

早稲田大学審査学位論文
博士（スポーツ科学）

バリスティックパフォーマンス向上のための
効果的なレジスタンスプライミングに関する検討

The effective resistance priming
for improving ballistic performance

2023年1月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

西岡 卓哉

NISHIOKA, Takuya

研究指導教員： 岡田 純一 教授

目次

第 1 章	序論	1
第 1 節	序	1
第 2 節	関連文献の考証	2
第 1 項	バリステックパフォーマンスの評価方法	2
第 2 項	レジスタンスプライミングによる遅延増強効果	7
第 3 項	効果的なレジスタンスプライミング	8
第 4 項	レジスタンスプライミングの現状と課題	14
第 3 節	本論文の目的と構成	16
第 2 章	バリステックパフォーマンスの特異性	19
第 1 節	緒言	19
第 2 節	方法	20
第 3 節	結果	24
第 4 節	考察	29
第 5 節	結論	30
第 3 章	筋力レベルがレジスタンスプライミングによるパフォーマンス向上効果に与える影響	31
第 1 節	緒言	31
第 2 節	方法	33
第 3 節	結果	44
第 4 節	考察	53
第 5 節	結論	57
第 4 章	バリステックエクササイズおよび高負荷エクササイズプロトコルの比較：どちらがより効果的なレジスタンスプライミングか？	59

第 1 節 緒言	59
第 2 節 方法	60
第 3 節 結果	67
第 4 節 考察	71
第 5 節 結論	75
第 5 章 総合論議	77
第 1 節 遅延増強効果の特性	77
第 2 節 適切なプライミングエクササイズ戦略	82
第 3 節 今後の展望	88
第 6 章 結論	89
参考文献	90

本博士論文の研究成果は以下の内容であった。

【第2章】

- ・原著論文

Nishioka T, Okada J. Associations of maximum and reactive strength indicators with force-velocity profiles obtained from squat jump and countermovement jump. *PLoS One*. 2022;17(10):e0276681.

- ・学会発表

西岡卓哉, 岡田純一. 最大筋力および反応筋力とカー速度プロフィールとの関係. NSCA ジャパン S&C カンファレンス 2021. 2021年12月11日. ポスター発表.

- ・受賞

NSCA ジャパン S&C カンファレンス 2021 最優秀賞. 2021年12月11日

【第3章】

- ・原著論文

Nishioka T, Okada J. Influence of strength level on performance enhancement using resistance priming. *J Strength Cond Res*. 2022;36(1):37-46.

【第4章】

- ・学会発表

Nishioka T, Okada J. Ballistic exercise versus heavy resistance exercise protocols: Which resistance priming is more effective? The 27th European College of Sport

Science in Sevilla, Spain, 30 Aug 2022. E-poster

第 1 章 序論

第 1 節 序

多くの競技アスリートにとって、ジャンプやスプリントといったバリスティックパフォーマンスを高めることは非常に重要である¹。バリスティックパフォーマンスは、自身の身体などの質量を短時間で可能な限り加速させる能力として定義され^{2,3}、研究や現場において様々な方法を用いて評価される。特に、ジャンプパフォーマンスは直線走や方向転換走をはじめとする様々なアスレティックパフォーマンスと強く関連する能力である⁴⁻⁶。そのため、ジャンプパフォーマンスの向上はアスリートの日々のトレーニングにおいて重要な課題の一つとされている。

ジャンプパフォーマンスの向上を目指す場合、複数回のトレーニングセッションを長期間にわたって実施することで体力の慢性的な適応を引き出そうとする手法が広く用いられる⁷⁻⁹。一方、一回のトレーニングセッションによって生じる増強効果を利用して、パフォーマンスの一時的な向上を目指す手法も存在する^{1,10-16}。この一過性のパフォーマンス増強現象は「活動後パフォーマンス向上 (Postactivation Performance Enhancement: PAPE)」と呼ばれており、ジャンプをはじめとする様々な神経筋パフォーマンスにおいて、この PAPE が生じることが確認されている^{1,12}。ただし、レジスタンスエクササイズ実施後に PAPE が生じる時間帯には限りがあり、その効果は長くても 20 分以内には消失してしまう^{11,17}。このような性質を踏まえると、アスリートが試合前のウォーミングアップ等で PAPE を活用することは、時間的な制約上、困難である場合が多く、現場応用の観点からみると、PAPE を利用したコンディショニング戦略には大きな課題が存在しているといえる。

しかし、近年の研究で、低ボリュームのレジスタンスエクササイズによるパフォーマンス向上効果は 48 時間後まで生じる可能性が示唆された^{18,19}。この現

象は「遅延増強」と呼ばれ、遅延増強を目的として実施されるレジスタンスエクササイズプロトコルは「レジスタンスプライミング」と呼ばれる¹⁸。レジスタンスプライミングは、特にハイパフォーマンススポーツの現場において広く実践されており²⁰、パフォーマンス増強が期待される時間帯も比較的長いことから、前述した PAPE に関する現場的課題を克服し得る有用なコンディショニング戦略として注目を集めている。

これまでの研究では比較的筋力レベルが高いアスリートを対象として遅延増強効果が検証されてきた^{18,21,22}。しかし、筋力レベルが低い非アスリートにおいても遅延増強効果が生じるのかについては不明であり、レジスタンスプライミングがどのような対象者にとって有効な戦略となり得るのかは未だ明らかになっていない。さらに、異なるレジスタンスプライミングの効果を直接的に比較した研究も限られているため、より効果的なレジスタンスプライミングに関する科学的な知見も不足している。これらの背景を踏まえると、レジスタンスプライミングが適用可能な対象者および遅延増強効果の特性を明らかにした上で、より効果的なレジスタンスプライミングプロトコルを提示できれば、多くのアスリートや指導者にとって有益な知見となり得るだろう。また、この検討課題に取り組む上で、遅延増強効果をどのように評価するかは非常に重要な位置づけにある。そこで、本論文では多くのスポーツで重要とされるバリスティックパフォーマンスの様々な評価方法に着目しながら、遅延増強効果を多角的に評価することを試みた。

