 0.03	0.63 ± 0.03	n.s.
2158.1 ± 176.0	2140.8 ± 214.6	2120.0 ± 201.2	2142.1 ± 155.9	2055.1 ± 193.0	2103.5 ± 194.8	2141.5 ± 197.5	2110.6 ± 192.5	0.000 1<2,3
1.27 ± 0.09	1.26 ± 0.08	1.26 ± 0.09	1.24 ± 0.08	1.23 ± 0.10	1.24 ± 0.07	1.24 ± 0.09	1.24 ± 0.09	n.s.
4.4 ± 1.3	4.5 ± 1.3	4.8 ± 1.5	3.9 ± 1.0	4.4 ± 1.2	4.4 ± 1.2	4.6 ± 1.4	4.3 ± 1.2	0.006 1>3
71.5 ± 10.0	72.0 ± 9.9	70.3 ± 10.6	73.2 ± 9.6	72.0 ± 9.7	71.4 ± 9.6	72.5 ± 9.7	72.0 ± 9.6	0.000 1<2,3
7.7 ± 2.4	8.2 ± 1.8	8.5 ± 1.9▲	8.6 ± 1.9	7.8 ± 2.2	8.7 ± 2.1	8.8 ± 1.8	8.5 ± 2.1▲	‡ 0.002 1<2,3
1662.2 ± 623.1	1785.0 ± 562.4	1822.1 ± 581.3▲	1906.9 ± 610.8	1710.6 ± 652.7	1910.9 ± 673.3	1957.2 ± 593.6	1766.5 ± 640.5▲	‡ 0.000 1<2,3
850.7 ± 95.7	823.4 ± 104.1	842.2 ± 103.0	828.5 ± 75.2	834.4 ± 107.8	821.8 ± 95.5	842.5 ± 110.4	831.8 ± 100.1	0.009 1<2,3
0.64 ± 0.04	0.62 ± 0.02	0.64 ± 0.04	0.61 ± 0.03	0.62 ± 0.04	0.62 ± 0.02	0.63 ± 0.04	0.62 ± 0.03	n.s.
1814.5 ± 59.4	1810.7 ± 100.1	1797.4 ± 89.0▽	1859.2 ± 101.8	1850.6 ± 158.8	1824.9 ± 146.9	1834.7 ± 162.4	1842.4 ± 147.5▽	0.000 1<2,3
1.15 ± 0.08	1.14 ± 0.06	1.15 ± 0.08	1.16 ± 0.08	1.16 ± 0.07	1.16 ± 0.08	1.15 ± 0.08	1.16 ± 0.08	n.s.
6.5 ± 1.9	7.5 ± 2.1	7.3 ± 1.8▲	6.5 ± 1.5	6.3 ± 1.0	7.1 ± 1.9	7.0 ± 1.9	6.7 ± 1.6▲	0.006 1>3

iii. トレーニングセッションにおける CMJ の跳躍高の即時的变化

図III-4-13 は、各群におけるトレーニングセッション毎の CMJ の跳躍高の即時的变化を示したものである。VL10 群は、トレーニングセッション 8 ( $0.493 \pm 0.047\text{m} - 0.508 \pm 0.046\text{m}$ ) および 12 ( $0.476 \pm 0.050\text{m} - 0.490 \pm 0.048\text{m}$ ) において  $\text{CMJ}_{\text{pre}}$  の跳躍高と比較して  $\text{CMJ}_{\text{post}}$  の跳躍高が有意に高い値を示した。VL20 群は、トレーニングセッション 4 ( $0.480 \pm 0.055\text{m} - 0.455 \pm 0.050\text{m}$ )、9 ( $0.498 \pm 0.055\text{m} - 0.471 \pm 0.067\text{m}$ )、10 ( $0.510 \pm 0.053\text{m} - 0.498 \pm 0.064\text{m}$ ) および 11 ( $0.513 \pm 0.063\text{m} - 0.486 \pm 0.057\text{m}$ ) において  $\text{CMJ}_{\text{pre}}$  の跳躍高よりも  $\text{CMJ}_{\text{post}}$  の跳躍高が有意に低い値を示した。





\*\* :  $p < 0.01$ , \* :  $p < 0.05$  vs CMJ<sub>pre</sub>

図III-4-13 トレーニングセッションにおける CMJ の跳躍高の即時的变化

#### iv. PAP の誘発率および MBI

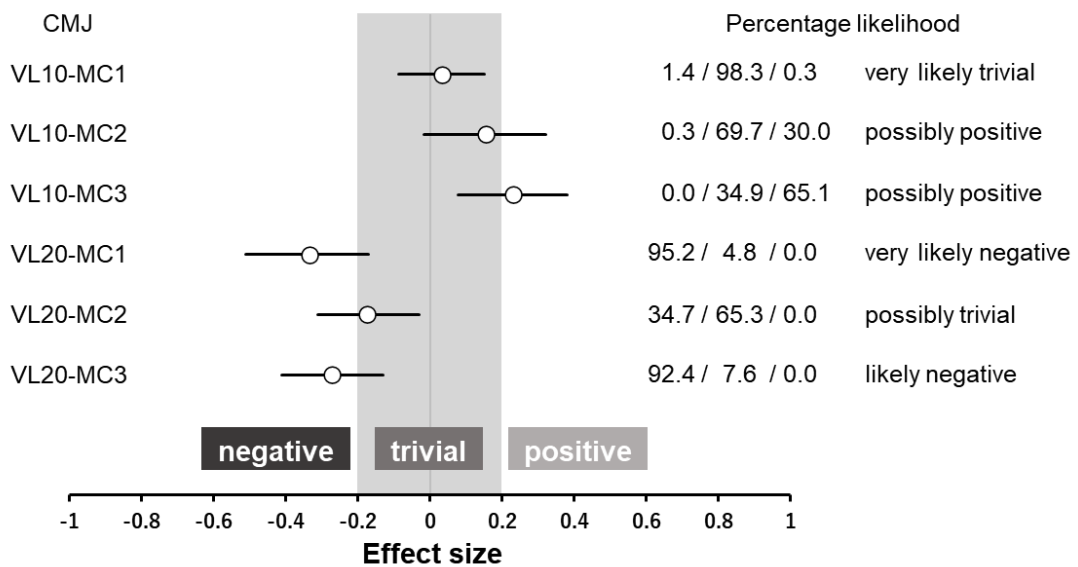
表III-4-5 は、 $CMJ_{pre}$  に対する  $CMJ_{post}$  の跳躍高の変化率がプラスになった試技を「ポジティブ」、同様に変化なし、もしくはマイナスになった試技を「ネガティブ」として各群のトレーニングセッション全体における割合を示したものである。VL10 群は、53.1% (51/96 試技)、VL20 群は、17.7% (17/96 試技) がポジティブであり、 $\chi^2$ 検定の結果、有意差が認められた。その効果量は中程度 ( $\phi=0.36$ ) であった。

図III-4-14 は、MBI を用いて各群のマイクロサイクル毎の CMJ 変化の差の大きさを分析したものである。効果量および信頼区間は、それぞれ VL10 群 (MC1; ES = 0.03, CI [ -0.09, 0.15 ], MC2; ES = 0.15, CI [ -0.02, 0.32 ], MC3; ES = 0.23, CI [ 0.08, 0.38 ]), VL20 群 (MC1; ES = -0.34, CI [ -0.51, -0.17 ], MC2; ES = -0.17, CI [ -0.31, -0.03 ], MC3; ES = -0.27, CI [ -0.41, -0.13 ]) であった。CMJ の変化に対する Percentage likelihood (ネガティブ / 些細 / ポジティブ) の解釈は、VL10-MC1 (1.4% / 98.3% / 0.3%) が「very likely trivial」、VL10-MC2 (0.3% / 69.7% / 30.0%)・MC3 (0.0% / 34.9% / 65.1%) が「possibly positive」、VL20-MC1 (95.2% / 4.8% / 0.0%) が「very likely negative」、VL20-MC2 (34.7% / 65.3% / 0.0%) が「possibly trivial」、VL20-MC3 (92.4% / 7.6% / 0.0%) が「likely negative」であった。

表III-4-5 PAP の誘発率

Group	PAP		Total
	Positive	Negative	
VL10	51(53.1%)	45(46.9%)	96(100%)
VL20	17(17.7%)	79(82.3%)	96(100%)
$\chi^2(df)$	24.80(1)**		
ES( $\Phi$ )	0.36		

ES = Effect size, \*\*: p<0.01



図III-4-14 CMJ の効果量と信頼区間を用いた PAP 効果の推定割合

#### 4) 考察

##### i. 速度基準のトレーニング効果の再現性

本研究では、研究 4-1 と同様のトレーニングプロトコルにおいて VL10 群と VL20 群のトレーニング効果を比較した。その結果、トレーニング後に大腿部周径圍、スクワット 1RM、スクワット体重比が有意に向上し、群間に有意差は生じなかった。トレーニング経過の観察から、スクワットの重量は、セッション毎に微増微減を繰り返し、マイクロサイクルでは、トレーニング中期以降に反復回数と総挙上重量が有意に増大した。また、VL10 群は VL20 群に対し、約 58%の総挙上重量であり、すべてのマイクロサイクルにおいて RPE が有意に低い値となっていた。これら一連の結果は、研究 4-1 で示された VBT のトレーニング効果の再現性を示唆するものである。したがって、VBT の効果が研究 4-1 と本研究結果から裏付けされたことは、トレーニング原理の特異性からも最大筋力や筋パワーの向上に適したトレーニング刺激であった言え、後述する PAP 誘発のためのコンディショニング活動として高い筋活動であったことが推察される。次項では、各セッションの PAP 効果について本研究で得られた結果をもとに論じていくこととする。

##### ii. 速度基準の PAP 効果

###### ii-1. トレーニングセッション毎の PAP 効果

本研究は、PAP 効果を検証するために毎回のトレーニング前後で CMJ の変化を分析した。トレーニングセッション毎の即時的変化を見てみると、その多くは統計的に有意な変化が認められなかったと判断できる。VL10 群では、セッション 8 と 12 で CMJ<sub>post</sub> の跳躍高が有意に高い値となっているのに対し、VL20 群は、セッション 4 および 9~11 で有意に低い値を示し、跳躍高の低下が顕著であった。VBT の速度損失率の違いを調べたいいくつかの研究 (Galiano et al., 2022; Pareja-Blanco et al., 2017; 砂川・古堅, 2020) では、速度損失率の大小に関わらず、同等のトレーニング効果を得られることが証明されており、5%や 10% など、より小さな速度損失率が選択された場合、少ない仕事量で多くの効果が期待できる可能性を示唆している。加えて、速度損失率を 20~40%程度に設定する場合、必然と総挙上重量が増大することで筋肥大に最適な方法 (Schoenfeld et al., 2017) と言えるが、同時に疲労の影響を大きく受ける為、トレーニング目的によって速度損失率を選択する必要性があると指摘している (砂川・古堅, 2020)。

本研究は、速度を基準に毎回のトレーニング負荷が調整されるため、両群におけるスクワ

ットの重量や平均挙上速度は、ほぼ同値であるのに対し、総挙上重量と RPE を比較すると、VL20 群が有意に高い値となっている。つまり、先述した速度基準のトレーニング効果から見ても分かるように、本研究プロトコルで用いた 20% の速度損失率は、総挙上重量の増大に伴い疲労の要因が大きく、VL20 群のトレーニングセッションで観察された CMJ の即時的な低下は、PAP よりも疲労が優勢であった結果と考えることが妥当であろう。

一方、VL10 群では各セッションにおける CMJ の即時的な低下は観察されなかったことと、セッションの一部ではあるが CMJ の即時的な向上が確認された。このことは、少なくともマイナス要因である筋疲労の影響が抑制されていた可能性があり、トレーニング周期のタイミングによって PAP が誘発されることを想像させるが、本研究結果から明確な結論は導けない。

#### ii-2. 全トレーニングセッションにおける PAP の誘発率

これまで、PAP 効果に関する研究では、様々なエクササイズ変数を用いて検証されているが、個人差等の影響によって、PAP と疲労の優位性が大きく異なり、一概に比較しがたない (Bogdanis et al., 2014; Golaś et al., 2016; Kilduff et al., 2008; McBride et al., 2005; Rahimi, 2007; Smilios et al., 2005; Sotiropoulos et al., 2010)。研究 1~研究 3 の結果からも PAP に影響を与える要因として、固定されたエクササイズ変数ではなく、個別に評価される強度、挙上速度、仕事量の組み合わせに依存する可能性が高いと言える。そこで本研究では、全トレーニングセッションにおける PAP の誘発率を個々に評価した結果、ポジティブな効果が VL10 群では、約 53% であったのに対し、VL20 群では約 18% となっていた。とりわけ、セット内の速度損失率を基準に反復回数を決定するため、個人内および個人間で反復回数に変動性がみられ、VL10 群では、3~5 回、VL20 群では、6~10 回となっていた。中強度で PAP の所見が確認された研究 (砂川, 2020a; 砂川・下嶽, 2017) と比較 (60%1RM×3 セット×3 回) すると、本研究の VL10 群と近似する値となっており、VL20 群では倍以上の総挙上重量であったことが分かる。つまり、本研究で採用した 20% の速度損失率は、PAP に対する効果は小さく、コンディショニング活動による疲労の影響を強く受けることから、ネガティブな効果が多くみられたと考えられる。

一方、10% の速度損失率は、個々の疲労耐性に従って、過剰な疲労を抑制したうえで総挙上重量が調整された可能性が考えられる。速度を基準とした変動型のプロトコルにおいて、個々の総挙上重量に違いがあるにも関わらず、VL20 群よりも PAP の誘発率が高く、PAP

現象の出現と消失が個人内や個人間で不均等に混在していたことは非常に興味深い知見となった。これらの結果は、PAP において個々の疲労耐性に対するエクササイズ変数の組み合わせに加え、トレーニング日のコンディションやトレーニング周期によって PAP の恩恵に有無が存在する可能性が考えられる。しかしながら、本研究結果は限定的なものであり、VL10 群における PAP 誘発率は 5 割程度であることを踏まえた解釈として捉えていただきたい。

#### ii -3. PAP 効果の有益性とトレーニング応用への留意点

本研究は、帰無仮説に基づく検定に加え、近年、スポーツ科学の実践研究 (Bezodis et al., 2017; Buchheit, 2017; Galiano et al., 2022) で多く見られる MBI を用いて、速度を基準とした PAP の誘発がどの程度有益であるかを検討した。その結果、VL20 群では、すべてのマイクロサイクルでネガティブあるいは些細な可能性が高く、PAP の促進を目的としたトレーニング戦略としては、PAP 効果に対する疲労のリスクを許容できるとは言い難い。それに対し、VL10 群において、トレーニング初期は些細な効果であったもののトレーニング経過に伴い効果量の推定確率が向上し、PAP 誘発の有益なプロトコルとして期待される可能性が少なからず考えられる。

PAP のメカニズムを応用した複合トレーニングなどを採用する場合、上述した PAP の再現性や有益性について留意することが示唆される。よって、本研究で用いた速度基準の PAP 誘発プロトコルは 0.6~0.7m/s の速度領域に対し 10%の速度損失率を選択することで、トレーニング現場における利益の確率は許容される可能性が示され、少なくとも PAP 効果に対する疲労のリスクを小さくできると考えられる。

## 5) 結論

本研究は、速度を基準としたスクワット運動において、速度損失率から反復回数を決定する方法を用いて PAP に与える影響を明らかにし、トレーニング経過の観察から速度基準における PAP の有用性について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- i. 本研究結果から VBT におけるトレーニング効果の再現性が確認され、10%の速度損失率を用いる場合、トレーニングによる過剰な疲労を抑制できる可能性が示唆された。
- ii. PAP 誘発の可能性についてトレーニング経過を観察し検討した結果、20%の速度損失率は、疲労の影響が大きく、PAP の誘発率を高めるうえでの利益は極めて小さいことが明らかとなった。
- iii. 10%の速度損失率を選択することで、PAP の誘発率が高まることが期待でき、トレーニング現場における利益の確率は許容される可能性が示唆された。

以上のことより、速度基準のスクワット運動は、速度損失率から個別に総挙上重量を定量化でき、PAP 誘発のための高い筋活動であることが推察された。また、10%の速度損失率を選択することで PAP の有益性が高まる可能性が示され、少なくとも PAP 効果に対する疲労のリスクを小さくできると考えられる。





4-3 速度損失率 10%条件におけるスクワット運動の負荷の違いが  
活動後増強効果に及ぼす影響

## 1) 目的

従来、PAP の検証実験においては、1RM 測定から相対強度を算出し、エクササイズ変数を固定して行う方法が主流であった。しかしながら、PAP の個体差を踏まえれば、コンディショニング活動が同条件下であっても筋の活性化と疲労の影響を受ける至適強度や量に差異が生じる可能性も否定できない。

速度を基準に強度や量が決定される VBT では、個々のコンディションに応じて仕事量が定量化され、トレーニングの目的によって疲労の影響を抑制しつつ、高い筋活動を行うことが可能である (Derroll et al., 2020; Galiano et al., 2022; Pareja-Blanco et al., 2017; Rodríguez-Rosell et al., 2020)。研究 4-1 では、スクワットの挙上速度が 0.6~0.7m/s の範囲となる強度に対し、3つの速度損失率 (VL10 vs VL20 vs VL30) を用いて検証した結果、いずれも同等のトレーニング効果であった。また、研究 4-2 でも同様のプロトコル (VL10 vs VL20) において VBT のトレーニング効果の再現性が確認された。これら 2つの研究の速度損失率 10%条件では、最も少ない仕事量であり、かつ疲労の影響が小さいことが明らかとなった。したがって、VBT での速度損失率は神経筋疲労の指標となり得ることから VL10 条件によって決定される仕事量が PAP 誘発の条件の一つである疲労の要因を小さくすることが可能であると考えられる。実際に研究 4-2 で行った各トレーニングセッションの PAP 観察では、VL20 群よりも VL10 群において PAP の誘発率が有意に高かった。

スクワット運動の挙上速度については、変動性が小さく、極めて安定した数値 (Conceição et al., 2016; González-Badillo et al., 2010) であることから、1RM の変動性に対しても互換性は高いと考えられる。したがって、速度を基準とするエクササイズ変数の決定により、日々変動する至適強度に対し、個々の筋機能特性に応じた PAP 誘発の活性化と疲労の影響を最適化できることが期待される。PAP に対する個別の応答を検証するうえで、広範囲における速度領域の違いが PAP にどのような影響を及ぼすか明らかにすることは極めて重要な課題であると言える。しかしながら、研究 4-2 ではトレーニング経過に伴う PAP 効果の検証を行うために、被験者を 2つのグループに分け、対象とする強度は 0.6~0.7m/s の速度領域のみであった。そのため、被験者内における速度領域の違いによる PAP 効果については不明である。