第 2 節 関連文献の考証

第 1 項 バリスティックパフォーマンスの評価方法

バリスティックパフォーマンスはジャンプ動作によって測定・評価されることが一般的^{2,3,23,24}であり、その方法には様々なものが存在する²⁵。特に、スク

ワットジャンプ（Squat Jump: SJ）とカウンタームーブメントジャンプ（Countermovement Jump: CMJ）は、バリスティックパフォーマンスの評価項目として、研究や現場で広く用いられている。SJ（図 1-1）ではハーフスクワット姿勢から反動動作を用いずに全力の垂直跳びを行う²³。一方、CMJ（図 1-2）では立位から下降動作を開始して反動動作を用いながら全力の垂直跳びを行う²³。このような動作特性から、SJは純粋な短縮性運動のみで素早く力を発揮する能力を評価するのに対し、CMJは伸張－短縮サイクル（Stretch-Shortening Cycle: SSC）運動の中で素早く力を発揮する能力を評価するものであると考えられている²³。両者のパフォーマンスは自体重でジャンプしたときの跳躍高によって評価される場合が多いが²³、近年では力－速度プロファイル（Force-Velocity Profile）を用いて評価する方法も発展してきている^{2,3,26-28}。



図 1-1. スクワットジャンプ（Squat Jump: SJ）

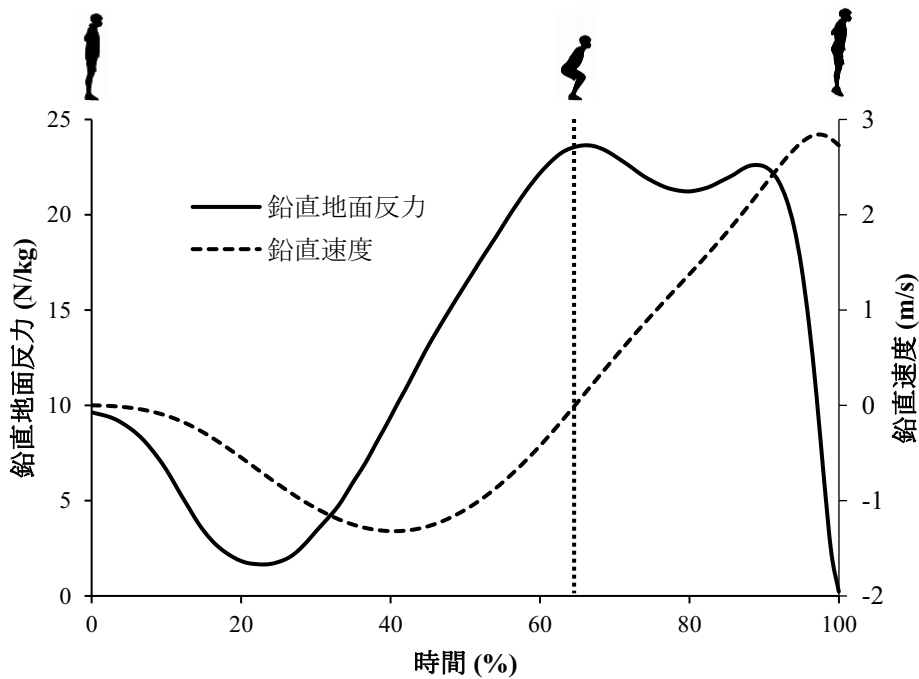


図 1-2. カウンタームーブメントジャンプ (Countermovement Jump: CMJ)

力-速度プロファイルは下肢の神経筋系における機械的な力-速度関係を把握するための評価手法である^{2,28}。測定の際は、複数の負荷条件を用いて SJ もしくは CMJ を行い、それぞれのジャンプ中に発揮された力と速度のデータに基づいて、SJ もしくは CMJ の力-速度直線が作成される^{2,3,26,28-31}。プロファイリングの結果として得られた力-速度プロフィール (図 1-3) からは、主に F_0 、 V_0 、 P_{max} 、 Sfv という変数が算出される^{26,28,31}。各変数の定義と算出方法および実践的解釈を表 1-1 に示した²⁸。特に、 F_0 、 V_0 、 P_{max} は、それぞれ低速、高速、中速度領域における力発揮能力とも解釈できることから、そのアスリートの様々な脚伸展速度における力発揮能力を把握するのに役立つ重要な変数であると考えられている^{27,28}。

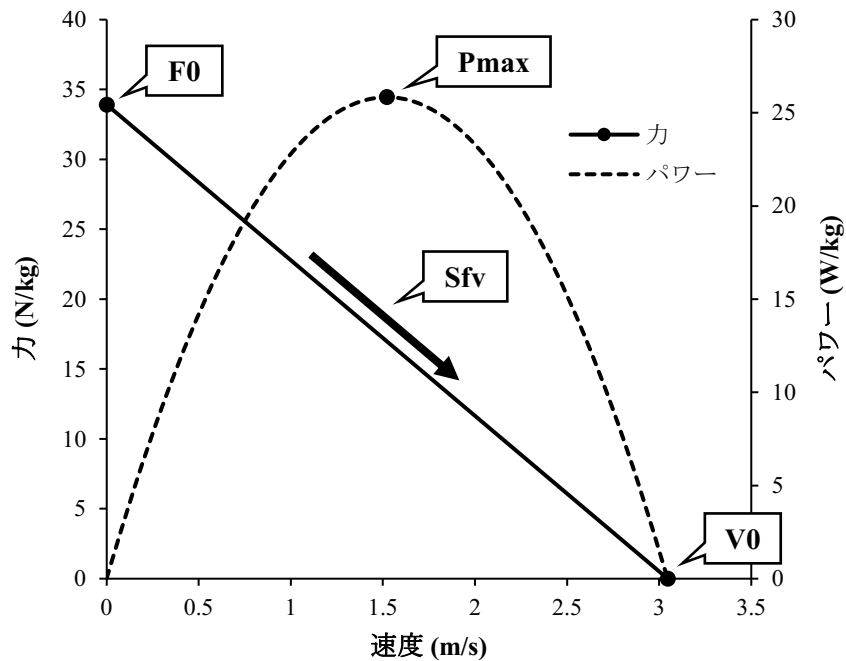


図 1-3. カー速度プロフィール

表 1-1. SJ および CMJ におけるカー速度プロフィール変数の定義と算出方法
および実践的解釈 (Morin & Samozino [2016] を基に作成)

変数	定義と算出方法	実践的解釈
F0 (N/kg)	カー速度直線から推定される下肢の理論上の最大出力(カー速度直線の y 切片)	そのアスリートの下肢がジャンプ動作において理論上発揮することができる単位体重あたりの最大短縮性出力
V0 (m/s)	カー速度直線から推定される下肢の理論上の最大速度(カー速度直線の x 切片)	そのアスリートの下肢がジャンプ動作において理論上発揮することができる最大脚伸展速度(非常に高い脚伸展速度における力発揮能力とも解釈される)
Pmax (W/kg)	機械的な最大パワー ($P_{max} = F0 \times V0/4$)	そのアスリートの下肢の神経筋系がジャンプ動作の短縮性局面において理論上発揮することができる単位体重あたりの最大パワー
Sfv (N·s/kg/m)	カー速度直線の傾き ($Sfv = -F0/V0$)	そのアスリートにおける力と速度の能力のバランスを示す指標(傾きが急であるほど、値はマイナスの方向に大きくなり、力優位のプロフィールを有していると解釈される)

加えて、ドロップジャンプ (Drop Jump: DJ) における反応筋力指数 (Reactive Strength Index: RSI) も、バリスティックパフォーマンスの評価に広く用いられ

ている²⁴。ドロップジャンプは、台から落下した直後、可能な限り短い接地時間で高い跳躍高を獲得しようとする跳躍課題である（図 1-4）^{32,33}。RSI は、ドロップジャンプにおける跳躍高を接地時間で除すことによって算出され、CMJ（>250 ms）よりもさらに高速（≤250 ms）な運動における SSC 利用能力および力発揮能力（反応筋力）を表す指標として解釈される²⁴。Jarvis ら²⁴のメタ解析では、RSI が、筋力、スピード、持久的パフォーマンスおよび方向転換スピードといった様々な身体的能力と関連することが報告されている。例えば、Furlong ら³⁴は、ラグビー選手において、30 cm の台高から実施した DJ の RSI と 30 m スプリントタイムとの間に強い相関関係（ $r = -0.685, p < 0.01$ ）が認められたと報告している。これらの知見を踏まえると、RSI はアスリートのパフォーマンス評価において重要な指標であるといえるだろう。



図 1-4. ドロップジャンプ（Drop Jump: DJ）

前述のように、バリスティックパフォーマンスには様々な評価方法が存在するが、それらの代替可能性や変数間の関連については明らかになっていない。アスリートのバリスティックパフォーマンスをより良く理解するためには、各パフォーマンス変数を適切に解釈した上で、それらにどの程度の互換性がある

のかを検証する必要があると考えられる。

第2項 レジスタンスプライミングによる遅延増強効果

アスリートは、筋力、パワー、持久力といった身体能力を向上させるために、長期的なトレーニングプログラムに取り組んでいる³⁵⁻³⁸。特に、筋力やパワーは、傷害リスクの低減³⁹に加えて、様々なスポーツパフォーマンスの改善に貢献する⁴⁰。そのため、長期的なパフォーマンス向上を目的として、バリスティックトレーニングや高負荷レジスタンストレーニングを含む様々なトレーニングが現場では実施されている⁷。これらのトレーニングは、筋力やパワーの慢性的な適応を引き出すために長期間にわたって実施されるのが一般的^{7-9,41,42}であるが、近年の研究により、低ボリュームのレジスタンストレーニング刺激が競技パフォーマンスを一時的に高める可能性があることが示唆されている^{1,43}。

パフォーマンスを一時的に向上させる戦略の一つに、PAPE を利用する方法がある^{1,13,14,44}。これは、最大努力または最大努力に近い筋力・パワー系レジスタンスエクササイズを行うことで、神経筋パフォーマンスの一時的な（通常数分間の）増強を企図するコンディショニング戦略である。PAPE 戦略は、多くのスポーツにおいて重要なジャンプやスプリントのパフォーマンスを向上させるのに有効であるが^{1,13,14,44,45}、パフォーマンスに影響を与える時間幅（増強効果の持続時間）が非常に狭いため、多くのアスリートにとって PAPE 戦略を現場で活用することは困難である。しかし、近年の研究では、低ボリュームのレジスタンスエクササイズを実施した後、最大 48 時間まで、パフォーマンス増強作用が生じる可能性が示唆されている^{18,19,43}。このような現象を初めて報告したのが Fry ら⁴⁶の研究であった。彼らは強い不安感を持つジュニアウエイトリフターに対して処方した「試合前トレーニングセッション」が 5-6 時間後のウエ

イトリフティングパフォーマンスの向上に効果的であったことを報告した。その後の先行研究^{19,22,47}においても、レジスタンスエクササイズを実施した48時間後まで、様々な神経筋パフォーマンスが一時的に向上する可能性が示されている。このような現象は「遅延増強 (Delayed Potentiation)」と呼ばれ、遅延増強を目的として実施されるレジスタンスエクササイズプロトコルは「レジスタンスプライミング (Resistance Priming)」もしくは「プライミングエクササイズ (Priming Exercise)」と呼ばれている (図 1-5)^{18,20,43}。

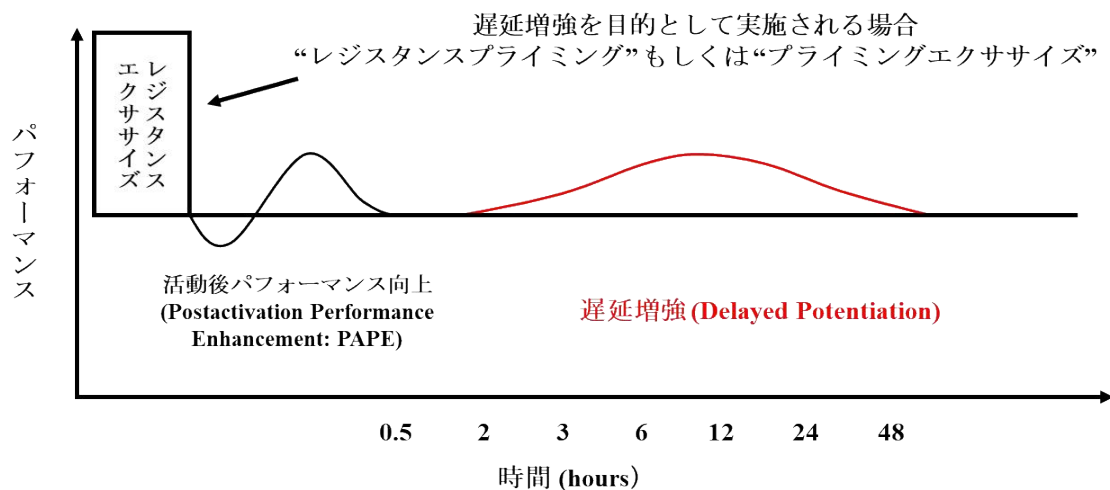


図 1-5. レジスタンスプライミングと遅延増強 (Harrison et al. [2019] を基に作成)