そこで本研究は、速度損失率 10%条件における速度を基準としたスクワット運動の負荷の違いが PAP に与える影響について検討することを目的とした。

## 2) 方法

### i. 被験者

本研究は、レジスタンストレーニングの代表的なエクササイズであるスクワット運動の経験を有する健常な男子大学生 23 名 [年齢：20.7±1.4 歳，身長：1.71±0.05m，体重：64.7±8.2kg，体脂肪率：14.2±5.4%，スクワット 1RM：91.2±18.8kg，スクワット体重比：1.41±0.22，スクワット最小速度閾値 (Minimum velocity threshold; MVT)：0.32±0.07m/s] を対象とした。被験者のトレーニング経験年数は 1 年以上 4 年未満であり，スクワットの動作規定を十分に満たせる技能は習得されていた。なお，本研究はヘルシンキ宣言の趣旨を遵守して行われ，事前にすべての被験者へ研究計画書および同意書を配布し，研究計画の概要，個人情報保護，非侵襲および安全管理，インフォームドコンセントに関する説明を口頭および書面にて行い，実験参加への同意を署名により得た。また，同意撤回書により実験参加を辞退できる権利について告知し，実験参加者が不利益を受けないように十分に配慮した。実験中における安全性の確保については，研究機関に付置する保健管理センターと連携し，測定環境の危機管理に対し十分に留意したうえで，本人の意思を尊重しながら実験を実施した。

### ii. 測定項目および測定方法

本研究は，コンディショニング活動にスクワット運動を採用し，挙上速度が異なる 3 つの負荷条件の違いによる PAP 効果の検証を行った。PAP の評価には，CMJ を用いてエクササイズ前 (CMJ<sub>pre</sub>) とエクササイズ後 (CMJ<sub>post</sub>) のパラメータの変化を分析した。以下にその測定項目と測定方法を示す。

#### ii-1. 身体計測

研究 4-1 と同様に身長，体重および体脂肪率を計測した。

#### ii-2. スクワット 1RM および CMJ の測定

第 II 章の研究方法で示した手順に従って，スクワット 1RM および CMJ の測定を行った。

#### ii-3. RPE

RPE は，研究 4-1 と同様のスケールを用いてエクササイズ終了から 5 分後に聴取した。

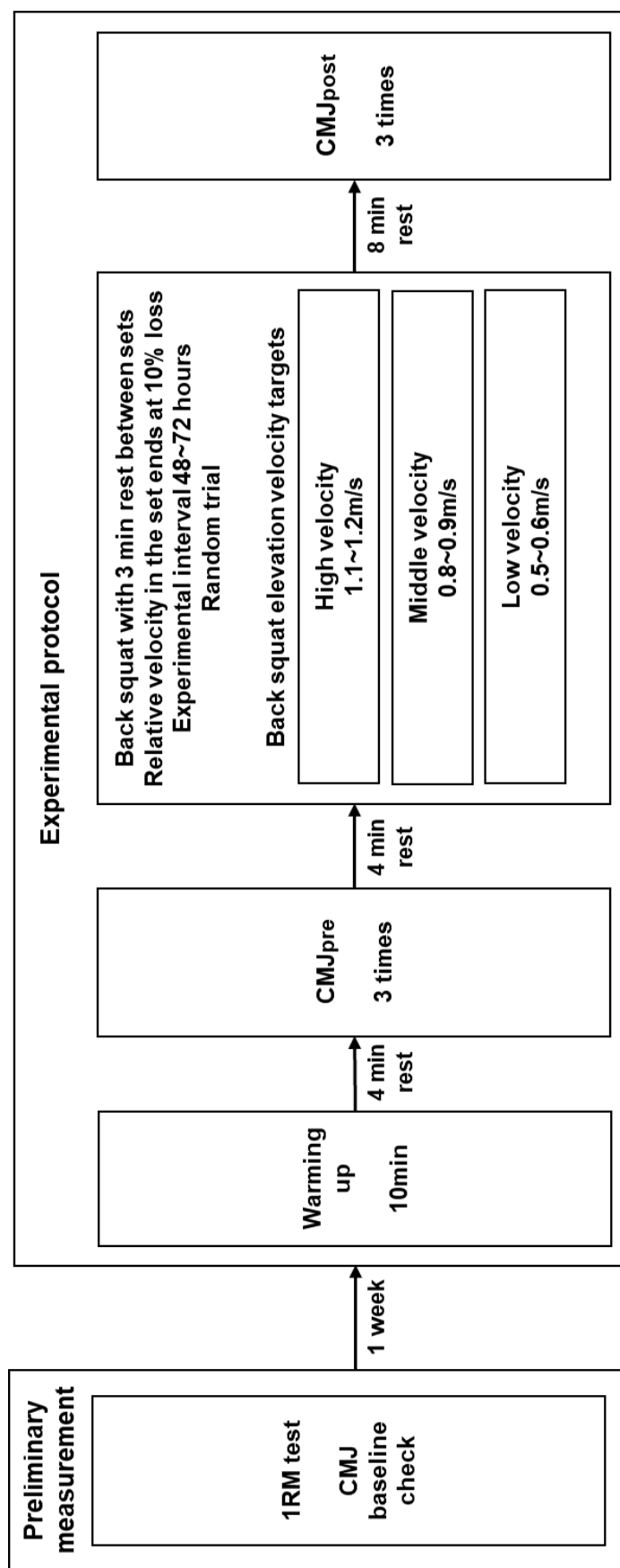
### iii. 実験手順

本研究は、スクワットの挙上速度を3条件に設定し、先行研究 (Mann, 2017) を参考に、それぞれ高速条件 (1.1~1.2m/s)、中速条件 (0.8~0.9m/s)、低速条件 (0.5~0.6m/s) と定義した。スクワット運動は研究 4-1 および研究 4-2 と同様とし、セット内の速度損失率を10%に設定した。セット間の休息は少なくとも3分間とし、2セット行った<sup>注)</sup>。これらの項目はLPTを用いてMF, PF, MV, PV, MP, PPを算出した。総挙上重量は、バーベル重量と反復回数の積により求めた。エクササイズ終了後にはRPEを聴取し記録した。PAP効果を検証するために、CMJ<sub>pre</sub>を測定し、4分間の休憩を挟みエクササイズを開始した。CMJ<sub>post</sub>については、PAPのリカバリー時間において7~10分、あるいは8~12分の範囲で効果量が増大する傾向 (Gouvêa et al., 2013; Wilson et al., 2013) にあることから本研究では、エクササイズ後のリカバリー時間を8分と設定した。なお、3つのエクササイズ条件はすべてランダムかつ別日で行い、疲労の影響を考慮し、実験の間隔を48~72時間とした (図III-4-15)。

<sup>注)</sup> すべての反復回数 (1,203回) のうち、各条件の速度領域から0.05m/s以上外れた試技は22回 (1.8%) であり、これは、1セット一人当たり、0.5回であった。

### iv. 統計処理

本研究で得られたデータは、すべて平均値±標準偏差で示した。スクワット運動の相対強度と挙上速度の関係を示すために Pearson の積率相関係数を用いた。エクササイズの各測定項目における条件間の差の検定には1要因の分散分析を用い、F値が有意であった場合は Bonferroni 法による多重比較を行った。CMJのパラメータにおける条件間および測定時期の差の検定には2要因の分散分析 (条件×時間) を用い、交互作用が認められた場合には単純主効果を検討し、交互作用が有意でない場合は主効果を検討した。なお、統計処理の有意水準は5%未満とした。CMJにおけるパラメータの変化の大きさを示すために、効果量 (partial  $\eta^2$ ) を求め、90%信頼区間 (90%CI) を算出し、効果量の目安は、小 (0.1以上0.25未満)、中 (0.25以上0.4未満)、大 (0.4以上) と定めた (水本・竹内, 2008)。また、研究 4-2 と同様に MBI により PAP 効果がどの程度有益であるかを評価した。

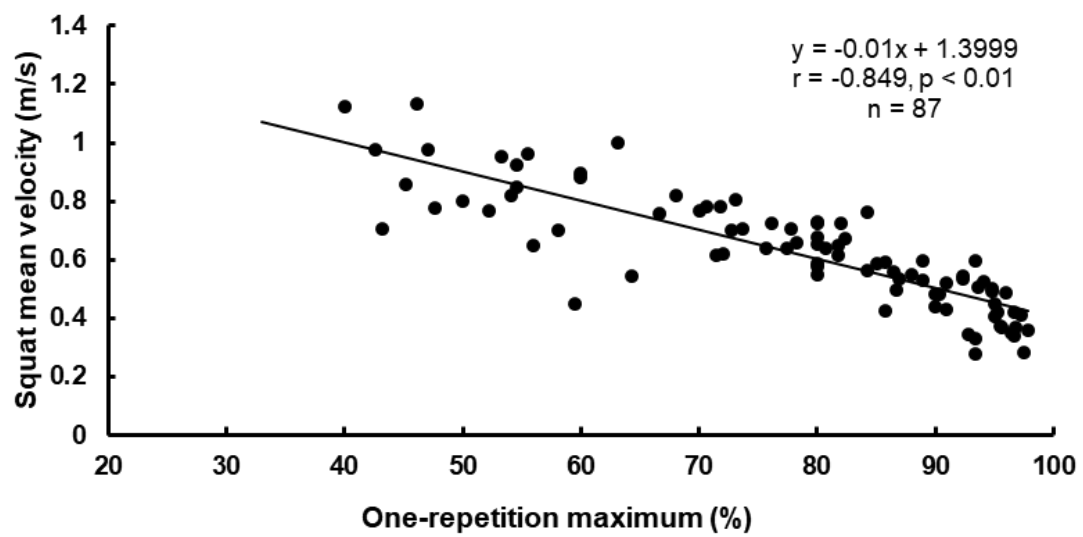


図III-4-15 事前事後測定および実験プロトコル

### 3) 結果

#### i. スクワット運動の相対強度と挙上速度の関係

図III-4-16は、スクワット 1RM 測定における最大挙上重量以外の全試技 (n=87) から各被験者の相対強度を算出し、平均速度との関係を示したものである。相対強度と平均速度との間に強い負の相関関係 ( $r = -0.849, p < 0.01$ ) が示され、回帰式 ( $y = -0.01x + 1.3999$ ) が得られた。なお、1RM の平均挙上速度は  $0.32 \pm 0.07 \text{m/s}$  であった。



図III-4-16 1RM 測定時の相対強度と平均挙上速度の関係

## ii. 速度基準のスクワット運動のパラメータ

表III-4-6a,b は、エクササイズ条件毎にスクワットのパラメータをまとめたものである。各条件のセット間におけるパラメータの値に統計的に有意な差は認められなかったため、すべての試技の平均値±標準偏差を求め比較した。スクワット運動時の重量と MF は、挙上速度が遅い条件ほど有意に高い値を示した（高速条件<中速条件<低速条件）。逆に、反復回数、MP、MV、PV は、挙上速度が速い条件ほど有意に高い値を示した（低速条件<中速条件<高速条件）。また、総挙上重量と PP は、高速条件と中速条件が低速条件よりも有意に高い値を示した（低速条件<中速条件=高速条件）。PF および RPE は条件間で統計的に有意な差は認められなかった。





表III-4-6a 各エクササイズ条件におけるスクワットのパラメータ

Velocity Condition	Set	Bar weight (kg)[%1RM]	Reps	Total load (kg)	Mean Force (N)
High	1	33.8 ± 9.1 [37]	9.8 ± 4.8	345.4 ± 207.0	1021.9 ± 198.4
	2	34.9 ± 9.9 [38]	10.1 ± 4.2	352.1 ± 164.0	1028.9 ± 202.3
Average		34.3 ± 9.4 [38]	10.0 ± 4.5	348.8 ± 184.7	1025.4 ± 198.1
Middle	1	57.1 ± 12.4 [63]	6.2 ± 2.4	352.8 ± 163.8	1227.6 ± 191.3
	2	57.0 ± 12.7 [62]	7.3 ± 2.9	412.8 ± 173.8	1229.5 ± 193.0
Average		57.0 ± 12.4 [63]	6.7 ± 2.7	382.8 ± 169.8	1228.6 ± 190.0
Low	1	78.8 ± 14.8 [87]	3.0 ± 1.1	230.8 ± 77.6	1429.0 ± 211.5
	2	79.2 ± 14.1 [88]	3.2 ± 1.2	249.0 ± 93.2	1433.3 ± 204.7
Average		79.0 ± 14.3 [87]	3.1 ± 1.1	239.9 ± 85.3	1431.2 ± 205.8
ANOVA		F(2,44)=531.1**	F(2,44)=43.1**	F(2,44)=10.1**	F(2,44)=.306.5**
Multiple comparison test		HV<MV<LV	LV<MV<HV	LV<HV=MV	HV<MV<LV

n.s. : not significantly \*\*: p<0.01

表III-4-6b 各エクササイズ条件におけるスクワットのパラメータ

Mean Power (W)	Mean Velocity (m/s)	Peak Force (N)	Peak Power (W)	Peak Velocity (m/s)	RPE (1~10)
1157.9 ± 243.3	1.13 ± 0.08	1915.6 ± 489.2	2292.4 ± 412.4	1.78 ± 0.12	—
1177.9 ± 242.8	1.13 ± 0.04	1952.2 ± 495.4	2354.2 ± 453.4	1.79 ± 0.14	—
1167.9 ± 240.6	1.13 ± 0.06	1933.9 ± 487.2	2323.3 ± 429.7	1.78 ± 0.13	3.3 ± 2.2
1006.1 ± 166.6	0.83 ± 0.05	1964.0 ± 424.4	2209.3 ± 422.8	1.44 ± 0.15	—
1003.4 ± 158.0	0.82 ± 0.05	1933.0 ± 410.9	2257.6 ± 448.4	1.46 ± 0.17	—
1004.7 ± 160.6	0.82 ± 0.05	1948.5 ± 413.3	2233.4 ± 431.6	1.45 ± 0.16	3.6 ± 2.1
774.4 ± 112.8	0.55 ± 0.06	2050.1 ± 356.2	1979.4 ± 436.2	1.16 ± 0.17	—
754.4 ± 129.2	0.53 ± 0.05	2017.7 ± 332.6	2017.1 ± 464.4	1.16 ± 0.16	—
764.4 ± 120.3	0.54 ± 0.06	2033.9 ± 341.1	1998.2 ± 445.9	1.16 ± 0.16	3.8 ± 2.1
F(2,44)=98.5**	F(2,44)=950.5**	n.s.	F(2,44)=27.1**	F(2,44)=403.9**	n.s.
LV<MV<HV	LV<MV<HV		LV<MV=HV	LV<MV<HV	

### iii. 速度基準のスクワット運動後の CMJ の即時的変化と MBI

表III-4-7 は、各条件のスクワット運動前後における CMJ の変化について示したものである。分散分析の結果、すべての条件および項目において交互作用は認められなかったため、以下、主効果を検討した。

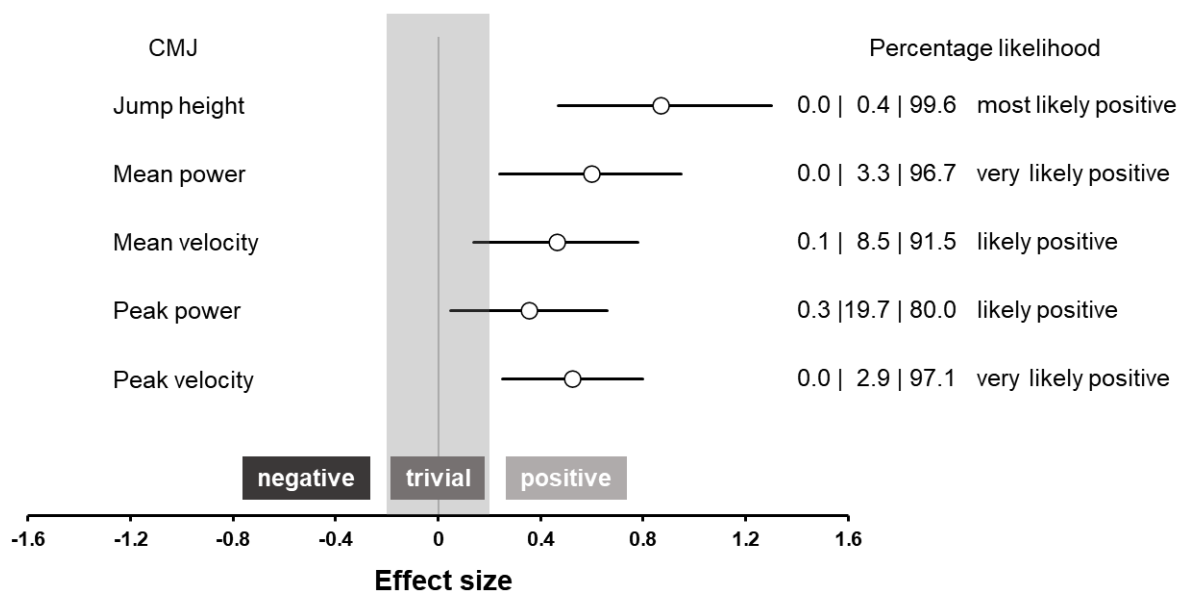
CMJ の跳躍高は、CMJ<sub>pre</sub> と比較して CMJ<sub>post</sub> が有意に高い値を示し (ES=0.868)、変化率は、高速条件 (2.8%)、中速条件 (3.1%)、低速条件 (1.8%) であった。MP は、CMJ<sub>pre</sub> と比較して CMJ<sub>post</sub> が有意に高い値を示し (ES=0.598)、変化率は、高速条件 (3.8%)、中速条件 (3.9%)、低速条件 (3.3%) であった。MV は、CMJ<sub>pre</sub> と比較して CMJ<sub>post</sub> が有意に高い値を示し (ES=0.461)、変化率は、高速条件 (3.1%)、中速条件 (2.3%)、低速条件 (1.8%) であった。PV は、CMJ<sub>pre</sub> と比較して CMJ<sub>post</sub> が有意に高い値を示し (ES=0.521)、変化率は、高速条件 (2.4%)、中速条件 (2.3%)、低速条件 (1.0%) であった。PP では、統計的に有意な変化は認められなかった ( $p=0.060$ )。

図III-4-17 は、MBI を用いて CMJ におけるパラメータ変化の差の大きさを分析したものである。効果量および信頼区間は、それぞれ、跳躍高 (ES = 0.87, CI[0.47, 1.30])、MP (ES = 0.60, CI[0.24, 0.90])、MV (ES = 0.46, CI[0.14, 0.47])、PP (ES = 0.35, CI[0.05, 0.66])、PV (ES = 0.52, CI[0.25, 0.80]) であった。CMJ の変化に対する Percentage likelihood (negative / trivial / positive) の解釈は、跳躍高 (0.0% / 0.4% / 99.6%) が「most likely positive」、MP (0.0% / 3.3% / 96.7%) および PV (0.0% / 2.9% / 97.1%) が「very likely positive」、MV (0.1% / 8.5% / 91.5%) および PP (0.3% / 19.7% / 80.0%) が「likely positive」であった。

表III-4-7 各条件におけるエクササイズ前後のCMJのパラメータ

Velocity Condition	Jump Height(m)	Mean Power(W)	Mean Velocity(m/s)	Peak Power(W)	Peak Velocity(m/s)
High	Pre	2115.7 ± 382.19	1.70 ± 0.22	4501.0 ± 785.4	3.32 ± 0.24
	Post	2196.1 ± 385.18	1.75 ± 0.26	4650.9 ± 710.1	3.40 ± 0.24
Middle	Pre	2123.9 ± 386.6	1.71 ± 0.22	4450.7 ± 786.8	3.31 ± 0.21
	Post	2206.6 ± 387.9	1.75 ± 0.24	4605.0 ± 715.0	3.38 ± 0.24
Low	Pre	2111.6 ± 348.3	1.73 ± 0.21	4469.4 ± 803.0	3.31 ± 0.21
	Post	2182.2 ± 396.8	1.76 ± 0.24	4540.2 ± 656.7	3.34 ± 0.27
Main effect of time	F(1,22)=22.33**	F(1,22)=7.44**	F(1,22)=5.66*	F(1,22)=3.66+	F(1,22)=9.07**
Effect size (partial $\eta^2$ )	0.868	0.598	0.461	0.353	0.521

\*\* : p<0.01, \* : p<0.05, + : p<0.1



図III-4-17 CMJ の効果量と信頼区間を用いた PAP 効果の推定割合

#### 4) 考察

##### i. スクワット運動の相対強度に対する挙上速度の信頼性

本研究は、スクワット 1RM 測定で得られた 1RM 以外の重量を対象に相対強度を算出し、平均挙上速度との関係を調べた。その結果、相対強度と挙上速度との間に強い負の相関関係が示され、1RM の挙上速度はおよそ 0.32m/s であった。

これまでスクワット 1RM の挙上速度を調べた研究では、MVT の平均値が 0.23~0.32m/s であったことが示されている。パワーリフターを対象とした研究 (Helms et al., 2017) では、MVT が  $0.23 \pm 0.05$ m/s となっており、バックスクワットの 1RM の平均が 140kg の筋力トレーニング熟練者の MVT は、 $0.24 \pm 0.06$ m/s であったことが報告されている (Banyard et al., 2017)。また、Sánchez-Medina et al. (2017) の研究では、本研究の MVT と近似する値 ( $0.32 \pm 0.03$ m/s) を示している。このことは、スクワット 1RM の挙上速度はおよそ 0.3m/s 前後となり、最大筋力の大きな対象者では、その値がやや小さい傾向にあると言える。本研究の対象者特性としてスクワット 1RM が約 90kg であったことを踏まえると、MVT の値は妥当な範囲であったと言えよう。さらに本研究で相対強度と挙上速度の間に相関関係が認められたことは、これまでの研究 (Conceição et al., 2016; González-Badillo et al., 2010) を支持するものであり、相対強度に対する挙上速度の信頼性は高いものであると判断できる。よって本研究は、速度領域の違いによる PAP 効果を検証するうえで妥当なプロトコルであったと考えられる。

##### ii. 速度基準の負荷設定によるスクワット運動

本研究は、スクワット運動の挙上速度を高速、中速、低速の 3 条件に設定し、セット内の速度損失率 10%を基準とした反復回数で実施した。その結果、速度、パワーにおいて高速条件、中速条件、低速条件の順で有意に高い値を示した。エクササイズ中に発揮されるパワーは力-速度関係で構成され、これらは互いに相反する関係にある (若山・平野, 2014)。本研究は、挙上速度を基準に強度を設定しており、高速条件、中速条件、低速条件の相対強度はそれぞれ、38%1RM, 63%1RM, 87%1RM であった。ベンチプレスやスクワットのよような多関節エクササイズで発揮されるパワーは、40~70%の範囲で最大となり個人差の影響を受けることが知られている (Siegel et al., 2002)。本研究結果では、挙上速度が高くなるにあたり、発揮パワーの増大が示された。つまり、低速条件よりも中速条件と高速条件でより大きなパワー発揮が観察されたことから、本研究で扱った速度領域において至適な発

揮パワーであったと言えよう。

本研究は、すべての条件においてセット間のパラメータに統計的に有意な差は認められなかった。また、スクワット運動後に RPE を聴取した結果、3.5 程度と低く、条件間の差は認められなかった。PAP は事前に高い筋活動を必要とするため、筋活動に伴う疲労の影響を考慮する必要がある。Sánchez-Median and González-Badillo (2011) は、スクワットを用いて複数のトレーニング変数の組み合わせによる挙上速度の低下率と筋疲労の影響について分析した結果、6~12RM の負荷で高回数行くと、セット内、セット間、エクササイズ後において挙上速度の低下が顕著であり、大きな疲労が伴うことを示唆している。これらを踏まえれば、本研究で実施したコンディショニング活動は、エクササイズを通じて筋出力を低下させることなく最大努力の筋力発揮が再現され、少なくとも PAP におけるマイナスの要因は抑制されたプロトコルであったと言える。

本研究の反復回数を見てみると、高速条件では 10 回程度であるのに対し、低速条件ではおよそ 3 回となり、約 69% の総挙上重量であった。速度を基準にするため当然ながら個人内および個人間で反復回数に差異が生じ、結果として総挙上重量にも違いがみられたと考えられる。このことから、スクワット運動後の CMJ の変化は、速度領域で設定された強度と総挙上重量の組み合わせに影響することが考えられる。

### iii. 速度損失率 10% 条件下での負荷の違いによる PAP 効果

#### iii-1. PAP 効果に対する挙上速度領域の影響

スクワット運動前後の CMJ の変化を分析した結果、CMJ の跳躍高をはじめとする多くのパラメータで有意な増大を示し、すべての条件で PAP 効果が確認された。

本研究は、すべての条件に対し最大速度での挙上であり、研究 1 や研究 2 において PAP が誘発されたスクワット運動 (90%1RM, 60%1RM) と比較すると、本研究の低速条件 (87%1RM) と中速条件 (63%1RM) でのスクワットのパラメータに類似している点が多い。このことから、高強度あるいは中強度の負荷に対し最大速度での挙上が PAP 誘発に影響を及ぼすことの共通点が確認でき、本研究で用いた速度領域の範囲において PAP 効果が得られる可能性が示唆された。一方、低強度での PAP は、中強度や高強度を扱った研究よりも圧倒的に少ない事例であるが、バリストックな動作、負荷抵抗の種類、あるいは総挙上重量のコントロールによって PAP が確認されている (Lum and Chen, 2020; 砂川, 2020)。研究 3 では、30%1RM の強度に対し、最大速度でのジャンプスクワット条件において、そ



の後の CMJ のパラメータが有意に増大することが明らかとなっている。とりわけ、同エクササイズ条件下で仕事量が半減することで PAP 効果が消失することから、低強度での運動課題には、仕事量の影響を考慮する必要性が指摘される。島ら（2007）の研究によると 40%1RM で少なくとも 20 回程度ハーフスクワットを行うことで、その後の跳躍高や筋パワー、身体重心速度が有意に向上したことを示している。本研究ではフルスクワットによる最大努力での試技のため、移動距離や挙上速度の違いから正確な仕事量、あるいは仕事率を比較することは出来ないが、高速条件（38%1RM）における総反復回数や総挙上重量が先行研究（島ら, 2007）の低負荷条件に類似していた可能性が高いと言える。

### iii-2. 速度損失率 10%条件における PAP 効果の有益性

本研究で最も注目すべき点は、各速度領域内での反復回数を速度損失率によって決定することである。VBT における速度損失率の違いを調べたいいくつかの研究（Pareja-Blanco et al., 2017; Galiano et al., 2022; Rodríguez-Rosell et al., 2020; 砂川・古堅, 2020）では、速度損失率の大小に関わらず、同等のトレーニング効果を得られることが明らかにされており、より小さな速度損失率が選択された場合、少ない仕事量で最大筋力や筋パワーの増大に寄与することを示唆している。本研究は、速度損失率を 10%に設定しており、すべての条件において PAP 効果が確認された。CMJ のパラメータ変化は、そのほとんどが大きな効果量（0.4 以上）を示しており、エクササイズ変数が類似する先行研究（砂川・下嶽, 2017）と比較（中：0.44～大：1.03）すると、同等以上と判断できる。また、CMJ の効果量と信頼区間を用いた PAP 効果の推定割合では、ほとんどの項目でポジティブな成果であり、PAP 効果に対する有益性は許容されると考えられる。

Tsoukos et al. (2021) は、速度損失率を用いたベンチプレスによる PAP 効果を検証している。その結果、30%の速度損失率を用いた場合、ベンチスローの挙上速度が回復後 10～12 分で有意に増大したのに対し、速度損失率 10%では、4～12 分後まで PAP 効果が確認され、回復後 10 分で最大化することを報告している。このことは、大きな速度損失率が選択された場合、回復過程に多くの時間を要することを意味し、速度損失率 10%のプロトコルにおいては、PAP の効果が一定時間持続されることが考えられる。したがって、10%の速度損失率を用いたコンディショニング活動は、過剰な疲労を抑制し、個々の疲労耐性に応じて PAP 誘発に必要な仕事量を適切に処方できる可能性が高いと言えよう。

## 5) 結論

本研究は、速度損失率 10%条件における速度を基準としたスクワット運動の負荷の違いが PAP に与える影響について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- i. 条件間でスクワット運動の挙上速度、反復回数および総挙上重量に違いが見られた。また、すべての条件において、スクワット運動後に CMJ のパラメータが有意に増大し、条件間に差は認められなかった。
- ii. CMJ の効果量と信頼区間を用いた PAP 効果の推定割合は、トレーニング現場における有益性が許容される可能性が考えられる。

以上のことより、PAP の誘発にはコンディショニング活動の挙上速度と総挙上重量の組み合わせに起因することが明らかとなり、PAP を誘発する手段として、速度を基準にすることで、個々の疲労耐性に応じた仕事量を処方でき、パフォーマンスを個別に促進できる可能性が示唆された。

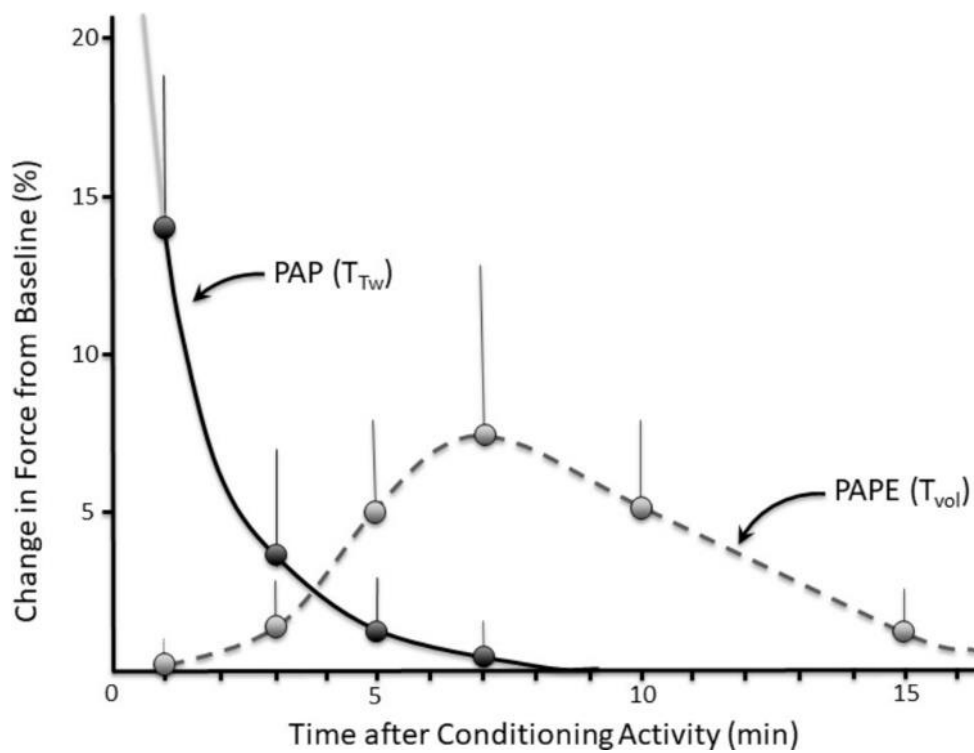
## 第IV章 総括議論

## 1. 活動後増強の評価に対する議論

PAP の概念は、骨格筋の事前収縮に後続する一時的な増強である。従来、PAP の生理学のメカニズムを支える根底に生体電気誘発の単収縮特性に基づいた機械的アプローチによって説明されてきた。この PAP 現象は、スポーツやトレーニングにおいて、その後のパフォーマンスに変換されると考えられている。ところが、PAP のメカニズムは急速に増幅し、数十秒で指数関数的に衰退するのに対し、パフォーマンスの増幅は数分後にピーク値を示すとされ、PAP のメカニズムとパフォーマンス向上を結びつける科学的根拠が不十分であるとの指摘も残る。これらの背景には、高強度のコンディショニング活動が筋機能特性の改善を誘発する手段として用いられるようになり、生理学的現象が直接評価されなくても PAP を用いて即時的なパフォーマンス向上に言及したことに由来するかもしれない。

Prieske et al. (2020) は、「活性化後のパフォーマンス強化 (Post-activation performance enhancement; PAPE)」という用語を用いて、これまでの PAP 研究をレビューし、機械的アプローチとパフォーマンスアプローチから、活性化後の増強とパフォーマンス向上を区別することを提案している。図IV-1 は、時間経過に伴う単収縮中に誘発されたトルクと自発的収縮中に生成されたトルクを示したものであるが、PAP と PAPE は異なる時間プロファイルを示し、少なくとも部分的に異なる現象であることを示唆している (Blazevich and Babault, 2019)。したがって、彼らの主張は、電氣的に誘発された筋の単収縮特性に基づく機械的な尺度と PAP の概念を拡張したパフォーマンス指標に基づく解釈には、検証方法が大きく異なり、データの解釈に欠陥が生じる可能性があるとの理由が根底にある。このように、PAP の生理学のメカニズムとパフォーマンス向上の関係性には少なくとも疑問な点が残るとし、従来の PAP と PAPE は区別すべきであると唱えている。

PAP 誘発のメカニズムにおける機械的アプローチと自発的な筋収縮を用いたプロトコルデザインの違いからも、彼らが示唆する「区別」について、今後さらなる議論が必要と考えられるが、本研究のプロトコルデザインを踏まえると PAPE の概念に一致するかもしれない。しかしながら、これらの用語は近年、一部の研究者によって限定的に提供されるものであり、一般化されているとは言い難い。また、これまでの PAP 研究における生理学の機序がその後のパフォーマンス増幅を少なくとも部分的に支える可能性があり、PAP は PAPE の現象に顕在化することを踏まえれば、本研究における PAP は、従来の概念である後続の増強現象と同義と捉え、「筋の収縮活動の結果として、その後、一時的に筋の発揮能力が増大し、パフォーマンス強化に貢献している状態」として総括議論する。



図IV-1 活動後増強 (PAP) と活性化後のパフォーマンス強化 (PAPE) の異なる時間プロファイル (Blazevich and Babault, 2019)

## 2. 活動後増強の促進を目的とするスクワット運動の妥当性

本研究に共通する点として、コンディショニング活動にスクワット運動を用い、その後のCMJの変量からPAP効果を評価することにある。これは、PAPにおける動作の類似性の観点(Dello Iacono et al., 2018)からも妥当な運動様式と言える。一般的なスクワット運動では、膝および股関節周辺の筋群が強化されることから、多くのスポーツパフォーマンス向上に寄与するものと考えられる。

スクワット運動を採用したPAPに関する研究では、その多くがフルスクワットからハーフスクワットの可動範囲によって評価されている(Gourgoulis et al., 2003; Kilduff et al., 2008; Kobal et al., 2019; Lowery et al., 2012; McBride et al., 2005; Sotiropoulos et al., 2010; Young et al., 1998)。Esformes and Bampouras (2013)は、スクワットの深さの違いがPAP効果に及ぼす影響について、パラレルスクワットとクォータースクワットを用いて検証している。その結果、より深いスクワット動作が、PAP効果を増幅させることを示唆している。表IV-1は、本研究で行ったスクワット運動でのしゃがみ込む深さをまとめたものである。本研究では、すべてのスクワット運動において、「大腿部後面と下腿部後面が触れるまでの位置」と規定しており、いわゆるフルスクワットであるが、身体局所の接触によって被験者が体感的に分かるように教示している。実験データでは、概ね0.60~0.65m程度のしゃがみ込む深さが確認されており、同条件下において安定した動作範囲であったことが分かる。とりわけ、CMJでは、下肢三関節の爆発的な伸展力がパフォーマンスに大きく影響され、主に大殿筋、大腿四頭筋、腓腹筋などの伸展筋群が重要な役割を果たしている。より深いスクワットによって大殿筋が活性化(Caterisano et al., 2002)され、クォータースクワットと比較して、ディープスクワットはジャンプパフォーマンス向上に有益なトレーニング(Hartmann et al., 2012)である。したがって、前述したPAP効果の増幅におけるスクワット動作の要因に鑑みれば、本研究で用いたスクワット動作は、PAPを促進するうえで、妥当な可動範囲であったことが推察される。

次にPAPに伴う筋パワー増強に作用する因子において、運動課題のセット数に着目すると、1セットよりも複数セットが有効とされている(Wilson et al., 2013)。本研究では、3セット(研究1~3, 4-1, 4-2)、あるいは2セット(研究4-3)のスクワット運動を課しており、仮説上、PAP促進を目的とした運動課題の条件は満たしていることとなる。一方で、複数セットの運動課題に対する疲労の影響を考慮する必要がある。そこで本研究では、スクワット運動におけるセット間のパラメータを比較した結果、いずれも統計的に有意な差は

認められなかった。これらの結果は、同条件下において、すべてのセット間で同等の筋出力が発揮され、かつ、前セットによる疲労の影響は少ないことを示唆するものである。したがって、本研究で用いたスクワット運動は、PAP 促進を目的とするうえで、疲労の影響を考慮した複数セットの運動課題であったことが考えられる。

ただし、あくまでもセット数の観点であり、後述する総挙上重量の要因、すなわち扱う重量に対する反復回数の組み合わせによって PAP 効果に起因する条件が異なることに留意する必要がある。

表IV-1 本研究におけるスクワット運動でのしゃがみ込む深さ

相対強度基準						
研究1		研究2		研究3		
条件	しゃがみ込む深さ (m)	条件	しゃがみ込む深さ (m)	条件	しゃがみ込む深さ (m)	
90%1RM	0.58 ± 0.07	60%1RM	低速	0.64 ± 0.07	低速	0.62 ± 0.06
60%1RM	0.60 ± 0.08		高速	0.62 ± 0.06	高速	0.63 ± 0.06
30%1RM	0.61 ± 0.08	30%1RM	低速	0.64 ± 0.06	ジャンプ高速	0.65 ± 0.05
			高速	0.63 ± 0.06	ジャンプ高速 1/2仕事量	0.63 ± 0.05