第 3 項 効果的なレジスタンスプライミング

神経筋パフォーマンスの改善に対する有効性が確認されているレジスタンスプライミングを表 1-2 に示した。これまでの研究によって、幅広い負荷を用いたレジスタンスプライミングが、多くの競技で重要とされるジャンプパフォーマンスの改善に有効であることが報告されている。本論文では、より効果的なレジスタンスプライミングについて検討するため、現時点でどのようなプライミングエクササイズが最も効果的であると考えられるのかについて、以下、先

行研究の考証を進めていく。

表 1-2. 神経筋パフォーマンスの改善に効果的なレジスタンスプライミング (Harrison et al. [2019] および Holmberg et al. [2022] を基に作成)

負荷	エクササイズタスク	総負荷量	遅延増強タイミング	改善したパフォーマンス
高負荷 (≥85% 1RM)	クリーンズブル & スナッチプル	2040 AU	5-6 時間後	ジャンプ、クリーン & ジャーク、スナッチ
	バックスクワット & パワークリーン		4-6 時間後	バックワードオーバヘッドショットスロー
	バックスクワット & ベンチプレス	2286 AU	6 時間後	ジャンプ、スプリント、上肢と下肢の筋力
	バックスクワット	780-1190 AU	6, 8 時間後	ジャンプ
中負荷 (~65% 1RM)	バック & フロントスクワット、ニーエクステンション	2340 AU	33 時間後	ジャンプ
	バックスクワット	780 AU	32 時間後	ジャンプ
低負荷 (≤45% 1RM)	ジャンプスクワット	800 AU	6, 24, 48 時間後	ジャンプ、等尺性レッグプレス RFD
	可変抵抗ベンチプレス (バンド負荷)	560 AU	1 時間 45 分後	上肢のパワー

RM, repetition maximum; AU, arbitrary unit (sets × repetitions × % 1RM); RFD, rate of force development

PAPE もしくは遅延増強を引き起こそうとする場合、事前に行われるレジスタンスエクササイズで、高い筋活動および高閾値な運動単位の動員を生じさせることがパフォーマンス向上に対して重要な刺激となることが示唆されている^{18,21,43,48,49}。例えば、Fukutani ら⁴⁹は、高重量のスクワットエクササイズが、中重量の場合と比較して、ジャンプパフォーマンスに対してより大きな PAPE を生じさせたことを報告している。また、Saez Saez de Villarreal ら²¹は、高重量のハーフスクワットエクササイズが 6 時間後のジャンプパフォーマンス改善に効果的であった一方、低重量のハーフスクワットエクササイズは 6 時間後のジャンプパフォーマンスを改善させなかったことを報告している。運動強度が高まるほど高閾値な運動単位が動員されやすくなることを踏まえると⁵⁰、高重量を用いた伝統的なレジスタンスエクササイズ（例：バックスクワット）は、最も効果的なレジスタンスプライミングの一つとなる可能性が考えられる。

高閾値な運動単位の動員を促す方法として、バリスティックエクササイズを用いることも有効な選択肢の一つであると考えられている^{16,51}。バリスティックエクササイズでは、可動域全体を通して最大努力で質量を加速し続けるため、より大きな出力や筋活動が引き出される^{16,51}。Newton ら⁵¹は、バリスティックエクササイズ（ベンチスロー）中の筋電図の平均振幅が非バリスティックエクササイズ（ベンチプレス）のものと比較して有意に高かったことを報告している。このことから、バリスティックエクササイズであれば、外的負荷が低かったとしても、高重量を用いた伝統的なレジスタンスエクササイズと同等の事前刺激を得られる可能性が考えられる。実際に、Tsoukos ら¹⁹は、40% 1RM のジャンプスクワットエクササイズが 24 時間後のジャンプパフォーマンス改善に効果的であったことを報告している。ただし、このようなバリスティックエクササイズ（ジャンプスクワット）では、自身の身体が空中に投射されるため、伝統的なエクササイズ（バックスクワット）とは異なり、着地動作が生じる⁵²。

高い外的負荷を伴った着地動作では、下肢や体幹に対して大きな着地衝撃が加わるため、バリスティックエクササイズで高重量を用いることは傷害リスクの観点から推奨されない^{52,53}。着地時の衝撃を緩和する特殊な機材⁵⁴を用いれば、高負荷であっても安全にバリスティックエクササイズを実施することは可能であるが、機材のコストや環境的な問題を考慮すると、現場において、レジスタンスプライミングとしてバリスティックエクササイズを実施する場合は低負荷（例： $\leq 45\%$ 1RM）を用いるのが現実的な負荷設定となるだろう。

中負荷のレジスタンスエクササイズを用いた場合でも遅延増強は生じるようだが、そのような可能性を示唆する報告は現時点で2件に限られている^{22,55}。この2件の研究では32時間後⁵⁵および33時間後²²における遅延増強が確認されたが、どちらも中負荷レジスタンスプライミング単独の効果については明らかになっていない。前者のHarrisonら⁵⁵の研究では、レジスタンスエクササイズを実施しなかったコントロール条件においても、中負荷レジスタンスプライミング条件と同様に32時間後の遅延増強が観察されており、条件間における遅延増強効果の比較が行われていなかった。また、後者のRaastad & Hallén²²の研究では、レジスタンスエクササイズを実施しないコントロール条件において、ジャンプパフォーマンスの変化が32時間後まで調査されておらず、中負荷レジスタンスプライミング以外（パフォーマンス測定など）の刺激によって遅延増強が生じた可能性を否定できない。このように、中負荷レジスタンスプライミングの効果については、強い科学的根拠が確立されていないというのが現状である。また、中負荷を使用する場合、バリスティックな動作様式を選択することは、前述した着地衝撃による傷害リスクの観点から困難である場合が多い。実際、上記の2件の研究^{22,55}でも非バリスティックエクササイズが介入試技として採用されていた。さらに、動作様式は非バリスティックのままで高負荷と同等の筋活動を中負荷で引き出す方法として、セット中の反復回数を増やす(努

力度 [level of effort] を高める) ことも想定される⁵⁶が、反復回数の多いエクササイズプロトコルではその後の神経筋疲労や筋ダメージを増大させてしまう可能性が高い⁵⁷。これらの背景を踏まえると、中負荷を用いたエクササイズが、最適なレジスタンスプライミングとなる可能性は比較的低いと考えられる。