速度基準					
研究4-1		研究4-2		研究4-3	
群	しゃがみ込む深さ (m)	群	しゃがみ込む深さ (m)	条件	しゃがみ込む深さ (m)
VL10	0.65 ± 0.05	VL10	0.66 ± 0.05	HV	0.66 ± 0.05
VL20	0.63 ± 0.05	VL20	0.63 ± 0.05	MV	0.65 ± 0.06
VL30	0.64 ± 0.06			LV	0.62 ± 0.07

VL: Velocity loss, HV: High velocity, MV: Midle velocity, LV: Low velocity



### 3. 活動後増強効果に対する相対強度基準と速度基準の比較

ヒトを対象とした PAP に関連するこれまでの研究では、コンディショニング活動に等尺性や等張性筋収縮を用いて、その後の筋のパフォーマンスの増強効果が評価されてきた。特に下肢の筋力発揮における PAP 評価には、高い筋活動でのスクワット運動からその後の CMJ の変量を検討し、爆発的な筋力発揮の即時的変化が多くの研究によって明らかにされている。しかしながら、PAP には個体差の影響を受けることに加え、様々な要因が複雑に関与することなどから、PAP 応答に対する研究結果の不一致が散見され、PAP 効果の普遍性は明らかにされていない。PAP 誘発には高い筋活動に伴う活性化と疲労の要因を常に考慮する必要が指摘されており、PAP のメカニズムを促進するうえで、コンディショニング活動の強度、量、挙上速度は極めて重要な要因となる。このことから、多くの先行研究では、コンディショニング活動の負荷が中心に議論されてきたが、広範囲のエクササイズ変数が存在することからも、PAP 効果を一概に比較しがたいという問題点が挙げられる。

本研究は、大きく 2 つの方法により運動強度を設定している。1 つは、従来からの方法である 1RM を基準に相対強度 (%1RM) を算出する方法であり、もう一方では、挙上速度を基準に毎回の負荷重量を調整する方法である。それぞれの利点については第 I 章 2) 研究小史を参照されたい。

研究 1~3 では %1RM を基準に、研究 4 では、速度を基準に負荷重量を決定する方法で PAP 効果を検証した。図 IV-2 では相対強度基準、図 IV-3 では速度基準でのスクワット運動における主な検証結果を包括的に示した (黄色いハイライトは PAP 効果を表す)。

#### 3-1. PAP 誘発に起因するスクワット運動条件の違い

PAP 効果が確認された研究では、中強度以上の負荷を採用しており (Baker, 2003; Gołaś et al., 2016; Gourgoulis et al., 2003; Kilduff et al., 2008; Lowery et al., 2012; McBride et al., 2005; Weber et al., 2008; Young, et al., 1998), より高い強度 (85~90%1RM) で増強効果が促進されることが示されている (Garbisu-Hualde and Santos-Concejero, 2021)。一方で、中強度~高強度のスクワット運動を高回数行うことで疲労に関連する代謝反応が大きくなり (Sánchez-Median and González-Badillo; 2011), 挙上速度が徐々に低下することを指摘している (Galiano et al., 2020)。したがって、PAP は活性化のための高い筋活動が必要である反面、疲労の要因も大きくなることに留意する必要がある。

研究 1 では、中強度と高強度で PAP 効果が確認され、概ね先行研究の知見と一致する。

総挙上重量を統一する条件下ということが本研究のオリジナルである。つまり、強度設定の際、総挙上重量が統一されるプロトコルにおいて中強度以上のコンディショニング活動において同等の PAP 効果を示すことが明らかである。一方、研究 4-3 では、総挙上重量が個々に異なるが、研究 1 と同様に中速条件（中強度）と低速条件（高強度）で CMJ の有意な向上が認められている。また、研究 2 で行った中強度条件において、低速で挙上する場合は PAP 効果が示されず、言い換えれば、最大努力あるいは最大速度での挙上が必要であることを示唆する。したがって、PAP 誘発における強度の観点では、中強度～高強度の負荷に対し最大速度（中強度：0.8～0.85m/s 程度、高強度：0.5m/s 程度）で挙上する。あるいは左記に示した挙上速度になるように負荷重量を調整することが有効であると考えられる。

研究 1～3 で検証した低強度では、そのほとんどで PAP 効果が確認できなかった。つまり、30%1RM に対する挙上速度が 0.4～1.0m/s の範囲において PAP 効果は出現しないことが考えられる。これらのプロトコルでは、総仕事量を統一することから、バーベルの変位が一定になるようにジャンプ動作の制限を教示している。したがって、バーベルの勢いを止める動作の影響からスクワット運動の挙上動作終盤に減速したことによって、PAP 誘発を目的とする高い筋活動に達していなかった可能性が推察された。唯一、低強度で PAP 効果が示されたのが、スクワットジャンプでの高速条件（研究 3）と、速度基準の高速条件（研究 4-3）であった。これらの負荷重量は、それぞれ 30%1RM と 38%1RM であり、後者が若干重い。また、挙上速度は、1.33m/s と 1.13m/s を示している。低強度での PAP 検証は希少ではあるが、最大速度によるバリスティック動作（Smilios et al., 2005; Sotiropoulos et al., 2010）や弾性抵抗（Lum and Chen, 2020）を用いることで PAP 効果を促進できる。したがって、低強度での PAP 誘発には、挙上の際の減速フェーズを小さくし、より大きな加速度を得ることで PAP の条件である高い筋活動に達していた可能性が考えられる。また、先行研究では、低強度に対する挙上について「最大努力」や「最大速度」などの動作教示に留まるが、本研究において、それらを具体的な速度数値として提示できたことは、PAP 効果に影響を与える一つの指針となることが期待される。

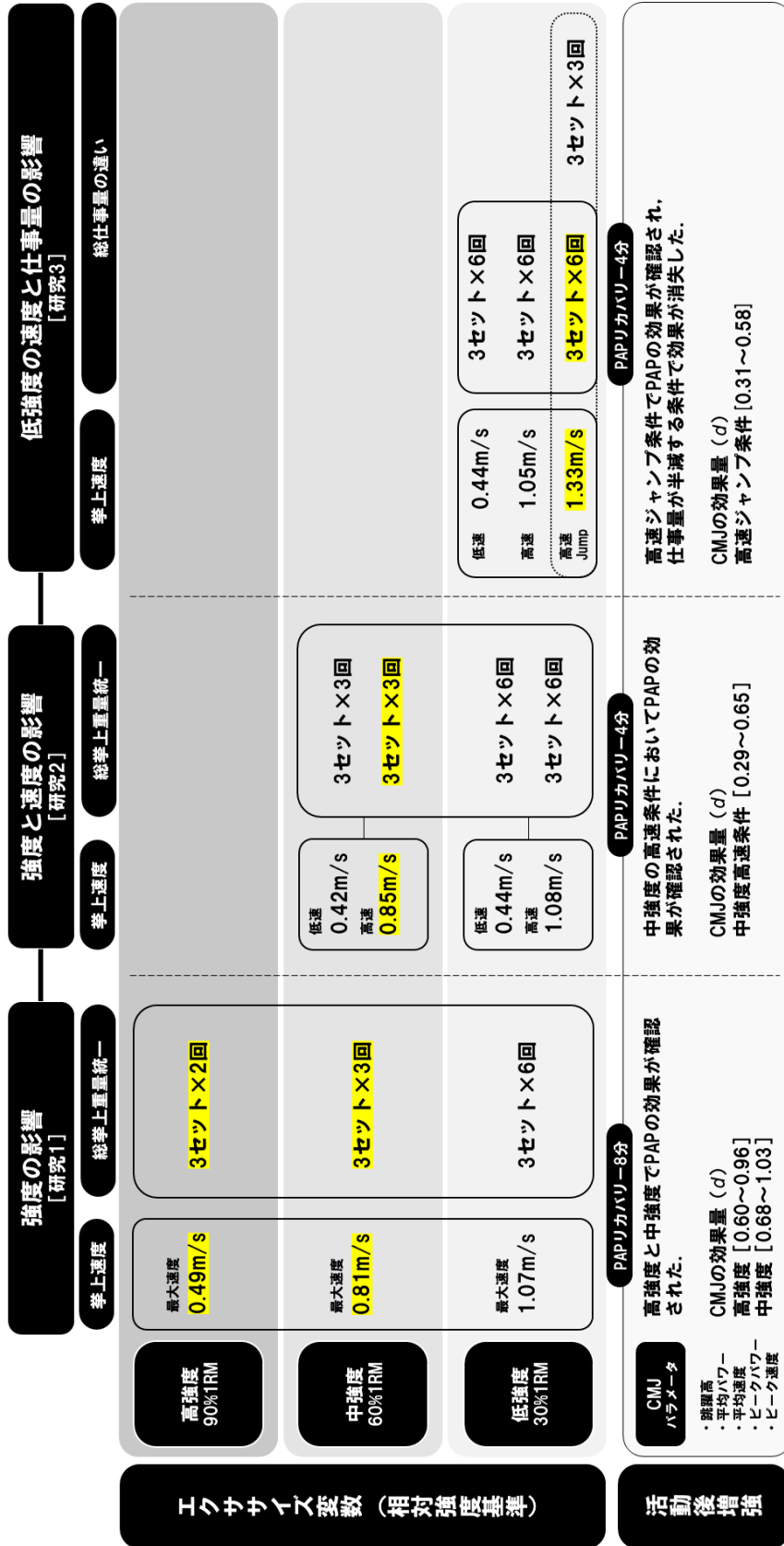
### 3-2. PAP 効果に対する速度基準のアプローチ

ジャンプ動作を伴うスクワット運動では、仕事量が半減することで PAP 効果が消失することが明らかとなった（研究 3）。このことは、低強度を扱ったコンディショニング活動において PAP を促進する反復刺激として一定の仕事量が必要となる可能性が考えられる（島

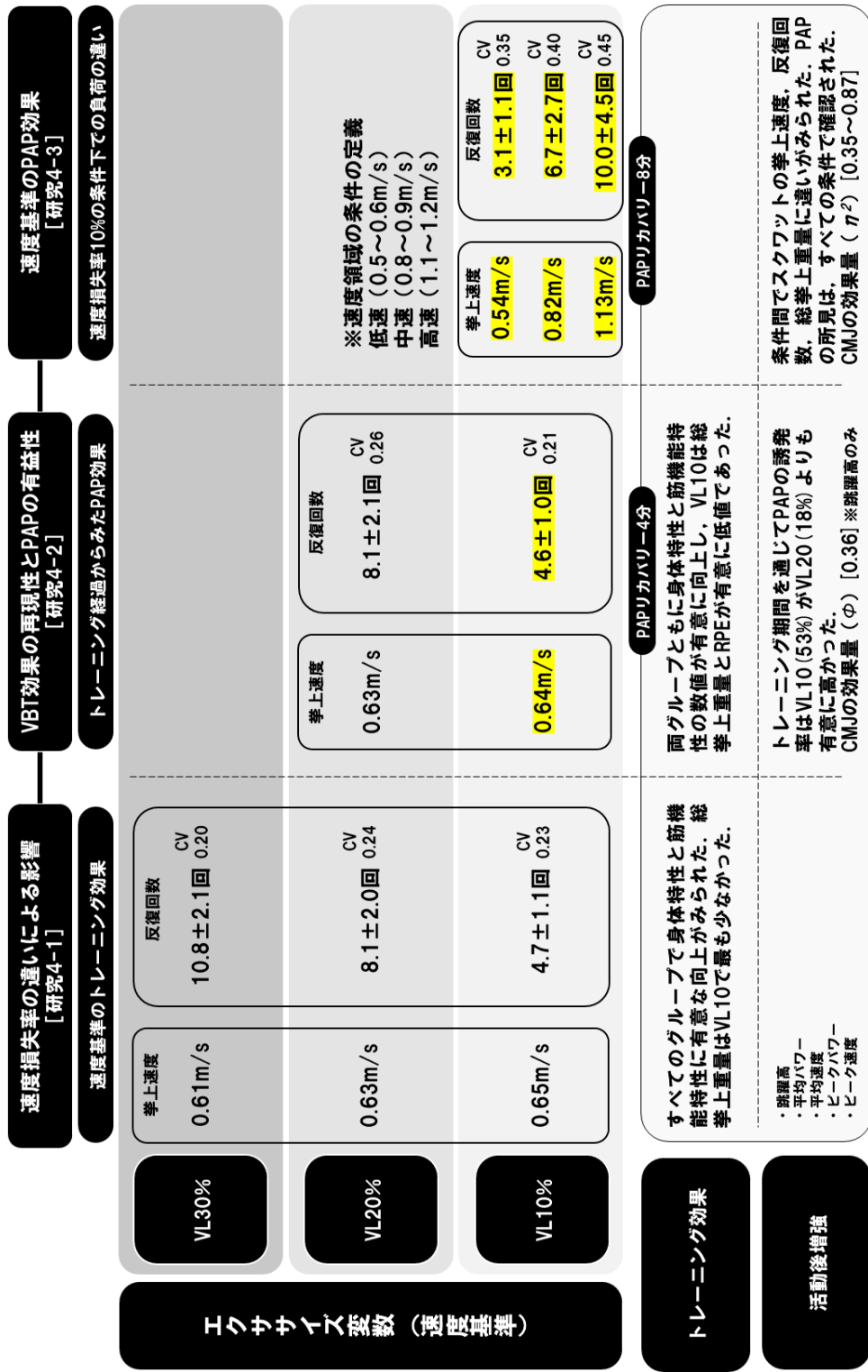
ら, 2007; Smilios et al., 2005; Sotiropoulos et al., 2010). 研究 4-3 では, ジャンプ動作を伴わないスクワット運動でありながら, PAP 効果が示されている. 研究 3 と比較すると, 負荷重量および挙上速度は近似するものの反復回数に大きな相違がみられる. したがって, 低強度でのスクワット運動において動作制限が加わる場合, PAP 誘発に起因する反復回数の条件が異なることが推察される. 速度基準のアプローチでは, 個々に反復回数の相違がみられ, 研究 4-3 における変動係数 (CV) を見てみると 0.35~0.45 の範囲となり, 大きな個人差が示された. このことは, スクワット運動の負荷重量に対し, 固有の反復回数の設定によって PAP 誘発に影響を及ぼすものと考えられる.

一方で, 相対強度基準でのプロトコル (研究 1~3) では, 疲労の影響をなるべく小さくするように考案し, 実験データからも示唆する結果を得ている. 速度基準では, 運動終了のポイントに速度損失率を用いることから, 個々に反復回数を決定できる利点が挙げられるが, 速度損失率の程度によって疲労を受ける影響が異なることに留意する必要がある. PAP に対してマイナスの要因である疲労の観点から捉えたと, 20%や 30%の速度損失率は, PAP を促進する目的において, 過剰な疲労を抑制できるとは言い難い結果であった. ただし, リカバリー時間の延長によっては, 異なる結果を示す可能性も否定できない (Tsoukos et al., 2021). また, トレーニング効果による PAP の程度が増幅する (Miyamoto et al., 2013) ことも考えられるが, これらの点については, 本研究の限界として後述する.

PAP は筋の活性化と疲労の影響を考慮し, 個体差に応じたコンディショニング活動の条件付けが極めて重要である. これまで, 多くの研究では, 相対強度を基準としたコンディショニング活動によって PAP の検証が行われてきた. しかしながら, 個々に対する増強効果と疲労要因のバランスを定量化することは容易ではない. 速度を基準とする場合, 極めて安定した指標 (González-Badillo and Sánchez-Median, 2010) であることから, PAP に関連する個体差を考慮できるであろう. 本研究で得られた知見から, 個々の疲労耐性に応じて PAP を誘発する手段として, 至適負荷の決定には, 速度基準を用いたアプローチが有用となる可能性が考えられる.



図IV-2 相対強度を基準とする PAP 誘発のためのエクササイズ変数の条件



図IV-3 速度を基準とするスクワット運動のトレーニング効果とPAP効果

#### 4. 爆発的筋力向上のための活動後増強を応用したトレーニング戦略

スポーツのパフォーマンス向上には、競技特性に応じて最大筋力や筋パワー等の筋機能を高めることが極めて重要な課題となる。PAP は、後続の増強現象であることから、トレーニングやスポーツパフォーマンスへの応用を考えた場合、「高いトレーニング刺激の再現」と「即時的なパフォーマンス強化」の 2 点に集約される。つまり、PAP の応答を利用したトレーニングの配列、あるいは競技直前の特異的な運動課題として捉えることができる。

PAP をスポーツパフォーマンスに応用する試みは、いくつかの研究によって報告されている (Boullosa et al., 2018; Dello Iacono et al., 2018; Gołaś et al., 2016; Gołaś et al., 2017; Seitz and Haff, 2016; Turner et al., 2015)。これらは主にスプリントやジャンプといった単発的かつ短時間に大きな筋力発揮を必要とするスポーツ動作に有効であることが示されている (Seitz and Haff, 2016)。したがって、爆発的な筋力や筋パワー向上に PAP の即時的増強効果を適切に活用することで、スポーツパフォーマンスの向上に寄与することが期待できる (Bauer et al., 2019; Bogdanis et al., 2017; Comyns et al., 2007; Docherty and Hodgson, 2007, Ebben et al., 2000; Jensen and Ebben, 2003; Jones and Lees, 2003)。

ここでは、多くのスポーツ競技に共通する下肢の爆発的な筋力発揮に焦点を当て、PAP を活用したスクワット運動の有用性、あるいはトレーニングへの応用について検討する。

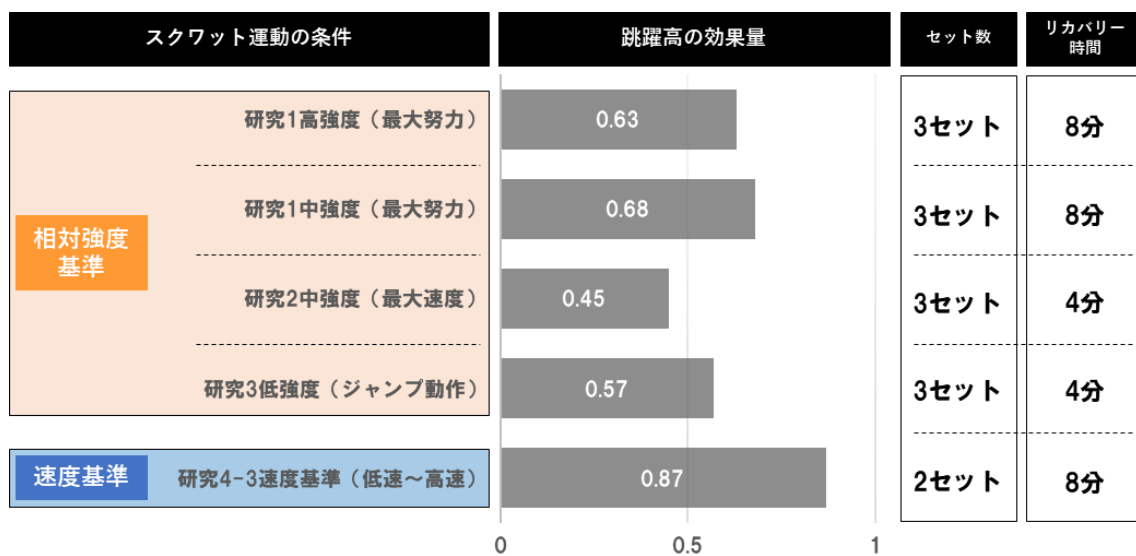
##### 4-1. ウォーミングアップセッションとしての位置づけ

研究 1~3 において、広範囲の強度に対して、挙上速度や動作様式、総挙上重量の組み合わせによる PAP のいくつかの条件が特定された。これらの結果は、PAP 誘発のためのコンディショニング活動として負荷重量の選択肢があることを意味するものである。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。本研究では、CMJ の変量から PAP を評価しており、跳躍高をはじめパワーや速度の即時的な増強が示されている。したがって、下肢の爆発的な筋力発揮を伴うトレーニングの事前にウォーミングアップセッションの位置づけで、本研究で実施したコンディショニング活動を行うことで、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。例えば、クリーン系種目の前に高強度や中強度での最大速度によるスクワット運動を複数セット行うことや、プライオメトリックス系種目では、事前に低強度でのジャンプスクワットを実施することなどが考えられる。

#### 4-2. PAP を活用したトレーニングの主眼

一方で、日々のコンディションによる筋出力の変動性 (Chtourou et al., 2012; Mitchel et al., 2016; Souissi et al., 2002) を踏まえると、1RM 測定から得られた相対強度を基準とする場合、実践者の状態によっては必ずしも PAP 応答が有益とならない可能性がある。これらの課題に対し、研究 4 において速度基準のアプローチから検討した結果、コンディショニング活動に速度基準の評価法を用いることで、PAP 誘発に関連するスクワット運動負荷を個別に調整できる可能性が考えられた。PAP は「一時的な増強効果」であることから、一過性の検証に留まっていたが、研究 4-2 におけるトレーニング経過の観察から PAP の有益性がトレーニング終期に高まる可能性がある。これらの結果を踏まえれば、PAP をトレーニングに応用する場合、一定のトレーニング期間を経て、先述の例に示したような特異的なプログラムを導入することで、大きなトレーニング効果を得られる可能性が考えられる。また、研究 4-3 では、絶対的な速度を基準に強度を決定し、反復回数には相対的な速度損失率を用いることで、低速～高速領域に対し、個々の疲労耐性に従って総挙上重量を適切に処方できる可能性が示された。これら結果は、研究 1～3 で示された PAP 誘発に関連する広範囲の強度の影響に加え、総挙上重量を自己調整できる点において、様々なバリエーションでのコンディショニング活動が可能となるものである。これらは、多様なスポーツ現場での環境下に応じて効率的に準備性を高めることが期待でき、準備期や試合期などのピリオダイゼーションの観点からも速度基準のアプローチによる PAP 効果をトレーニングに応用できるものと考えられる。

図IV-4 に、本研究において PAP の誘発が確認されたスクワット運動条件での CMJ の跳躍高の効果量について示した。速度基準のスクワット運動において最も大きな効果量であり、相対強度基準においても中程度の効果量が期待される。ただし、研究 1～3 と研究 4-3 のセット数が異なることと、研究 1, 4-3 と研究 2, 3 ではリカバリー時間が異なることから、効果量の解釈には留意する必要がある。例えば、研究 1 や研究 4-3 では、スクワット運動後のリカバリー時間が 8 分間とやや長いことから、実際のワークアウト全体の時間を考えるとトレーニング時間の経済性の観点から適さない場面も想定される。また、研究 1 と研究 2 における中強度を比較すると、リカバリー時間が短くなることで、効果量がやや小さくなることに注意が必要である。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、特定の目的に応じて使い分けることが現実的な方法であると考えられる。



図IV-4 PAP 誘発が確認されたスクワット運動後の CMJ の効果量



#### 4-3. 下肢の筋機能強化に対する PAP の活用

アスリートにとって試合や大会に向け、パフォーマンスを最大化する目的で準備性を総合的に高めることが重要であり、大会当日あるいは試合直前のコンディションの最適化はパフォーマンス向上への寄与率を高めることとなる。とりわけ、1/100 秒、1cm を競うアスリートにとって、わずかな差であっても大きな変化となる場合が少なくない。したがって、即時的な効果であれ長期的な効果であれ試合を決定づける一つの要因となり、ハイレベルな競争下においては大きな意味を持つと言える。

特に下肢の力発揮は、多くのスポーツ競技において極めて重要な役割を果たしており、スプリントやジャンプといった爆発的な筋力発揮を必要とする動作では、膝および股関節周辺の筋群が大きく貢献する。これらの筋群の強化には、スクワット運動を用いて合目的的にトレーニングプログラムを実行することで、様々なスポーツに共通した運動パフォーマンスの向上に寄与すると言える。本研究は、コンディショニング活動にスクワット運動を用いて、その後の PAP 効果を CMJ の変量により評価した。総じて、CMJ の即時的な増強には、負荷強度に条件付けられる多くのバリエーションが存在することや速度基準のアプローチから個別化されるコンディショニング活動の有用性が期待される。したがって、下肢の伸展パワーに寄与する SSC 能力の向上や RFD の改善に PAP を活用することで、多くのスポーツパフォーマンスに貢献する筋機能向上に影響を与えることが考えられる。これらの結果は、トレーニング現場において PAP 現象を利用した下肢の筋機能強化に対する効果的なトレーニングプログラムを処方するうえで、有益な情報を提供するものであると思われる。

## 5. 本研究の限界と課題

本研究はトレーニング経過の観察から個々のセッションで独立して PAP 効果の検証を行っていることから、トレーニング期間全体を通しての PAP 誘発率やその特徴について記述したものである。したがって本研究では、トレーニング効果そのものが PAP の程度にどう影響していたか説明することができない。PAP に対するトレーニング効果について検討した研究では、疲労耐性の向上によって PAP の程度が増幅することを報告している (Miyamoto et al., 2013)。本研究結果 (研究 4-2) では、トレーニング経過に伴い VL20 群の反復回数に有意な増加が認められている。このことは、VL20 群において筋疲労への耐性が向上したことを示唆するものである。トレーニング介入後に両群同一のコンディショニング活動によるテストを実施していた場合、先行研究と同様の知見が得られた可能性が考えられるが、本研究の限界点である。そのため、PAP に対する速度基準のトレーニング効果について検討する必要がある。

同研究では、VL20 群において PAP の利益は小さいながら 2 割程度の PAP 誘発率が確認されている。PAP のリカバリー時間について自己選択により決定する方法では、およそ 3～9 分の個人差が存在し、固定されるリカバリー時間よりも効率的で実用性が高いことが示されている (do Carmo et al., 2021)。PAP に対する個人差の要因を鑑みれば、VL20 群におけるリカバリー時間の延長により PAP 効果を促進できる可能性は否定できないが、本研究の範囲を超えるため言及はできない。今後は速度基準のコンディショニング活動に対する固有のリカバリー時間との関係について検討することが求められる。

また、本研究は、スクワット運動の条件設定の違いによる PAP 効果をジャンプパフォーマンスから評価し、PAP の有益性について検討したものである。研究方法では、LPT を用いてスクワット運動や CMJ のパラメータを評価しているため、跳躍時における出力特性の時間分析は行っていない。したがって、ピーク速度やピークパワーの出現が、CMJ の跳躍高の変化にどう影響していたか詳細に説明することはできない。研究 4-3 では、跳躍高とピーク速度の効果量の大きさに若干の違いがみられており、PAP 効果に対するパフォーマンスと出力特性の関係を示すうえでは、床反力計などを用いて詳細に分析する必要がある。

## 結 論

## 結 論

本研究は、PAP 効果に関連するスクワット運動の要因について、相対強度基準および速度基準の評価法から検討し、PAP を応用したトレーニング戦略の可能性について論じた。得られた結論は以下のとおりである。

相対強度を基準とした中強度および高強度のスクワット運動の総挙上重量が統一される条件下では、いずれの運動強度においても PAP 誘発に貢献する（研究 1）。そして、中強度では、最大挙上速度の組み合わせが PAP に影響を及ぼし、低強度において、スクワット運動の動作制限が加わる場合、挙上速度の違いによる PAP 効果は示されない（研究 2）。この低強度スクワット運動では、バリスティック動作を伴うことで PAP 誘発が可能となる。一方、同じ動作条件では仕事量の影響によって PAP 効果が消失する（研究 3）。速度基準のスクワット運動では、少ない仕事量で多くのトレーニング効果が得られ、PAP 誘発を目的とした場合、10%の速度損失率を用いることで、過剰な疲労を抑制し、PAP 効果に対する有益性が高まる。速度基準の負荷設定は、異なる速度領域（強度）に対して個別に反復回数を調整できるため、PAP 誘発において疲労耐性による個体差の影響を考慮できる（研究 4）。

以上の実験結果から、スクワット運動の負荷重量に対し、挙上速度あるいは動作様式、さらには仕事量の組み合わせによって PAP 誘発に起因する条件が異なることが明らかとなった。また、速度基準のスクワットトレーニングの有用性が示され、PAP 誘発の試みに速度損失率を用いることで、個体差の影響を考慮したコンディショニング活動を個別に評価できる可能性が示唆された。

最後に本研究で得られた知見は、下肢の筋機能強化に対し、PAP を活用したトレーニング処方に貢献する有益な情報である。また、トレーニング現場において汎用性の高いスクワット運動での PAP 現象を応用することは、様々なスポーツへの競技力向上に資するものであると考えられる。

## 参考文献

[第 I 章]

- 1) Abbate, F., Sargeant, A.J., Verdijk, P.W. and Haan, A.D. (2000) Effect of high-frequency initial pulses and posttetanic potentiation on power output of skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.*, 88(1): 35-40.
- 2) Grange, R.W., Vandenboom, R. and Houston, M.E. (1993) Physiological significance of myosin phosphorylation in skeletal muscle. *Can. J. Appl. Physiol.*, 18(3): 229-242.
- 3) Arabatzi, F., Patikas, D., Zafeiridis, A., Giavroudis, K., Kannas, T., Gourgoulis, V. and Kotzamanidis, C.M. (2014) The post-activation potentiation effect on squat jump performance: age and sex effect. *Pediatr. Exerc. Sci.*, 26(2): 187-194.
- 4) Baker, D. (2003) 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.
- 5) Baudry, S., Klass, M. and Duchateau, J. (2008) Postactivation potentiation of short tetanic contractions is differently influenced by stimulation frequency in young and elderly adults. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 103(4): 449-459.
- 6) Banyard, H.G., Tufano, J.J., Delgado, J., Steve, S.W. and Nosaka, K. (2018) Comparison of velocity-based training methods and traditional 1RM-percent-based training prescription on acute kinetic and kinematic variables. *Int. J. Sports Physiol. Performance*, 14(2): 246-255.
- 7) Bogdanis, G.C., Tsoukos, A., Veligeas, P., Tsolakis, C. and Terzis, G. (2014) Effects of muscle action type with equal impulse of conditioning activity on postactivation potentiation. *J. Strength Cond. Res.*, 28(9): 2521-2528.
- 8) Chiu, L.Z., Fry, A.C., Weiss, L.W., Schilling, B.K., Brown, L.E. and Smith, S.L. (2003) Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *J. Strength Cond. Res.*, 17(4): 671-677.
- 9) Chtourou, H., Driss, T., Souissi, S. and Gam, A. (2012) The effect of strength training at the same time of the day on the diurnal fluctuations of muscular anaerobic performances. *J. Strength Cond. Res.*, 26(1): 217-225.
- 10) Comyns, T.M., Harrison, A.J., Hennessy, L. and Jensen, R.L. (2007) Identifying the optimal resistive load for complex training in male rugby players. *Sports Biomech.*,

6(1): 59-70.

- 11) Dello Iacono, A., Padulo, J. and Seitz, L.D. (2018) Loaded hip thrust-based PAP protocol effects on acceleration and sprint performance of handball players. *J. Sports Sci.*, 36(11): 1269-1276.
- 12) do Carmo, E.C., De Souza, E.O., Roschel, H., Kobal, R., Ramos, H., Gil, S. and Tricoli, V. (2021) Self-selected rest interval improves vertical jump postactivation potentiation. *J. Strength Cond. Res.*, 35(1): 91-96.
- 13) Ebben, W.P., Jensen, R.L. and Blackard, D.O. (2000) Electromyographic and kinetic analysis of complex training variables. *J. Strength Cond. Res.*, 14(4): 451-456.
- 14) Evetovich, T.K., Conley, D.S. and McCawley, P.F. (2015) Postactivation potentiation enhances upper- and lower-body athletic performance in collegiate male and female athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 29(2): 336-342.
- 15) Galiano, C., Pareja-Blanco, F., Hidalgo de Mora, J. and Sáez de Villarreal, E. (2022) Low-velocity loss induces similar strength gains to moderate-velocity loss during resistance training. *J. Strength Cond. Res.*, 36(2): 340-345.
- 16) Garbisu-Hualde, A. and Santos-Concejero, J. (2021) Post-activation potentiation in strength training: A systematic review of the scientific literature. *J. Hum. Kinet.*, 78: 141-150.
- 17) Gołaś, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K. and Stastny, P. (2016) Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *J. Hum. Kinet.*, 52: 95-106.
- 18) Gołaś, A., Wilk, M., Stastny, P., Maszczyk, A., Pajerska, K. and Zajac, A. (2017) Optimizing half squat postactivation potential load in squat jump training for eliciting relative maximal power in ski jumpers. *J. Strength Cond. Res.*, 31(11): 3010-3017.
- 19) González-Badillo, J.J., Marques, M.C. and Sánchez-Medina, L. (2011) The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *J. Hum. Kinet.*, 29: 15-19.
- 20) González-Badillo, J.J., Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Abad-Herencia, J.L., del Ojo-López, J.J., and Sánchez-Medina, L. (2015) Effects of velocity-based

- resistance training on young soccer players of different ages. *J. Strength Cond. Res.*, 29(5): 1329-1338.
- 21) González-Badillo, J.J. and Sánchez-Medina, L. (2010) Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int. J. Sports Med.*, 31(5): 347-352.
  - 22) Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Mavromatis, G. and Garas, A. (2003) Effect of submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *J. Strength Cond. Res.*, 17(2): 342-344.
  - 23) Gouvêa, A.L., Fernaandes, L.A., César, E.P., Silva, W.A.B. and Gomes, P.S.C. (2013) The effects of rest intervals on jumping performance: A meta-analysis on post-activation potentiation studies. *J. Sports Sci.*, 31(5): 459-467.
  - 24) Grange, R.W., Vandenboom, R. and Houston, M.E. (1993) Physiological significance of myosin phosphorylation in skeletal muscle. *Can. J. Appl. Physiol.*, 18(3): 229-242.
  - 25) Gullich, A. and Schmidtbleicher, D. (1996) MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Studies in Athletics*, 11(4): 67-81.
  - 26) Haff, G.G., Carlock, J.M., Hartman, M.J., Kilgore, J.L., Kawamori, N., Jackson, J.R., Morris, R.T., Sands, W.A. and Stone, M.H. (2005) Force-time curve characteristics of dynamic and isometric muscle actions of elite women Olympic weightlifters. *J. Strength Cond. Res.*, 19(4): 741-748.
  - 27) Hamada, T., Sale, D.G., MacDougall, J.D. and Tarnopolsky, M.A. (2003) Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta. Physiol. Scand.*, 178 (2): 165-73.
  - 28) Hamada, T., Sale, D.G., MacDougall, J.D. and Tarnopolsky, M.A. (2000) Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J. Appl. Physiol.*, 88(6): 2131-2137.
  - 29) Hughes, J.R. (1958) Post-tetanic potentiation, *Physiol. Rev.*, 38(1): 91-113.
  - 30) Jensen, R.L. and Ebben, W.P. (2003) Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 17(2): 345-349.
  - 31) Jones, P. and Lees, A. (2003) A biomechanical analysis of the acute effects of complex training using lower limb exercises. *J. Strength Cond. Res.*, 17(4): 694-700.



- 32) Kawamori, N., Rossi, S.J., Justice, B.D., Haff, E.E., Pistilli, E.E., O'Bryant, H.S., Stone, M.H. and Haff, G.G. (2006) Peak force and rate of force development during isometric and dynamic mid-thigh clean pulls performed at various intensities. *J. Strength Cond. Res.*, 20(3): 483-491.
- 33) Kilduff, L.P., Bevan, H., Owen, N., Kingsley, M.I.C., Bunce, P., Bennett, M. and Cunningham, D. (2007) Optimal loading for peak power output during the hang power clean in professional rugby players. *Int. J. Sports Physiol. Perf.*, 2(3): 260-269.
- 34) Kilduff, L.P., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M.T. and Cunningham, D. (2008) Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *J. Sports Sci.*, 28(6): 795-802.
- 35) Kobal, R., Pereira, L.A., Kitamura, K., Paulo, A.C., Ramos, H.A., Carmo, E.C., Roschel, H., Tricoli, V., Bishop, C. and Loturco, I. (2019) Post-activation potentiation: Is there an optimal training volume and intensity to induce improvements in vertical jump ability in highly-trained subjects? *J. Hum. Kinet.*, 66: 195-203.
- 36) Kubo, T., Hirayama, K., Nakamura, N. and Higuchi, M. (2018) Influence of different loads on force-time characteristics during back squats. *J. Sports Sci., Med.*, 17(4): 617-622.
- 37) Laffaye, G., Wagner, P.P. and Tombleson, T.I.L. (2014) Countermovement jump height: Gender and sport-specific differences in the force-time variables. *J. Strength Cond. Res.*, 28(4): 1096-1105.
- 38) Leary, B.K., Statler, J., Hopkins, B., Fitzwater, R., Kesling, T., Lyon, J., Phillips, B., Bryner, R.W., Cormie, P. and Haff, G.G. (2012) The relationship between isometric force-time curve characteristics and club head speed in recreational golfers. *J. Strength Cond. Res.*, 26(10): 2685-2697.
- 39) Lowery, R.P., Duncan, N.M., Loenneke, J.P., Sikorski, E.M., Naimo, M.A., Brown, L.E., Wilson, F.G. and Wilson, J.M. (2012) The effects of potentiating stimuli intensity under varying rest periods on vertical jump performance and power. *J. Strength Cond. Res.*, 26(12): 3320-3325.
- 40) Lum, D. and Chen, S. (2020) Comparison of loaded countermovement jump with different variable resistance intensities on inducing post-activation potentiation. *J.*