加えて、レジスタンスプライミングにおいては、高めたいパフォーマンスに対して特異的な動作パターンを選択することの重要性が示唆されている^{18,43,58,59}。Russell ら⁵⁸は、午前中に上肢のレジスタンスエクササイズ（ベンチプレス）を実施しても、当日の午後における下肢のパフォーマンス（CMJの跳躍高）は改善しなかったことを報告した。また、これまでの研究（表 1-2）を俯瞰すると、下肢のプライミングエクササイズを実施した後は下肢のパフォーマンスにおいて遅延増強が生じ、上肢のプライミングエクササイズを実施した後は上肢のパフォーマンスにおいて遅延増強が生じる傾向がみられる。さらに、多くのスポーツで重要となるジャンプパフォーマンスの改善を目的とする場合、高負荷ではバックスクワット、低負荷ではジャンプスクワットをプライミングエクササイズとして用いるのが効果的なようである。

以上の内容を踏まえると、高負荷のバックスクワットもしくは低負荷のジャンプスクワットがジャンプパフォーマンスの向上に最も効果的なレジスタンスプライミングになり得ると推察される。実際に、Harrison ら¹⁸の総説においても、高負荷の伝統的なレジスタンスエクササイズもしくは低負荷のバリスティックエクササイズが最も効果的なプライミングエクササイズである可能性が示唆されている。しかし、どちらのレジスタンスプライミングがより効果的なプロトコルなのかについては明らかにされていない。スポーツ現場で適切なレジスタンスプライミングを実践するためには、より効果的なエクササイズプロトコルについて検討していくことが求められるだろう。

第4項 レジスタンスプライミングの現状と課題

近年、ハイパフォーマンスアスリートに携わっている指導者を対象に実施されたオンライン調査では、51%の指導者が現場においてレジスタンスプライミングを処方していることが報告されている²⁰。それらの指導者が実際に現場でアスリートに処方しているレジスタンスプライミングを表1-3に示した。スポーツ現場で実践されているレジスタンスプライミング戦略は、エクササイズ選択や使用負荷などの点で多岐にわたっており、特定のプロトコルのみが実践されているわけではないことが分かる²⁰。このように幅広いレジスタンスプライミング戦略が現場で用いられている要因として、異なるレジスタンスプライミングによる遅延増強効果を直接的に比較した科学的知見が不足していることが指摘されている²⁰。加えて、これまでの研究では、対象者が比較的筋力レベルの高いアスリートに限定されており、レジスタンスプライミングの適用範囲やリスクに関する十分な言及がなされていなかった。また、近年では力-速度プロフィールを含めた様々なバリスティックパフォーマンスの評価方法が発展してきているが、それらを用いて遅延増強効果を多角的に評価した研究も見当たらない。そのため、レジスタンスプライミングの適用範囲を明示しつつ、遅延増強効果の特性を詳細に検討することが求められるであろう。これらを踏まえた上で、パフォーマンスの向上に効果的なプロトコルを示すことができれば、より適切なレジスタンスプライミング戦略の選択が可能になると考えられる。

表 1-3. 現場で実践されているレジスタンスプライミング（Harrison et al. [2020] を基に作成）

下肢のプライミングエクササイズ		
エクササイズボリューム	ボリューム変数	平均値 ± 標準偏差
	エクササイズ数	2.5 ± 0.7
	セット数	2.7 ± 0.9
	回数	3.8 ± 1.3
エクササイズ選択	エクササイズ	%
	無負荷ジャンプ	87%
	荷重ジャンプ	60%
	パーシャルスクワット	41%
	フルスクワット	18%
	オリンピックリフト系	11%
	その他	18%
負荷	エクササイズ	%
	≥85%	22%
	70–84%	36%
	50–69%	36%
	30–49%	24%
	<30%	29%
	バンド抵抗	62%
	無負荷	62%
バンド補助	33%	
動作速度	主観的な動作意図	%
	低速度	2%
	中速度	13%
	高速度	46%
	最大速度	75%
休憩時間	時間（hours）	%
	0–8	59%
	9–16	11%
	17–24	13%
	25–32	13%
>32	4%	
セッション時間	時間（minutes）	%
	<15	34%
	15–30	59%
	31–45	7%

第3節 本論文の目的と構成

先行研究から、レジスタンスプライミングは、試合当日における競技パフォーマンス（特にバリスティックパフォーマンス）の向上を企図する指導者やアスリートにとって、既存の現場的課題を克服することができる有用なコンディショニング戦略になり得ると考えられる。しかし、これまでの研究では遅延増強効果の特性に関する検討が十分になされておらず、現場で適切なレジスタンスプライミングを選択することが困難な状況となっている。遅延増強効果にどのような特性があるのかを明らかにし、より効果的なレジスタンスプライミングプロトコルを提示することができれば、試合当日のパフォーマンス向上を目指す多くの実践者にとって有益な知見となり得るだろう。

したがって、本論文の目的は、多くの競技で求められる下肢のバリスティックパフォーマンスを向上させるための、より効果的なレジスタンスプライミングプロトコルを提示することであった。

レジスタンスプライミングに関する先行研究から抽出される主な課題として、① バリスティックパフォーマンスにおける遅延増強効果を多角的な観点から評価していなかったこと、② 被験者特性による遅延増強効果の違いが明らかになっていなかったことがあげられる。これらを踏まえて、本論文では、バリスティックパフォーマンスの多角のおよび特異的な評価の必要性について検討することとした。また、効果的なレジスタンスプライミングプロトコルについて検証するためには、遅延増強効果がどのような対象者において生じやすいのかを事前に把握しておく必要がある。遅延増強と類似したメカニズムが想定されている PAPE の先行研究^{1,60}を踏まえると、特に対象者の筋力レベルが遅延増強効果の発生に影響を与える大きな要因になることが想定された。

そこで本論文は、第2章『バリスティックパフォーマンスの特異性』、第3章『筋力レベルがレジスタンスプライミングによるパフォーマンス向上効果に与

える影響』、第 4 章『バリスティックエクササイズおよび高負荷エクササイズプロトコルの比較：どちらがより効果的なレジスタンスプライミングか？』の 3 つの研究、第 5 章の総括論議および第 6 章の結論で構成された。第 2 章、第 3 章および第 4 章の研究内容の概略は下記の通りである。

「第 2 章 バリスティックパフォーマンスの特異性」

遅延増強効果の評価を行うにあたって、様々なバリスティックパフォーマンスを特異的かつ個別に評価することの必要性を予備的に検討した。

「第 3 章 筋力レベルがレジスタンスプライミングによるパフォーマンス向上効果に与える影響」

対象者の筋力レベルがバリスティックパフォーマンスの遅延増強効果に与える影響を検証した。加えて、遅延増強効果の特性をより詳細に把握するため、様々なジャンプパフォーマンスを測定し、カー速度プロファイルを含めた多角的な観点からパフォーマンスの変化を評価した。