- Sci. Sport Exerc., 2: 167-172.
- 41) Macintosh, B.R. and Bryan, S.N. (2002) Potentiation of shortening and velocity of shortening during repeated isotonic tetanic contractions in mammalian skeletal muscle. *Pflugers Archiv Eur. J. Physiol.*, 443: 804-812.
  - 42) Mann, B. (2016) Developing explosive athletes: Use of velocity based training in training athletes. *Ultimate Athlete Concepts*.
  - 43) McBride, J.M., Nimphius, S. and Erickson, T.M. (2005) The acute effect of heavy-load countermovement jumps on sprint performance. *J. Strength Cond. Res.*, 19(4): 893-897.
  - 44) McLellan, C.P., Lovell, D.I. and Gass, G.C. (2011) The role of rate of force development on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 25(2): 379-385
  - 45) Michel, J.A., Pumpa, K.L., Williams, K.J. and Pyne, D.B. (2016) Variable changes in body composition, strength and lower-body power during an international rugby sevens season. *J. Strength Cond. Res.*, 30(4): 1127-1136.
  - 46) Nuzzo, J.L., McBride, J.M., Cormie, P. and McCaulley, G.O. (2008) Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *J. Strength Cond. Res.*, 22(3): 699-707.
  - 47) Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J.M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suárez, I., Calbet, J.A.L. and González-Badillo, J.J. (2017) Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 27(7): 724-735.
  - 48) Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A., Padial, P., Morales-Artacho, A.J. and Feriche, B. (2019) Effect of different velocity loss thresholds during a power-oriented resistance training program on the mechanical capacities of lower-body muscles. *J. Sports Sci.*, 36(12): 1331-1339.
  - 49) Prieske, O., Behrens, M., Chaabene, H., Granacher, U. and Maffiuletti, N.A. (2020) Time to differentiate postactivation “Potentiation” from “Performance enhancement” in the strength and conditioning community. *Sports Med.*, 50: 1559-1565.
  - 50) Randell, A.D., Cronin, J.B., Keogh, J.W.L., Gill, N.D. and Pedersen, M.C. (2011)

- Effect of instantaneous performance feedback during 6weeks of velocity-based resistance training on sport-specific performance tests. *J. Strength Cond. Res.*, 25(1): 87-93.
- 51) Rassier, D.E. and Macintosh, B.R. (2000) Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Braz. J. Med. Biol. Res.*, 33: 499-508.
- 52) Rixon, K.P., Lamont, H.S. and Bemben, M.G. (2007) Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *J. Strength Cond. Res.*, 21(2): 500-505.
- 53) Robbins, D.W. and Docherty, D. (2005) Effect of loading on enhancement of power performance over three consecutive trials. *J. Strength Cond. Res.*, 19(4): 898-902.
- 54) Sale, D. G. (2002) Post activation potentiation: Role in human performance. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 30(3): 138-143.
- 55) Sánchez-Median, L. and González-Badillo, J.J. (2011) Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43(9): 1725-1734.
- 56) Scott, S. and Docherty, D. (2004) Acute effect of heavy pre-loading on vertical and horizontal jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 18(2): 201-205.
- 57) Seitz, L.B. and Haff, G.G. (2016) Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: A systematic review with meta-analysis. *Sports Med.*, 46(2): 231-240.
- 58) 島典広, 前田明, 西菌秀嗣 (2007) 活動後増強による筋力および筋パワー向上効果. *デサントスポーツ科学*, 27: 217-223.
- 59) Slawinski, J., Bonnefoy, A., Levêque, J.M., Ontanon, G., Riquet, A., Dumas, R. and Chèze, L. (2010) Kinematic and kinetic comparisons of elite and well-trained sprinters during sprint start. *J. Strength Cond. Res.*, 24(4): 896-905.
- 60) Smilios, I., Pilianidis, T., Konstantinos, S., Antonakis, M. and Tokmakidis, S.P. (2005) Short-term effects of selected exercise and load in contrast training on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 19(1): 135-139.
- 61) Sotiropoulos, K., Smilios, L., Christou, M., Barzouka, K., Spaias, A., Douda, H. and Tokmakidis, S.P. (2010) Effects of warm-up on vertical jump performance and

- muscle electrical activity using half-squats at low and moderate intensity. *J. Sports Sci. Med.*, 9(2): 326-331.
- 62) Souissi, N., Gauthier, A., Sesboüé, B., Larue, J. and Davenne, D. (2002) Effects of regular training at the same time of day on diurnal fluctuations in muscular performance. *J. Sports Sci.*, 20(11): 929-937.
- 63) Stone, M.H., Sands, W.A., Carlock, J., Callan, S., Dickie, D., Daigle, K., Cotton, J., Smith, S.L. and Hartman, M. (2004) The importance of isometric maximum strength and peak rate-of-force development in sprint cycling. *J. Strength Cond. Res.*, 18(4): 878-884.
- 64) Suchomel, T.J., Sato, k., DeWeese, B.H., Ebben, W.P. and Stone, M.H. (2016) Potentiation effects of half-squats performed in a ballistic or nonballistic manner. *J. Strength Cond. Res.*, 30(6): 1652-1660.
- 65) Tillin, N.A. and Bishop, D. (2009) Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Med.*, 39(2): 147-166.
- 66) Titton, A. and Franchini, E. (2017) Postactivation potentiation in elite young soccer players. *J. Exerc. Rehabil.*, 13(2): 153-159.
- 67) Tsolakis, C., Bogdanis, G.C., Nikolaou, A. and Zacharogiannis, E. (2011) 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.
- 68) Weber, K.R., Brown, L.E., Coburn, J.W. and Zinder, S.M. (2008) Acute effects of heavy-load squats on consecutive squat jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 22(3): 726-730.
- 69) Wilson, J.M., Duncan, N.M., Marin, P.J., Brown, L.E., Loenneke, J.P., Wilson, S.M.C., Jo, E., Lowery, R.P. and Ugrinowitsch, C. (2013) Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *J. Strength Cond. Res.*, 27(3): 854-859.
- 70) Young, W.B., Jenner A. and Griffiths, K. (1998) Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *J. Strength Cond. Res.*, 12(2): 82-84.
- 71) Zourdos, M.C., Dolan, C., Quiles, J.M., Klemp, A., Jo, E., Loenneke, J.P., Blanco, R.

and Whitehurst, M. (2016) Efficacy of daily one-repetition maximum training in well-trained powerlifters and weightlifters: a case series. *Nurt. Hops.*, 33(2): 437-443.

[第II章]

- 1) Banyard, H.G., Nosaka, k., Sato, K. and Haff, G.G. (2017) Validity of various methods for determining velocity, force, and power in the back squat. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 12(9): 1170-1176.
- 2) Baechle, T.R. and Earle, R.W. (2002) NSCA 決定版ストレングストレーニング&コンディショニング第2版, ブックハウス・エイチディ, 東京, pp.404-405.
- 3) Dorrell, H.F., Moore, J.M., Smith, M.F. and Gee, T.I. (2019) Validity and reliability of a linear positional transducer across commonly practiced resistance training exercises. *J. Sports Sci.*, 37(1): 67-73.
- 4) Grgic, J., Scapec, B., Pedisic, Z. and Mikulic, P. (2020) Test-retest reliability of velocity and power in the deadlift and squat exercises assessed by the GymAware PowerTool System. *Front. Phyjiol.*, 11: doi: 10.3389/fphys.2020.561682.
- 5) Lorenzetti, S., Lamparter, T. and Lüthy, F. (2017) Validity and reliability of simple measurement device to assess the velocity. *BMC Res. Notes*, 10: 707. doi: 10.1186/s13104-017-3012-z.
- 6) Orange, S.T., Metcalfe, J.W., Liefieith, A., Marshall, P., Madden, L.A., Fewster, C.R. and Vince, R.V. (2019) Validity and reliability of a wearable inertial sensor to measure velocity and power in the back squat and bench press. *J. Strength Cond. Res.*, 33(9): 2398-2408.
- 7) Orange, S.T., Metcalfe, J.W., Marshall, P., Vince, R.V., Madden, L.A. and Liefieith, A. (2020) Test-retest reliability of a commercial linear position transducer (GymAware PowerTool) to measure velocity and power in the back squat and bench press. *J. Strength Cond. Res.*, 34(3): 728-737.

[第三章 1]

- 1) Baker, D. (2003) 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.
- 2) Baudry, S. and Duchateau, J. (2007) Postactivation potentiation in a human muscle: effect on the load-velocity relation of tetanic and voluntary shortening contractions. *J. Appl. Physiol.*, 103(4): 1318-1325.
- 3) Cormie, P., McCaulley, G.O., Triplett, N.T. and McBride, J.M. (2007) Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39(2): 340-349.
- 4) Dore, E., Martin, R., Ratel, S., Duche, P., Bedu, M. and Van Praagh, E. (2005) Gender differences in peak muscle performance during growth. *Int. J. Sports Med.*, 26(4): 274-280.
- 5) Esformes, J.I. and Bampouras, T.M. (2013) Effect of back squat depth on lower-body postactivation potentiation. *J. Strength Cond. Res.*, 27(11): 2997-3000.
- 6) 福永哲夫(総監修), 川上泰雄, 齋藤健司, 福林徹(監修) (2007) 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, p.375.
- 7) Fukutani, A., Hirata, K., Miyamoto, N., Kanehisa, H., Yanai, T. and Kawakami, Y. (2014a) Effect of conditioning contraction intensity on postactivation potentiation is muscle dependent. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 24(2): 240-245.
- 8) Fukutani, A., Miyamoto, N., Kanehisa, H., Yanai, T. and Kawakami, Y. (2013) Potentiation of isokinetic torque is velocity-dependent following an isometric conditioning contraction. *Springerplus*, 2(1): 554. doi: 10.1186/2193-1801-2-554.
- 9) Fukutani, A., Takei, S., Hirata, K., Miyamoto, N., Kanehisa, H. and Kawakami, Y. (2014b) Influence of the intensity of squat exercises on the subsequent jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 28(8): 2236-2243.
- 10) Gago, P., Marques, M.C., Marinho, D.A. and Ekblom, M.M. (2014) Passive muscle length changes affect twitch potentiation in power athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 46(7): 1334-1342.
- 11) Gołaś, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K. and Stastny, P. (2016) Optimizing

- post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *J. Hum. Kinet.*, 52: 95-106.
- 12) Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Mavromatis, G. and Garas, A. (2003) Effect of submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *J. Strength Cond. Res.*, 17(2): 342-344.
  - 13) Gouvêa, A.L., Fernandes, I.A., César, E.P., Silva, W.A. and Gomes, P.S. (2013) The effects of rest intervals on jumping performance: a meta-analysis on post-activation potentiation studies. *J. Sports Sci.*, 31(5): 459-467.
  - 14) Hamada, T., Sale, D.G., MacDougall, J.D. and Tarnopolsky, M.A. (2000) Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J. Appl. Physiol.*, 88(6): 2131-2137.
  - 15) Jensen, R.L. and Ebben, W.P. (2003) Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 17(2): 345-349.
  - 16) Jones, P. and Lees, A. (2003) A biomechanical analysis of the acute effects of complex training using lower limb exercises. *J. Strength Cond. Res.*, 17(4): 694-700.
  - 17) Kilduff, L.P., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M.T. and Cunningham, D. (2008) Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *J. Sports Sci.*, 28(6): 795-802.
  - 18) Martin, J.C., Wagner, B.M. and Coyle, E.F. (1997) Inertial-load method determines maximal cycling power in a single exercise bout. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29(11): 1505-1512.
  - 19) Mayhew, J.L. and Salm, P.C. (1990) Gender differences in anaerobic power tests. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 60(2): 133-138.
  - 20) McBride, J.M., Nimphius, S. and Erickson, T.M. (2005) The acute effect of heavy-load countermovement jumps on sprint performance. *J. Strength Cond. Res.*, 19(4): 893-897.
  - 21) 水本篤, 竹内理 (2008) 研究論文における効果量報告のために—基礎的概念と注意点—. *英語教育研究*, 31: 57-66.
  - 22) Scott, S. and Docherty, D. (2004) Acute effect of heavy pre-loading on vertical and horizontal jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 18(2): 201-205.

- 23) Siegel, J.A., Gilders, R.M., Staron, R.S. and Hagerman, F.C. (2002) Human muscle power output during upper- and lower-body exercises. *J. Strength Cond. Res.*, 16(2): 173-178.
- 24) Sotiropoulos, K., Smilios, I., Christou, M., Barzouka, K., Spaias, A., Douda, H. and Tokmakidis, S.P. (2010) 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.
- 25) Tsolakis, C., Bogdanis, G.C., Nikolaou, A. and Zacharogiannis, E. (2011) 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.
- 26) Young, W.B., Jenner, A. and Griffiths, K. (1998) Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *J. Strength Cond. Res.*, 12(2): 82-84.

[第三章 2]

- 1) Abbate, F., Sargeant, A.J., Verdijk, P.W. and Haan, A.D. (2000) Effect of high-frequency initial pulses and posttetanic potentiation on power output of skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.*, 88(1): 35-40.
- 2) Baker, D. (2003) 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.
- 3) Baudry, S. and Duchateau, J. (2007) Postactivation potentiation in a human muscle: effect on the load-velocity relation of tetanic and voluntary shortening contractions. *J. Appl. Physiol.*, 103(4): 1318-1325.
- 4) Bobbert, M.F., Gerritsen, K.G.M., Litjens, M.C.A. and Van Soest, A.J. (1996) Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28: 1402-1412.
- 5) Cormie, P., McCaulley, G.O., Triplett, N.T. and McBride, J.M. (2007) Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39(2): 340-349.
- 6) Ebben, W.P., Jensen, R.L. and Blackard, D.O. (2000) Electromyographic and kinetic



- analysis of complex training variables. *J. Strength Cond. Res.*, 14(4): 451-456.
- 7) 深代千之, 川本竜史, 石毛勇介, 若山章信 (2015) バイオメカニクスで読み解くスポーツ動作の科学, 一般財団法人東京大学出版会, 東京, pp.42-43.
  - 8) French, D.N., Kraemer, W.J. and Cooke, C.B. (2003) Changes in dynamic exercise performance following a sequence of pre-conditioning isometric muscle actions. *J. Strength Cond. Res.*, 17(4): 678-685.
  - 9) Fukashiro, S. and Komi, P.V. (1987) Joint moment and mechanical power flow of the lower limb during vertical jump. *Int. J. Sports Med.*, 8: 15-21.
  - 10) Fukutani, A., Hirata, K., Miyamoto, N., Kanehisa, H., Yanai, T. and Kawakami, Y. (2014) Effect of conditioning contraction intensity on postactivation potentiation is muscle dependent. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 24(2): 240-245.
  - 11) Fukutani, A., Miyamoto, N., Kanehisa, H., Yanai, T. and Kawakami, Y. (2013) Potentiation of isokinetic torque is velocity-dependent following an isometric conditioning contraction. *Springerplus*, 2(1): 554. doi: 10.1186/2193-1801-2-554.
  - 12) Gago, P., Marques, M.C., Marinho, D.A. and Ekblom, M.M. (2014) Passive muscle length changes affect twitch potentiation in power athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 46(7): 1334-1342.
  - 13) Golaś, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K. and Stastny, P. (2016) Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *J. Hum. Kinet.*, 52: 95-106.
  - 14) González-Badillo, J.J., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Ribas, J., López-López, C., Mora-Custodio, R., Yañez-García, J.M. and Pareja-Blanco, F. (2016) Short-term recovery following resistance exercise leading or not to failure. *Int. J. Sports Med.*, 37(4): 295-304.
  - 15) Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Mavromatis, G. and Garas, A. (2003) Effect of submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *J. Strength Cond. Res.*, 17(2): 342-344.
  - 16) Gouvêa, A.L., Fernaandes, L.A., César, E.P., Silva, W.A.B. and Gomes, P.S.C. (2013) The effects of rest intervals on jumping performance: A meta-analysis on post-activation potentiation studies. *J. Sports Sci.*, 31(5): 459-467.

- 17) Grange, R.W., Vandenboom, R. and Houston, M.E. (1993) Physiological significance of myosin phosphorylation in skeletal muscle. *Can. J. Appl. Physiol.*, 18(3): 229-242.
- 18) Hamada, T., Sale, D.G., MacDougall, J.D. and Tarnopolsky, M.A. (2000) Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J. Appl. Physiol.*, 88(6): 2131-2137.
- 19) 原樹子, 立正伸, 横澤俊治, 平野裕一 (2008) スクワットジャンプの股関節初期角度の違いがパフォーマンスに与える影響. *Jap. J. Eli. Sports Supp.*, 1: 21-31.
- 20) 長谷川裕 (2014) 1章, 体力学総論, 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, pp.12-22.
- 21) Hodgson, M., Docherty, D. and Robbins, D. (2005) Post-activation potentiation, *Sports Med.*, 35(7): 585-595.
- 22) Jensen, R.L. and Ebben, W.P. (2003) Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 17(2): 345-349.
- 23) Jones, P. and Lees, A. (2003) A biomechanical analysis of the acute effects of complex training using lower limb exercises. *J. Strength Cond. Res.*, 17(4): 694-700.
- 24) Kilduff, L.P., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M.T. and Cunningham, D. (2008) Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *J. Sports Sci.*, 28(6): 795-802.
- 25) Kubo, T., Hirayama, K., Nakamura, N. and Higuchi, M. (2018) Influence of different loads on force-time characteristics during back squats. *J. Sports Sci. Med.*, 17(4): 617-622.
- 26) Macintosh, B.R. and Bryan, S.N. (2002) Potentiation of shortening and velocity of shortening during repeated isotonic tetanic contractions in mammalian skeletal muscle. *Pfugers Archiv Eur. J. Physiol.*, 443: 804-812.
- 27) McBride, J.M., Nimphius, S. and Erickson, T.M. (2005) The acute effect of heavy-load countermovement jumps on sprint performance. *J. Strength Cond. Res.*, 19(4): 893-897.
- 28) 水本篤, 竹内理 (2008) 研究論文における効果量報告のために—基礎的概念と注意点—. *英語教育研究*, 31: 57-66.
- 29) Sánchez-Median, L. and González-Badillo, J.J. (2011) Velocity loss as an indicator of

- neuromuscular fatigue during resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43(9): 1725-1734.
- 30) Scott, S. and Docherty, D. (2004) Acute effect of heavy pre-loading on vertical and horizontal jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 18(2): 201-205.
- 31) Siegel, J.A., Gilders, R.M., Staron, R.S. and Hagerman, F.C. (2002) Human muscle power output during upper- and lower-body exercises. *J. Strength Cond. Res.*, 16(2): 173-178.
- 32) 島典広, 前田明, 西園秀嗣 (2007) 活動後増強における筋力および筋パワー向上効果. *デサントスポーツ科学*, 7: 217-223.
- 33) Similios, I., Piliandis, T., Sotiropoulos, K., Antonakis, M. and Tokmakidis, S.P. (2005) Short-term effects of selected exercise and load in contrast training on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 19(1): 135-139.
- 34) Sotiropoulos, K., Smilios, I., Christou, M., Barzouka, K., Spaias, A., Douda, H. and Tokmakidis, S.P. (2010) 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.
- 35) Suchomel, T.J., Sato, k., DeWeese, B.H., Ebben, W.P. and Stone, M.H. (2016) Potentiation effects of half-squats performed in a ballistic or nonballistic manner. *J. Strength Cond. Res.*, 30(6): 1652-1660.
- 36) Tsolakis, C., Bogdanis, G.C., Nikolaou, A. and Zacharogiannis, E. (2011) 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.
- 37) 若山章信, 平野裕一 (2014) 3 章, 1 節, バイオメカニクスの基礎理論, 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, pp.64-73.
- 38) William, P.E., Randall, L.J., and Douglas, O.B. (2000) Electromyographic and kinetic analysis of complex training variable. *J. Strength Cond. Res.*, 14(4): 451-456.
- 39) Young, W.B., Jenner, A. and Griffiths, K. (1998) Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *J. Strength Cond. Res.*, 12(2): 82-84.