「第 4 章 バリスティックエクササイズおよび高負荷エクササイズプロトコルの比較：どちらがより効果的なレジスタンスプライミングか？」

先行研究で示唆されている効果的なレジスタンスプライミング（バリスティックエクササイズ vs. 高負荷レジスタンスエクササイズ）のうち、どちらがより効果的なプロトコルになり得るかを検討した。

本研究では 24 時間後の遅延増強効果について検討を行った。表 1-3 で示した通り、レジスタンスプライミングは試合当日の午前（6 時間前など）に実施されることが多いようだが、試合の前日（24 時間前など）に行われるケースも一定数存在する²⁰。しかし、本研究開始時点で 24 時間後の遅延増強効果を報告した研究は 1 件¹⁹しか見当たらず、試合前日のレジスタンスプライミングに関する科学的な知見は明らかに不足していた。また、神経筋パフォーマンスには日

内変動が存在するため、一日における測定の時間帯が異なると、パフォーマンスにも変化が生じる可能性が示唆されている⁶¹。24時間後の遅延増強効果を測定する場合には日内変動の影響を排除できるため、より正確にレジスタンスブライミングの効果を検討することが可能になると考えられる。これらの理由から、本研究では24時間後の遅延増強効果について検討を行うこととした。

第2章 バリスティックパフォーマンスの特異性

第1節 緒言

ジャンプパフォーマンスは、スプリントや方向転換走といったあらゆるアスレティックパフォーマンスと関連する重要な要素であり^{4,5}、SSCを用いずに行うSJの跳躍高もしくはSSCを用いて行うCMJの跳躍高によって評価されるのが一般的である²³。SJとCMJのパフォーマンス測定は自重ジャンプで実施されることが多いが²³、自重という単一負荷条件のみでは限られた速度領域における力発揮能力しか評価できない⁶²。そこで、近年では複数の負荷条件で実施された垂直跳びパフォーマンスの結果を用いて、そのアスリートのカー速度関係全体の特性を把握しようとする評価アプローチ（カー速度プロファイル）が進展してきている^{2,3,28,30}。カー速度プロファイルはSJを用いて実施される場合と、CMJを用いて実施される場合があり、両者のプロファイルによって得られた結果はそれぞれ異なる評価指標として扱われる²⁶。SJのカー速度プロフィールとCMJのカー速度プロフィールを同時に測定した先行研究はいくつか存在するが^{26,63}、両プロフィール間の相関関係については調査されていない。また、DJRSIも様々なスポーツパフォーマンスと関連する重要な評価指標であるが²⁴、DJRSIとSJおよびCMJのカー速度プロフィールとの関連についてもまだ明らかにされていない。

そこで本研究では、様々なバリスティックパフォーマンス指標（SJおよびCMJのカー速度プロフィールとDJRSI）の関連を調査することを目的とした。先行研究^{23,32}では、SJ、CMJおよびDJの生体力学的な特性はそれぞれ異なることが示唆されている。これらの知見を踏まえ、① SJのカー速度プロフィール、② CMJのカー速度プロフィール、③ DJRSIは、それぞれ互いに関連しない指標であるという仮説を立てた。

第 2 節 方法

実験デザイン

この横断的研究は 2 日間にわたって行われた。1 日目は、2 日目に行う実験試行に慣れさせ、各参加者の至適落下高と HSQ 1RM を決定するための予備計測を行った。2 日目は、ジャンプパフォーマンス（0%および 40% 1RM SJ、0%および 40% 1RM CMJ、至適落下高からの DJ）を評価し、SJ および CMJ から得られる力-速度プロフィールの変数（F0、V0、Pmax、SFv）と DJRSI を算出した。本測定は 72-144 時間の間隔をあけて実施された。

被験者

ジャンプパフォーマンスの相関分析に必要な被験者数(変数間の相関係数 0.6 を想定) を決定するためにサンプルサイズ計算 (G*Power, version 3.1.9.4, Dusseldorf, Germany) を実施した⁶⁴。有意水準 0.05、検出力 0.80 とした場合、この相関分析には 17 人の被験者が必要であった。この結果にしたがって、20 名のレジスタンストレーニング経験のある男性（野球選手: $n = 7$; アメリカンフットボール選手: $n = 4$; バスケットボール選手: $n = 3$; その他のスポーツ選手: $n = 6$) (age: 22.4 ± 1.5 , height: 172.2 ± 5.0 cm, body mass: 71.3 ± 7.4 kg, HSQ 1RM: 142.5 ± 28.4 kg, mean \pm SD) が本研究に参加した。参加者は 11.6 ± 3.7 年の競技歴と 4.3 ± 2.4 年のレジスタンストレーニング経験を持ち、実験に支障が出るような筋骨格系の疼痛や傷害は有していなかった。交絡因子の影響を最小化するために、実験前に睡眠と食事に関する指示を参加者に与えた。各試験セッションの前夜、参加者は通常の睡眠習慣を維持し、最低 7 時間の睡眠をとるよう指示された。調査期間中、参加者は覚醒を促進または損なう可能性のある既知の刺激物（カフェインなど）または抑制物（アルコールなど）の摂取を控えるよう求められた。さらに、参加者は、研究前日および研究期間中、習慣的

な身体活動レベルを維持し、激しい運動を避けるよう指示された。参加希望者には、研究の目的、手順、危険性、利益を説明した後、参加前に書面によるインフォームド・コンセントを取得した。本研究は、早稲田大学学術研究倫理審査委員会の承認を得て実施された（承認番号：2020-267）。

練習セッションおよび事前測定

本測定の 72-144 時間前に、SJ（無負荷および荷重条件）、CMJ（無負荷および荷重条件）、20, 40, 60 cm からの DJ、40%推定 1RM のジャンプスクワットの練習を実施した。さらに、20, 40, 60 cm からの DJ を十分な休息（60-90 秒）をとりながら 3 回繰り返し行い、本実験で使用するその個人の至適落下高を決定した。至適落下高は、RSI（= DJ 高 / 接地時間）が最大となる高さとして定義した。この方法は、神経筋の適応を最大化する上で、個々に最適な落下高を特定することが重要であることを強調した知見に基づいて実施された^{65,66}。3 分間の休息後、各被験者のハーフスクワット 1RM を測定した。ハーフスクワットの筋力はジャンプのパフォーマンスと強い相関があるため⁶⁷、膝関節角度 90°における下肢の最大筋力を測定した。ハーフスクワット 1RM は、ウォーミングアップセット（推定 1RM の 30%で 5 回、推定 1RM の 50%で 3 回、推定 1RM の 70%で 2 回、推定 1RM の 90%で 1 回）を 3 分おきに行い、その後 1RM 値が得られるまで最大挙上試行を繰り返し行った。ハーフスクワットの下降動作は、膝関節角度 90°の大腿後面で光電管が遮断され、ビーブ音で判定される最下点まで行った。ハーフスクワットエクササイズ的最下点における膝関節角度は、スマートフォンのビデオカメラ（iPhone 7, Apple Inc, Cupertino, CA）を用いて 240 Hz で測定した。得られたデータに対して、Kinovea Video Analysis Software（v. 0.8.15）を用いて二次元動作解析を行った。膝関節角度は、大転子、大腿骨外側上顆、外側踝に取り付けた反射マーカを用いてデジ