[第三章 3]

- 1) Andersen, L.L. and Aagaard, P. (2006) Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 96: 46-52.
- 2) 有賀誠司, 菅野昌明, 山内武, 伊藤良彦 (2014) 2章, 2節, 3節, 4節, 5節, 各種トレーニングプログラム法の理論とプログラム, NPO 法人日本トレーニング指導者協会, トレーニング指導者テキスト実践編改訂版, 大修館書店, 東京, pp.38-85.
- 3) Baker, D. (2003) 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.
- 4) Bobbert, M.F., Gerritsen, K.G.M., Litjens, M.C.A. and Van Soest, A.J. (1996) Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28: 1402-1412.
- 5) Burd, N.A., West, D.W.D., Staples, A.W., Atherton, P.J., Baker, J.M., Moore, D.R., Holwerda, A.M., Parise, G., Rennie, M.J., Baker, S.K. and Phillips, S.M. (2010) Low-load high volume resistance exercise stimulates muscle protein synthesis more than high-load low volume resistance exercise in young men. *PLoS One*, 5(8): e12033.
- 6) Comfort, P., Allen, M. and Graham-Smith, P. (2011) Comparisons of peak ground reaction force and rate of force development during variations of the power clean. *J. Strength Cond. Res.*, 25(5): 1235-1239.
- 7) Cormie, P., McGuigan, M.R. and Newton, R.U. (2011) Developing maximal neuromuscular power: part 2-training considerations for improving maximal power production. *Sports Med.*, 41(2): 125-146.
- 8) DeRenne, C. (2010) Effects of post activation potentiation warm-up in male and female sport performances: A brief review. *Strength Cond. J.*, 32(6): 58-64.
- 9) Ebben, W.P., Jensen, R.L. and Blackard, D.O. (2000) Electromyographic and kinetic analysis of complex training variables. *J. Strength Cond. Res.*, 14(4): 451-456.
- 10) 深代千之, 川本竜史, 石毛勇介, 若山章信 (2015) バイオメカニクスで読み解くスポーツ動作の科学, 一般財団法人東京大学出版会, 東京, pp.42-43, 51-52.
- 11) Fukashiro, S. and Komi, P.V. (1987) Joint moment and mechanical power flow of the

- lower limb during vertical jump. *Int. J. Sports Med.*, 8: 15-21.
- 12) Gołaś, A., Wilk, M., Stastny, P., Maszczyk, A., Pajerska, K. and Zajac, A. (2017) Optimizing half squat postactivation potential load in squat jump training for eliciting relative maximal power in ski jumpers. *J. Strength Cond. Res.*, 31(11): 3010-3017.
  - 13) Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Mavromatis, G. and Garas, A. (2003) Effect of submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *J. Strength Cond. Res.*, 17(2): 342-344.
  - 14) Grouber, M. and Gollhofer, A. (2004) Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 92: 98-105.
  - 15) Gouvêa, A.L., Fernaandes, L.A., César, E.P., Silva, W.A.B. and Gomes, P.S.C. (2013) The effects of rest intervals on jumping performance: A meta-analysis on post-activation potentiation studies. *J. Sports Sci.*, 31(5): 459-467.
  - 16) Haff, G.G., Whitley, A. and Potteiger, J. (2001) A brief review: Explosive exercises and sports performance. *Strength Cond. J.*, 23(3): 13-20.
  - 17) Henneman, E., Somjen, G. and Carpenter, D.O. (1965) Excitability and inhibitability of motoneurons of different sizes. *J. Neurophysiol.*, 28(3): 599-620.
  - 18) Kilduff, L.P., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M.T. and Cunningham, D. (2008) Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players, *J. Sports Sci.*, 28(6): 795-802.
  - 19) Kubo, T., Hirayama, K., Nakamura, N. and Higuchi, M. (2018) Influence of different loads on force-time characteristics during back squats. *J. Sports Sci. Med.*, 17(4): 617-622.
  - 20) Lake, J.P., Lauder, M.A. and Smith, N.A. (2012) Barbell kinematics should not be used to estimate power output applied to the barbell-and-body system center of mass during lower-body resistance exercise. *J. Strength Cond. Res.*, 26(5): 1302-1307.
  - 21) Lum, D. and Chen, S.E. (2020) Comparison of loaded countermovement jump with different variable resistance intensities on inducing post-activation potentiation. *J. Sci. Sport Exerc.*, 2: 167-172.
  - 22) Michell, C.J., Churchward-Venne, T.A., West, D.W.D., Burd, N.A., Breen, L., Baker,

- S.K. and Phillips, S.M. (2012) Resistance exercise load dose not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *J. Appl. Physiol.*, 113(1): 71-77.
- 23) 水本篤, 竹内理 (2008) 研究論文における効果量報告のために—基礎的概念と注意点—. *英語教育研究*, 31: 57-66.
- 24) Morton, R.W., Oikawa, S.Y., Wavell, C.G., Mazara, N., McGlory, C., Quadriatero, J., Baechler, B.L., Baker, S.K. and Phillips, S.M. (2016) Neither load nor systemic hormones determine resistance training-mediated hypertrophy or strength gains in resistance-trained young men. *J. Appl. Physiol.*, 121(1): 129-138.
- 25) 中谷友哉, 福田真知子, 北川祐樹, 宮本俊朗 (2019) 低速度レジスタンス運動時の筋内活動分布の解析—高密度表面筋電図を用いて—. *理学療法学*, 46(1): 30-37.
- 26) Sale, D.G. (1987) Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 15: 95-151.
- 27) Sale, D. G. (2002) Post activation potentiation: Role in human performance. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 30(3): 138-143.
- 28) Sánchez-Median, L. and González-Badillo, J.J. (2011) Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43(9): 1725-1734.
- 29) Schoenfeld, B.J., Grigg, J., Ogborn, D. and Krieger, J.W. (2017) Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. high-load resistance training: A systematic review and meta-analysis. *J. Strength Cond. Res.*, 31(12): 3508-3523.
- 30) Seitz, L.B. and Haff, G.G. (2016) Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: A systematic review with meta-analysis. *Sports Med.*, 46(2): 231-240.
- 31) 島典広, 前田明, 西園秀嗣 (2007) 活動後増強における筋力および筋パワー向上効果. *デサントスポーツ科学*, 7: 217-223.
- 32) Smilios, I., Piliandis, T., Sotiropoulos, K., Antonakis, M. and Tokmakidis, S.P. (2005) Short-term effects of selected exercise and load in contrast training on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 19(1): 135-139.
- 33) Sotiropoulos, K., Smilios, I., Christou, M., Barzouka, K., Spaias, A., Douda, H. and Tokmakidis, S.P. (2010) 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.

- 34) 若山章信, 平野裕一 (2014) 3 章, 1 節, バイオメカニクスの基礎理論, 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, pp.64-73.
- 35) Young, W.B., Jenner, A. and Griffiths, K. (1998) Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *J. Strength Cond. Res.*, 12(2): 82-84.

[第三章 4-1]

- 1) Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., Sato, Y., Kearns, C.F., Inoue, K., Koizumi, K. and Ishii, N. (2005) Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily KAATSU resistance training. *Int. J. KAATSU Training Res.*, 1: 6-12.
- 2) Anderson, G.S. and Rhodes, E.C. (1989) A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. *Sports Med.*, 8: 43-55.
- 3) 有賀誠司 (2013) 12 章, レジスタンストレーニングのプログラムデザイン, 特定非営利活動法人 NSCA ジャパン日本ストレングス&コンディショニング協会編, ストレングス&コンディショニング I 理論編, 第 12 版, 大修館書店, 東京, pp.100-107.
- 4) 有賀誠司・菅野昌明・山内武・伊藤良彦 (2014) 2 章 2 節, 3 節, 4 節, 5 節, 各種トレーニングプログラム法の理論とプログラム, NPO 法人日本トレーニング指導者協会, トレーニング指導者テキスト実践編改訂版, 大修館書店, 東京, pp.38-85.
- 5) Banyard, H.G., Tufano, J.J., Delgado, J., Steve, S.W. and Nosaka, K. (2018) Comparison of velocity-based training methods and traditional 1RM-percent-based training prescription on acute kinetic and kinematic variables. *Int. J. Sports Physiol. Performance*, 14(2): 246-255.
- 6) Cormie, P., McCaulley, G.O., Triplett, N.T. and McBriden, J.M. (2007) Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39: 340-349.
- 7) Cormie, P., McGuigan, M.R. and Newton, R.U. (2011) Developing maximal neuromuscular power: part 2-training considerations for improving maximal power

- production. *Sports Med.*, 41(2): 125-146.
- 8) Dore, E., Martin, R., Ratel, S., Duché, P., Bedu, M. and Praagh, V.E. (2005) Gender differences in peak muscle performance during growth. *Int. J. Sports Med.*, 26(4): 274-280.
  - 9) 福永哲夫, 松尾彰文, 安部孝, 川上泰雄, 沼沢秀雄, 深代千之 (1991) 種目別スポーツ競技力評価方法の開発ーバレーボール競技の場合ー. *スポーツ医・科学*, 5(2): 47-54.
  - 10) Fielding, R.A., LeBrasseur, N.K., Cuoco, A., Bean, J., Mizer, K. and Singh, M.A.F. (2002) High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *J. Am. Geriatr Soc.*, 50: 655-662.
  - 11) González-Badillo, J.J., Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Abad-Herencia, J.L., del Ojo-López, J.J., and Sánchez-Medina, L. (2015) Effects of velocity-based resistance training on young soccer players of different ages. *J. Strength Cond. Res.*, 29(5): 1329-1338.
  - 12) González-Badillo, J.J. and Sánchez-Medina, L. (2010) Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int. J. Sports Med.*, 31(5): 347-352.
  - 13) Haff, G.G., Whitley, A., Potteiger, J. (2001) A brief review: Explosive exercises and sports performance. *Strength Cond. J.*, 23(3): 13-20.
  - 14) Hedrick, A. (1996) The vertical jump a review of the literature and a team case study. *Strength Cond. J.*, 18(7): 7-12.
  - 15) 石井直方 (2014) 4章2節, 骨格筋系, 神経系, 内分泌系と運動, NPO 法人日本トレーニング指導者協会編, トレーニング指導者テキスト理論編改訂版, 大修館書店, 東京, pp.97-110.
  - 16) Jovanović, M and Flanagan, E.P. (2014) Researched applications of velocity based strength training. *J. Aus. Strength Cond.*, 22(2): 58-69.
  - 17) 金子公宥, 淵本隆文, 田路秀樹, 末井健作 (1981) 人体筋の力・速度・パワー関係に及ぼすトレーニング効果. *体力科学*, 30: 86-93.
  - 18) Kirby, T.J. and Erickson, T.J.M. (2010) Model for Progression of Strength, power and speed Training. *Strength Cond. J.*, 32(5): 86-90.
  - 19) 眞鍋芳明, 桜井健一, 岩壁達男, 尾縣貢 (2008) 速度の異なるスクワットトレーニング



- が下肢の筋断面積, 筋力, 運動パフォーマンスに与える影響. *バイオメカニズム*, 29: 69-80.
- 20) Mann, B. (2017) *Developing explosive athletes: Use of velocity based training in training athletes*, 2nd Edition.
- 21) Martin, J.C., Wagner, B.M. and Coyle, E.F. (1997) Inertial-load method determines maximal cycling power in a single exercise bout. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29(11): 1505-1512.
- 22) Mayhew, J.L. and Salm, P.C. (1990) Gender differences in anaerobic power tests. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 60(2): 133-138.
- 23) 中谷友哉, 福田真知子, 北川祐樹, 宮本俊朗 (2019) 低速度レジスタンス運動時の筋内活動分布の解析—高密度表面筋電図を用いて—. *理学療法学*, 46(1): 30-37.
- 24) 中谷敏昭, 寺田和史, 上英俊, 塩見玲子, 白石晃, 灘本雅一 (2009) 筋力運動で用いる自覚的疲労スケールの開発とトレーニングへの応用. *体育測定評価研究*, 9: 23-31.
- 25) Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J.M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suárez, I., Calbet, J.A.L. and González-Badillo, J.J. (2017) Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 27(7): 724-735.
- 26) Padulo, J.P., Mignogna, S., Mignardi, F., Tonni, F. and D'Ottavio, S. (2012) Effect of different pushing speeds on bench press. *Int. J. Sports Med.*, 33(5): 376-380.
- 27) Randell, A.D., Cronin, J.B., Keogh, J.W.L., Gill, N.D. and Pedersen, M.C. (2011) Effect of instantaneous performance feedback during 6weeks of velocity-based resistance training on sport-specific performance tests. *J. Strength Cond. Res.*, 25(1): 87-93.
- 28) Ribeiro, L.F., Malachias, P.C., Junior, P.B. and Baldissera, V. (2004) Lactate and glucose minimum speeds and running performance. *J. Sci. Med. Sport*, 7(1): 123-127
- 29) Stallknecht, B., Visson, J. and Galbo, H. (1998) Lactate production and clearance in exercise. Effect of training. A mini-review. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 8: 127-131.
- 30) Staron, R.S., Karapondo, D.L., Kreamer, W.J., Fry, A.C., Gordon, S.E., Falkel, J.E., Hagerman, F.C. and Hidaka, R.S. (1994) Skeletal muscle adaptations during early

phase of heavy-resistance training in men and women. *J. Appl. Physiol.*, 76(3): 1247-1255.

- 31) 砂川力也, 下嶽進一郎 (2017) 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. *トレーニング指導*, 2(1): 18-24.

[第Ⅲ章 4-2]

- 1) 有賀誠司, 菅野昌明, 山内武, 伊藤良彦 (2014) 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, pp38-85.
- 2) Baker, D. (2003) 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.
- 3) Batterham, A.M. and Hopkins, W.G. (2006) Making meaningful inferences about magnitudes. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 1(1): 50-57.
- 4) Bauer, P., Uebellacker, F., Mitter, B., Aigner, A.J., Hasenehr, T., Ristl, R., Tschann, H. and Seitz, L.B. (2019) Combining higher-load and lower-load resistance training exercises: A systematic review and meta-analysis of findings from complex training studies. *J. Sci. Med. Sport*, 22(7): 838-851.
- 5) Bezodis, N.E., North, J.S. and Razavet, J.L. (2017) Alterations to the orientation of the ground reaction force vector affect sprint acceleration performance in team sports athletes. *J. Sports Sci.*, 35(18): 1817-1824.
- 6) Bogdanis, G.C., Tsoukos, A. and Veligekas, P. (2017) Improvement of long-jump performance during competition using a plyometric exercise. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 12(2): 235-240.
- 7) Bogdanis, G.C., Tsoukos, A., Veligekas, P., Tsolakis, C. and Terzis, G. (2014) Effects of muscle action type with equal impulse of conditioning activity on postactivation potentiation. *J. Strength Cond. Res.*, 28(9): 2521-2528.
- 8) Buchheit, M. (2017) Want to see my report, coach? *Aspetar Sports Med. J.*, 6: 36-43.
- 9) Chtourou, H., Driss, T., Souissi, S. and Gam, A. (2012) The effect of strength training at the same time of the day on the diurnal fluctuations of muscular anaerobic

- performances. *J. Strength Cond. Res.*, 26(1): 217-225.
- 10) Docherty, D. and Hodgson, M.J. (2007) The application of postactivation potentiation to elite sport. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 2(4): 439-444.
  - 11) Ebben, W.P., Jensen, R.L. and Blackard, D.O. (2000) Electromyographic and kinetic analysis of complex training variables. *J. Strength Cond. Res.*, 14(4): 451-456.
  - 12) Galiano, C., Pareja-Blanco, F., Hidalgo de Mora, J. and Sáez de Villarreal, E. (2022) Low-velocity loss induces similar strength gains to moderate-velocity loss during resistance training. *J. Strength Cond. Res.*, 36(2): 340-345.
  - 13) Gołaś, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K. and Stastny, P. (2016) Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *J. Hum. Kinet.*, 52(1): 95-106.
  - 14) González-Badillo, J.J., Marques, M.C. and Sánchez-Medina, L. (2011) The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *J. Hum. Kinet.*, 29: 15-19.
  - 15) Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Mavromatis, G. and Garas, A. (2003) Effect of submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *J. Strength Cond. Res.*, 17(2): 342-344.
  - 16) Hamada, T., Sale, D.G., MacDougall, J.D. and Tarnopolsky, M.A. (2000) Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J. Appl. Physiol.*, 88(6): 2131-2137.
  - 17) Hopkins, W.G. (2006) Spreadsheets for analysis of controlled trials, with adjustment for a subject characteristic. *Sportscience*, 10: 46-50.
  - 18) Hopkins, W.G., Marshall, S.W., Batterham, A.M. and Hanin, J. (2009) Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 41(1): 3-12.
  - 19) Jensen, R.L. and Ebben, W.P. (2003) Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 17(2): 345-349.
  - 20) Jones, P. and Lees, A. (2003) A biomechanical analysis of the acute effects of complex training using lower limb exercises. *J. Strength Cond. Res.*, 17(4): 694-700.
  - 21) Kilduff, L.P., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M.T. and Cunningham, D.