タイズすることにより算出した。大転子と大腿骨外側上顆を結ぶ線、および大腿骨外側上顆と外側踝を結ぶ線がなす角度を膝関節角度と定義した。被験者が膝関節角度 90°未満に達しなかった試行は、解析から除外した。

SJ、CMJ および DJ パフォーマンスの測定

SJ と CMJ に関して、0% 1RM では 0.1 kg のプラスチック製のバーを担ぎ、40% 1RM では 20 kg のバーにウエイトプレートを装着してジャンプを実施した。SJ の測定において、被験者は前述したビープ音で指示された膝関節角度でハーフスクワットの姿勢をとり、その姿勢を 2 秒間保持した。その後、反動動作は行わず、できるだけ高くジャンプするよう指示された。このとき、フォースプレートから得られる波形データを確認し、反動動作がないことを確認した。CMJ の測定においては、下降動作を SJ と同じ深さまで行うこと、反動動作をできるだけ速く行うこと、できるだけ高く跳ぶことを被験者に指示した。DJ については、設定した高さの木箱から重心を上げずに踏み切り、両脚でフォースプレートに着地することを指示した。また、接地時間を最小限に抑えながら、接地直後にできるだけ高く跳ぶよう指示した。着地と離陸の際、両手は腰にあてて、体をまっすぐにするよう指示した。また、着地時はフォースプレート上に戻るよう指示した。

測定機材およびデータ分析

全てのジャンプ (SJ、CMJ および DJ) は 1 台のフォースプレート (0625, ACP, AccuPower; AMTI, Watertown, MA) 上で行い、アナログ・デジタル変換器 (EIRBZ22002369; CONTEC Co Ltd, Osaka, Japan) により 1000 Hz で鉛直地面反力データを取得し、パーソナルコンピュータに記録した。フォースプレートからの信号は 50 Hz のローパス⁶⁸、ゼロ位相ラグ有限インパルス応答フィ

ルターでフィルタリングした。SJ と CMJ を実施する前に、被験者に外的負荷を担がせた状態で 3 秒間体重を測定し、システム総重量（体重と外的負荷の合計）を決定した。鉛直方向の地面反力が閾値（システム総重量 ± 5 SD）を超える 30 ms 前の時点ジャンプ動作の開始とした⁶⁹。各ジャンプにおけるシステム質量中心に関して、加速度は正味の鉛直地面反力から算出し、速度は台形法則⁷⁰により算出した。また、速度を積分して変位を求めた。パワーは、その時点における鉛直地面反力に速度を乗じた値として算出した。速度が 0 m/s を下回った瞬間を下降局面の開始と定義した。上昇局面の開始は、下降局面の開始後、システム質量中心の速度が 0 m/s を超えた瞬間とした。また、上昇局面の終了は、上昇局面開始後、鉛直地面反力が 20 N 以下になった瞬間とした。DJ は、鉛直地面反力が閾値（20 N）を超えた時点と下回った時点を接地および離陸とした。DJ の跳躍高は滞空時間法^{19,29}を用いて求めた。

SJ と CMJ の力-速度プロファイリングでは、Samozino ら²⁹と Jiménez-Reyes ら³¹が検証した式を用いて、プッシュオフ局面（CON 局面）の下肢の平均鉛直地面反力およびそれに対応する平均鉛直速度を決定した。Samozino の等式²⁹に代入されたシステム総重量、プッシュオフ距離、跳躍高のデータは、鉛直地面反力から導出した。プッシュオフ距離は、CON 局面開始から終了までの鉛直変位の距離とした。跳躍高は、離陸速度⁷⁰から算出した。2 種類の負荷条件（0% 1RM および 40% 1RM）で得られた力と速度のデータを、最小二乗線形回帰モデルを用いてモデル化し、力-速度プロフィールを決定した。 $F(V) = F_0 - aV$ ：ここでの F_0 は理論上の最大出力（力軸の切片）、 V_0 は力-速度直線の傾き（ $S_{fv} = -F_0/V_0$ ）に対応する理論上の最大速度（速度軸の切片）である^{2,3,28}（詳細は図 1-3 および表 1-1 を参照）。プッシュオフ距離に関しては 0% 1RM および 40% 1RM における平均値を解析に使用した。理論上の最大パワー（ P_{max} ）は、 $P_{max} = F_0 \cdot V_0 / 4$ として算出された。上記の 2 点法

は、パフォーマンス測定による刺激と疲労を最小限に抑えるために使用された⁷¹。2点法の妥当性および信頼性が高いことは、García-Ramos ら⁷²によって示されている。

統計解析

データの正規性は Shapiro–Wilk 検定を用いて評価した。各変数の試行内信頼性は、試験セッションにおける最大値と2番目の値を用いて算出した⁷³。級内相関係数 (ICC; two-way mixed effects, absolute agreement, and single rater/measurement)⁷⁴と変動係数(CV)を算出した。相関の強さは、ICCが ≤0.20、0.21–0.40、0.41–0.60、0.61–0.80、≥0.81で、それぞれ slight、fair、moderate、substantial、almost perfect と解釈し⁷⁵、10%以下の CV は acceptable と解釈した⁷⁶。変数間の関係は、ピアソンの相関検定 (r)、もしくは、正規分布が確認されなかった場合、スピアマンの相関検定 (ρ) を用いて検定した (0.0–0.1 : no association、0.1–0.4 : weak association、0.4–0.6 : moderate association、0.6–0.8 : strong association、>0.8 : very strong association)⁷⁷。統計解析は SPSS (IBM SPSS Statistics Version 27) を用いて行い、有意水準は $p \leq 0.05$ とした。