- (2008) Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *J. Sports Sci.*, 28(6): 795-802.
- 22) McBride, J.M., Nimphius, S. and Erickson, T.M. (2005) The acute effect of heavy-load countermovement jumps on sprint performance. *J. Strength Cond. Res.*, 19(4): 893-897.
- 23) Michel, J.A., Pumpa, K.L., Williams, K.J. and Pyne, D.B. (2016) Variable changes in body composition, strength and lower-body power during an international rugby sevens season. *J. Strength Cond. Res.*, 30(4): 1127-1136.
- 24) 水本篤, 竹内理 (2008) 研究論文における効果量報告のために—基礎的概念と注意点—. *英語教育研究*, 31: 57-66.
- 25) Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J.M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suárez, I., Calbet, J.A.L. and González-Badillo, J.J. (2017) Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 27(7): 724-735.
- 26) Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A., Padial, P., Morales-Artacho, A.J. and Feriche, B. (2018) Effect of different velocity loss thresholds during a power-oriented resistance training program on the mechanical capacities of lower-body muscles. *J. Sports Sci.*, 36(12): 1331-1339.
- 27) Rahimi, R. (2007) The acute effects of heavy versus light-load squats on sprint performance. *Phys. Educ. Sport*, 5(2): 163-169.
- 28) Sánchez-Medina, L. and González-Badillo, J.J. (2011) Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43(9): 1725-1734.
- 29) Schoenfeld, B.J., Grigg, J., Ogborn, D. and Krieger, J.W. (2017) Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. high-load resistance training: A systematic review and meta-analysis. *J. Strength Cond. Res.*, 31(12): 3508-3523.
- 30) Scott, S. and Docherty, D. (2004) Acute effect of heavy pre-loading on vertical and horizontal jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 18(2): 201-205.
- 31) Similios, I., Pilianidis, T., Sotiropoulos, K., Antonakis, M. and Tokmakidis, S.P. (2005)

- Short-term effects of selected exercise and load in contrast training on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 19(1): 135-139.
- 32) Sotiropoulos, K., Smilios, I., Christou, M., Barzouka, K., Spaias, A., Douda, H. and Tokmakidis, S.P. (2010) 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.
- 33) Souissi, N., Gauthier, A., Sesboué, B., Larue, J. and Davenne, D. (2002) Effects of regular training at the same time of day on diurnal fluctuations in muscular performance. *J. Sports Sci.*, 20(11): 929-937.
- 34) 砂川力也 (2020a) スクワットの重量および挙上速度の違いが活動後増強に与える影響. *トレーニング科学*, 32(3): 97-107.
- 35) 砂川力也 (2020b) 低負荷でのスクワットにおける挙上速度および仕事量の違いが活動後増強に与える影響. *東京体育学研究*, 12: 1-10.
- 36) 砂川力也, 古堅南美 (2020) Velocity-based Training における速度低下率の違いが筋機能特性に与える影響. *九州体育・スポーツ学研究*, 35(1): 11-22.
- 37) 砂川力也, 下嶽進一郎 (2017) 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. *トレーニング指導*, 2(1): 18-24.
- 38) Tsolakis, C., Bogdanis, G.C., Nikolaou, A. and Zacharogiannis, E. (2011) 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.

[第III章 4-3]

- 1) Banyard, H.G., Nosaka, K. and Haff, G.G. (2017) Reliability and validity of the load-velocity relationship to predict the 1RM back squat. *J. Strength Cond. Res.*, 31(7): 1897-1904.
- 2) Conceição, F., Fernandes, J., Lewis, M., González-Badillo, J.J. and Jiménez-Reyes, P. (2016) Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *J. Sports Sci.*, 34(12): 1099-1106.
- 3) Dorrell, H.F., Smith, M.F. and Gee, T.I. (2020) Comparison of velocity-based and traditional percentage-based loading methods on maximal strength and power

- adaptations. *J. Strength Cond. Res.*, 34(1): 46-53.
- 4) Galiano, C., Pareja-Blanco, F., Hidalgo de Mora, J. and Sáez de Villarreal, E. (2022) Low-velocity loss induces similar strength gains to moderate-velocity loss during resistance training. *J. Strength Cond. Res.*, 36(2): 340-345.
  - 5) González-Badillo, J.J. and Sánchez-Medina, L. (2010) Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int. J. Sports Med.*, 31(5): 347-352.
  - 6) Gouvêa, A.L., Fernandes, L.A., César, E.P., Silva, W.A.B. and Gomes, P.S.C. (2013) The effects of rest intervals on jumping performance: A meta-analysis on post-activation potentiation studies. *J. Sports Sci.*, 31(5): 459-467.
  - 7) Helms, E.R., Storey, A., Cross, M.R., Brown, S.R., Lenetsky, S., Ramsay, H., Dillen, C. and Zourdos, M.C. (2017) RPE and velocity relationships for the back squat, bench press, and deadlift in powerlifters. *J. Strength Cond. Res.*, 31(2): 292-297.
  - 8) Lum, D. and Chen, S. (2020) Comparison of loaded countermovement jump with different variable resistance intensities on inducing post-activation potentiation. *J. Sci. Sport Exerc.*, 2: 167-172.
  - 9) Mann, B. (2017) Developing explosive athletes: Use of velocity based training in training athletes, 2nd Edition.
  - 10) 水本篤, 竹内理 (2008) 研究論文における効果量報告のために—基礎的概念と注意点—. *英語教育研究*, 31: 57-66.
  - 11) Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, M., Yáñez-García, J.M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suárez, I., Calbet, J.A.L. and González-Badillo, J.J. (2017) Effect of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand. J. Med. Sci. sports*, 27(7): 724-735.
  - 12) Rodríguez-Rosell, D., Yáñez-García, J.M., Mora-Custodio, R., Pareja-Blanco, F., Ravelo-García, A.G., Ribas-Serna, J. and González-Badillo, J.J. (2020) Velocity-based resistance training: impact of velocity loss in the set on neuromuscular performance and hormonal response. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 45(8): 817-828.
  - 13) Sánchez-Medina, L. and González-Badillo, J.J. (2011) Velocity loss as an indicator of

- neuromuscular fatigue during resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43(9): 1725-1734.
- 14) Sánchez-Medina, L., Pallarés, J.G., Pérez, C.E., Morán-Navarro, R. and González-Badillo, J.J. (2017) Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sports Med. Int. Open*, 1(2): 80-88.
  - 15) 島典広, 前田明, 西園秀嗣 (2007) 活動後増強による筋力および筋パワー向上効果. *デサントスポーツ科学*, 27: 217-223.
  - 16) Siegel, J.A., Gilders, R.M., Staron, R.S. and Hageman, F.C. (2002) Human muscle power output during upper-and lower-body exercises. *J. Strength Cond. Res.*, 16(2): 173-178.
  - 17) 砂川力也 (2020) 低負荷でのスクワットにおける挙上速度および仕事量の違いが活動後増強に与える影響. *東京体育学研究*, 12: 1-10.
  - 18) 砂川力也, 古堅南美 (2020) Velocity-based Training における速度低下率の違いが筋機能特性に与える影響. *九州体育・スポーツ学研究*, 35(1): 11-22.
  - 19) 砂川力也, 下嶽進一郎 (2017) 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. *トレーニング指導*, 2(1): 18-24.
  - 20) Tsoukos, A., Brown, L.E., Terzis, G., Veligekas, P. and Bogdanis, G.C. (2021) Potentiation of bench press throw performance using a heavy load and velocity-based repetition control. *J. Strength Cond. Res.*, 35(2S): 72-79.
  - 21) 若山章信, 平野裕一 (2014) 3 章, 1 節, バイオメカニクスの基礎理論, 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, pp64-73.
  - 22) Wilson, J.M., Duncan, N.M., Marin, P.J., Brown, L.E., Loenneke, J.P., Wilson, S.M.C., Jo, E., Lowery, R.P. and Ugrinowitsch, C. (2013) Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *J. Strength Cond. Res.*, 27(3): 854-859.

[第IV章]

- 1) Baker, D. (2003) 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.
- 2) Bauer, P., Uebellacker, F., Mitter, B., Aigner, A.J., Hasenehrl, T., Ristl, R., Tschan, H. and Seitz, L.B. (2019) Combining higher-load and lower-load resistance training exercises: A systematic review and meta-analysis of findings from complex training studies. *J. Sci. Med. Sport*, 22(7): 838-851.
- 3) Blazevich, A.J. and Babault, N. (2019) Post-activation potentiation versus post-activation performance enhancement in humans: Historical perspective, underlying mechanisms, and current issues. *Front. Physiol.*, 1: 1-10.
- 4) Bogdanis, G.C., Tsoukos, A. and Veligeas, P. (2017) Improvement of long-jump performance during competition using a plyometric exercise. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 12(2): 235-240.
- 5) Boulosa, D., Del Rosso, S., Behm, D.G. and Foster, C. (2018) Post-activation potentiation (PAP) in endurance sports: A review. *Eur. J. Sport Sci.*, 18(5): 595-610.
- 6) Caterisano, A., Moss, R., Pellingier, T., Woodruff, K., Lewis, V., Booth, W. and Khadra, T. (2002) The effect of back squat depth on the EMG activity of 4 superficial hip and thigh muscles. *J. Strength Cond. Res.*, 16(3): 428-432.
- 7) Chtourou, H., Driss, T., Souissi, S. and Gam, A. (2012) The effect of strength training at the same time of the day on the diurnal fluctuations of muscular anaerobic performances. *J. Strength Cond. Res.*, 26(1): 217-225.
- 8) Comyns, T.M., Harrison, A.J., Hennessy, L. and Jensen, R.L. (2007) Identifying the optimal resistive load for complex training in male rugby players. *Sports Biomech.*, 6(1): 59-70.
- 9) Dello Iacono, A., Padulo, J. and Seitz, L.D. (2018) Loaded hip thrust-based PAP protocol effects on acceleration and sprint performance of handball players. *J. Sports Sci.*, 36(11): 1269-1276.
- 10) do Carmo, E.C., De Souza, E.O., Roschel, H., Kobal, R., Ramos, H., Gil, S. and Tricoli, V. (2021) Self-selected rest interval improves vertical jump postactivation



- potentiation. *J. Strength Cond. Res.*, 35(1): 91-96.
- 11) Docherty, D. and Hodgson, M.J. (2007) The application of postactivation potentiation to elite sport. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 2(4): 439-444.
  - 12) Ebben, W.P., Jensen, R.L. and Blackard, D.O. (2000) Electromyographic and kinetic analysis of complex training variables. *J. Strength Cond. Res.*, 14(4): 451-456.
  - 13) Esformes, J.I. and Bampouras, T.M. (2013) Effect of back squat depth on lower-body postactivation potentiation. *J. Strength Cond. Res.*, 27(11): 2997-3000.
  - 14) Galiano, C., Pareja-Blanco, F., Hidalgo de Mora, J. and Sáez de Villarreal, E. (2022) Low-velocity loss induces similar strength gains to moderate-velocity loss during resistance training. *J. Strength Cond. Res.*, 36(2): 340-345.
  - 15) Garbisu-Hualde, A. and Santos-Concejero, J. (2021) Post-activation potentiation in strength training: A systematic review of the scientific literature. *J. Hum. Kinet.*, 78: 141-150.
  - 16) Gołaś, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K. and Stastny, P. (2016) Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *J. Hum. Kinet.*, 52: 95-106.
  - 17) Gołaś, A., Wilk, M., Stastny, P., Maszczyk, A., Pajerska, K. and Zajac, A. (2017) Optimizing half squat postactivation potential load in squat jump training for eliciting relative maximal power in ski jumpers. *J. Strength Cond. Res.*, 31(11): 3010-3017.
  - 18) González-Badillo, J.J., Marques, M.C. and Sánchez-Medina, L. (2011) The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *J. Hum. Kinet.*, 29: 15-19.
  - 19) González-Badillo, J.J. and Sánchez-Medina, L. (2010) Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int. J. Sports Med.*, 31(5): 347-352.
  - 20) Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Mavromatis, G. and Garas, A. (2003) Effect of submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *J. Strength Cond. Res.*, 17(2): 342-344.
  - 21) Hartmann, Hagen., Wirth, K., Klusemann, M., Dalic, J., Matuschek, C. and

- Schmidtbleicher, D. (2012) Influence of squatting depth on jumping performance. *J. Strength Cond. Res.*, 26(12): 3243-3261.
- 22) Jensen, R.L. and Ebben, W.P. (2003) Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 17(2): 345-349.
- 23) Jones, P. and Lees, A. (2003) A biomechanical analysis of the acute effects of complex training using lower limb exercises. *J. Strength Cond. Res.*, 17(4): 694-700.
- 24) Kilduff, L.P., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M.T. and Cunningham, D. (2008) Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *J. Sports Sci.*, 28(6): 795-802.
- 25) Kobal, R., Pereira, L.A., Kitamura, K., Paulo, A.C., Ramos, H.A., Carmo, E.C., Roschel, H., Tricoli, V., Bishop, C. and Loturco, I. (2019) Post-activation potentiation: Is there an optimal training volume and intensity to induce improvements in vertical jump ability in highly-trained subjects? *J. Hum. Kinet.*, 66: 195-203.
- 26) Lowery, R.P., Duncan, N.M., Loenneke, J.P., Sikorski, E.M., Naimo, M.A., Brown, L.E., Wilson, F.G. and Wilson, J.M. (2012) The effects of potentiating stimuli intensity under varying rest periods on vertical jump performance and power. *J. Strength Cond. Res.*, 26(12): 3320-3325.
- 27) Lum, D. and Chen, S. (2020) Comparison of loaded countermovement jump with different variable resistance intensities on inducing post-activation potentiation. *J. Sci. Sport Exerc.*, 2: 167-172.
- 28) McBride, J.M., Nimphius, S. and Erickson, T.M. (2005) The acute effect of heavy-load countermovement jumps on sprint performance. *J. Strength Cond. Res.*, 19(4): 893-897.
- 29) Michel, J.A., Pumpa, K.L., Williams, K.J. and Pyne, D.B. (2016) Variable changes in body composition, strength and lower-body power during an international rugby sevens season. *J. Strength Cond. Res.*, 30(4): 1127-1136.
- 30) Miyamoto, N., Wakahara, T., Ema, R. and Kawakami, Y. (2013) Further potentiation of dynamic muscle strength after resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 45(7): 1323-1330.
- 31) Prieske, O., Behrens, M., Chaabene, H., Granacher, U. and Maffiuletti, N.A. (2020)

- Time to differentiate postactivation “Potentiation” from “Performance enhancement” in the strength and conditioning community. *Sports Med.*, 50: 1559-1565.
- 32) Sánchez-Median, L. and González-Badillo, J.J. (2011) Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43(9): 1725-1734.
- 33) Seitz, L.B. and Haff, G.G. (2016) Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med.*, 46(2): 231-240.
- 34) 島典広, 前田明, 西薊秀嗣 (2007) 活動後増強による筋力および筋パワー向上効果. *デサントスポーツ科学*, 27: 217-223.
- 35) Smilios, I., Piliandis, T., Konstantinos, S., Antonakis, M. and Tokmakidis, S.P. (2005) Short-term effects of selected exercise and load in contrast training on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 19(1): 135-139.
- 36) Sotiropoulos, K., Smilios, L., Christou, M., Barzouka, K., Spaias, A., Douda, H. and Tokmakidis, S.P. (2010) Effects of warm-up on vertical jump performance and muscle electrical activity using half-squats at low and moderate intensity. *J. Sports Sci. Med.*, 9(2): 326-331.
- 37) Souissi, N., Gauthier, A., Sesboué, B., Larue, J. and Davenne, D. (2002) Effects of regular training at the same time of day on diurnal fluctuations in muscular performance. *J. Sports Sci.*, 20(11): 929-937.
- 38) Tsoukos, A., Brown, L.E., Terzis, G., Veligeas, P. and Bogdanis, G.C. (2021) Potentiation of bench press throw performance using a heavy load and velocity-based repetition control. *J. Strength Cond. Res.*, 35(2S): 72-79.
- 39) Turner, A.P., Bellhouse, S., Kilduff, L.P. and Russell, M. (2015) Postactivation potentiation of sprint acceleration performance using plyometric exercise. *J. Strength Cond. Res.*, 29(2): 343-350.
- 40) Weber, K.R., Brown, L.E., Coburn, J.W. and Zinder, S.M. (2008) Acute effects of heavy-load squats on consecutive squat jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, 22(3): 726-730.
- 41) Wilson, J.M., Duncan, N.M., Marin, P.J., Brown, L.E., Loenneke, J.P., Wilson, S.M.C.,

- Jo, E., Lowery, R.P. and Ugrinowitsch, C. (2013) Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *J. Strength Cond. Res.*, 27(3): 854-859.
- 42) Young, W.B., Jenner A. and Griffiths, K. (1998) Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *J. Strength Cond. Res.*, 12(2): 82-84.

## 謝 辞

本博士論文は、筆者が奉職する琉球大学、そして、日本体育大学大学院体育科学研究科体育科学専攻博士後期課程に研究生として在籍した期間（2019～2020年）において行った研究成果をまとめ執筆したものです。

主査指導教員の船渡和男先生（国土舘大学大学院スポーツ・システム科学研究科特任教授、前任：日本体育大学大学院体育科学研究科体育科学専攻トレーニング科学系教授）には、筆者が助教として日本体育大学スポーツ・トレーニングセンターに務めていた当時から、ひとかたならぬご厚情を賜りました。教育・研究に関する多くの教えを受け、本論文作成にあたって、大変有益な機会をいただきました。また、研究4の活動後増強効果に関連する挙上速度損失率の研究では、共同研究者として多大なるご支援とご教示を賜りました。筆者にとっては、船渡和男先生との初めての共著論文とさせていただき、非常に感慨深いものとなりました。そして、論文完成に向けて公私にわたって大変有益なご助言と心強い励ましの言葉をくださり、今日に至るまで先生から薫陶を賜りましたことを心より感謝申しあげます。

本論文の副査指導教員として、角田直也先生（国土舘大学大学院スポーツ・システム研究科教授）には、筆者が東京都スポーツ文化事業団にてスポーツ医・科学サポート事業に従事していた当時、スポーツ科学研究と現場での実践科学の重要性について多くのご教授をいただきました。本論文を申請するにあたり、研究科長というご多忙な職責のなかで、快く副査をお引き受けいただきました。また、審査過程において、本論文全体にわたり、詳細に査読いただき、懇切丁寧なご指導を賜りました。心より感謝申しあげます。

同じく、本論文の副査指導教員の若山章信先生（東京女子体育大学教授）には、本論文において非常に重要な活動後増強の捉え方や測定結果の解釈など、ご専門のバイオメカニクスの見地から大変貴重なご助言とご指導を賜りました。また、博士論文としての基本的体裁など細部にわたり懇切丁寧なご支援をいただきました。深く感謝申し上げます。

本論文は、多くの方々のご協力によって完成いたしました。田中重陽先生（国土舘大学准教授）には、博士論文完成に向けて、ご自身の経験を基に懇切丁寧なご助言と心強い励ましをいただきました。平野智也先生（国土舘大学大学院スポーツ・システム研究科助手）には、筆者の学位論文申請から論文完成まで、様々に細やかな学務をお引き受けくださり、温かい励ましの言葉をいただきました。船渡研究室（日本体育大学大学院、国土舘大学大学院）

の皆様には、論文添削や筆者の発表練習にご参加くださり、論文完成にあたっての一助を賜りました。その他に、日本体育大学大学院時代の仲間、日本体育大学スポーツ・トレーニングセンター時代のスタッフ、東京都スポーツ文化事業団当時に一緒に勤務していた皆様、現在、筆者の奉職する琉球大学保健体育講座の先生方、同砂川研究室の学生、卒業生の皆さん、そして、本論文の完成にあたりご尽力いただいた多くの関係者の皆様には、ここに記して厚く御礼申し上げます。

最後に、博士論文の完成にあたって、生活を共にし、日頃から筆者の研究活動に理解を示してくれている、妻の真琴、長男の大河、次男の晴翔、そして、論文作成開始とほぼ同時期に生まれてきてくれた三男の礼至など、家族の支えがあつてのことと、心より感謝しております。そして、故郷の宮古島より、いつも温かく見守ってくれている両親にも感謝の意を表します。本当にありがとうございます。

令和4（2022）年3月

砂川 力也