第3節 結果

ジャンプパフォーマンスおよびカー速度プロフィール変数の ICC は almost perfect な信頼性を示し、全ての CV は acceptable であった (表 2-1)。DJ RSI は SJ および CMJ の跳躍高およびカー速度プロフィール変数と有意な相関関係を示さなかった (図 2-1、2-2)。無負荷の SJ 高と CMJ 高との間には有意な正の相関関係が認められた (図 2-3)。SJ F0 と CMJ F0、SJ Pmax と CMJ Pmax との間には有意な正の相関関係が認められたが、SJ V0 と CMJ V0、SJ Sfv と CMJ Sfv との間には有意な相関関係は認められなかった (図 2-3)。

表 2-1. ジャンプパフォーマンスとカー速度プロフィール変数の記述統計量および信頼性（ノンパラメトリックデータに関しては中央値と四分位範囲を記載）

	Mean or Median	SD or IQR	ICC (95% CI)	CV (%)
Unloaded SJ height (m)	0.35	0.04	0.918 (0.398–0.978)	2.14
Unloaded CMJ height (m)	0.38	0.04	0.959 (0.398–0.990)	1.22
DJ RSI (m/s)	1.46	0.29	0.920 (0.122–0.981)	5.51
SJ F0 (N/kg)	36.56	5.67	0.844 (0.543–0.942)	2.77
SJ V0 (m/s) *	2.57	0.69	0.877 (0.717–0.949)	5.20
SJ Pmax (W/kg) *	24.29	2.41	0.899 (0.714–0.962)	2.96
SJ Sfv (N·s/kg/m)	-14.23	4.90	0.861 (0.669–0.943)	8.80
CMJ F0 (N/kg)	36.33	4.21	0.932 (0.803–0.974)	2.20
CMJ V0 (m/s)	2.78	0.33	0.890 (0.744–0.955)	2.86
CMJ Pmax (W/kg)	25.06	2.50	0.928 (0.714–0.976)	2.07
CMJ Sfv (N·s/kg/m) *	-12.70	3.67	0.925 (0.825–0.970)	4.89

IQR, 四分位範囲; ICC, 級内相関係数; CI, 信頼区間; CV, 変動係数; SJ, スクワットジャンプ; CMJ, カウンタームーブメントジャンプ; DJ, ドロップジャンプ; RSI, 反応筋力指数; F0, 理論上の最大出力; V0, 理論上の最大速度; Pmax, 理論上の最大パワー; Sfv, カー速度直線の傾き, * ノンパラメトリックデータ

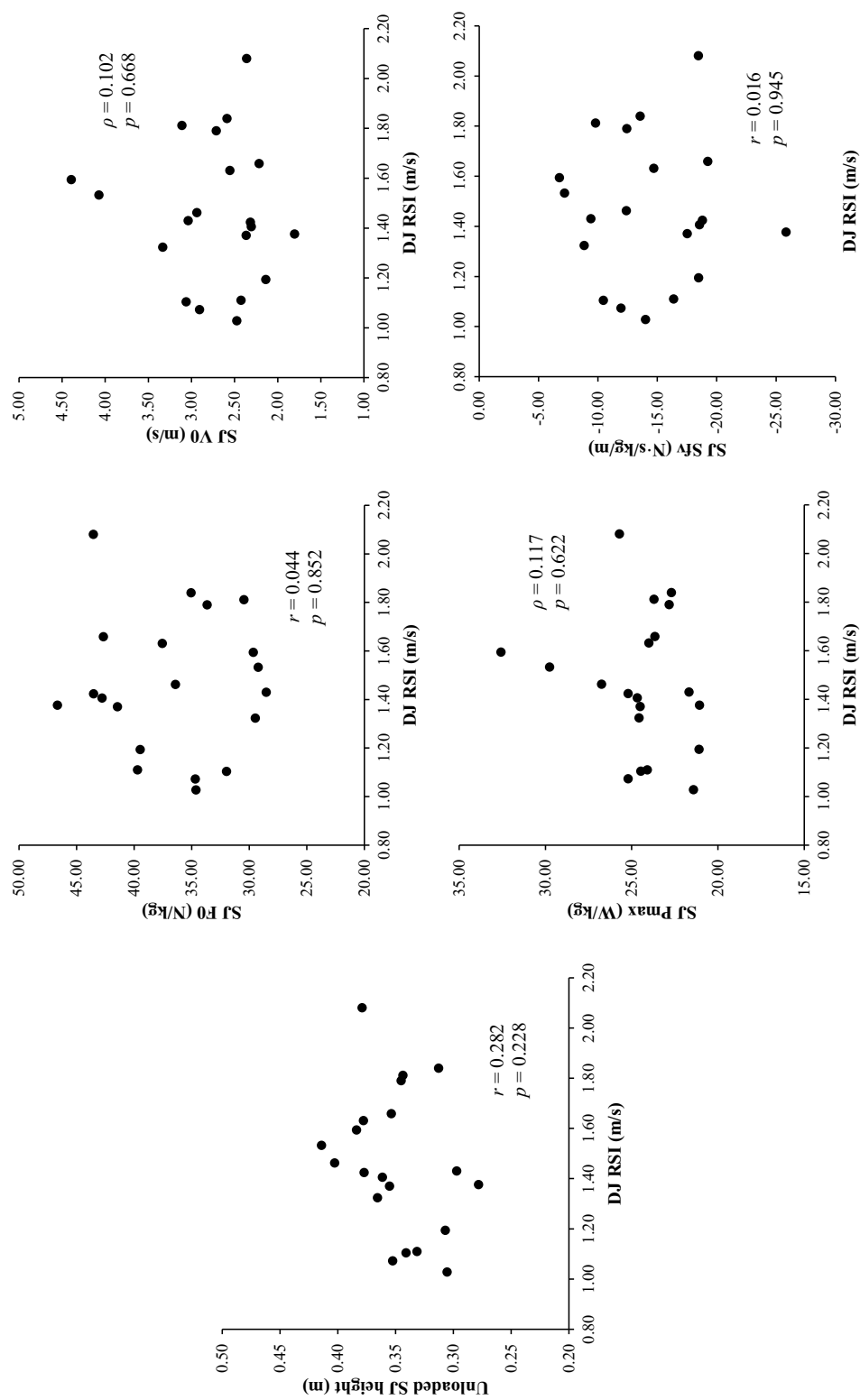


図 2-1. DJ RSI と SJ の跳躍高およびカー速度プロファイル変数との関係。F0, 理論上の最大出力; V0, 理論上の最大速度; Pmax, 理論上の最大パワー; Sfv, カー速度直線の傾き

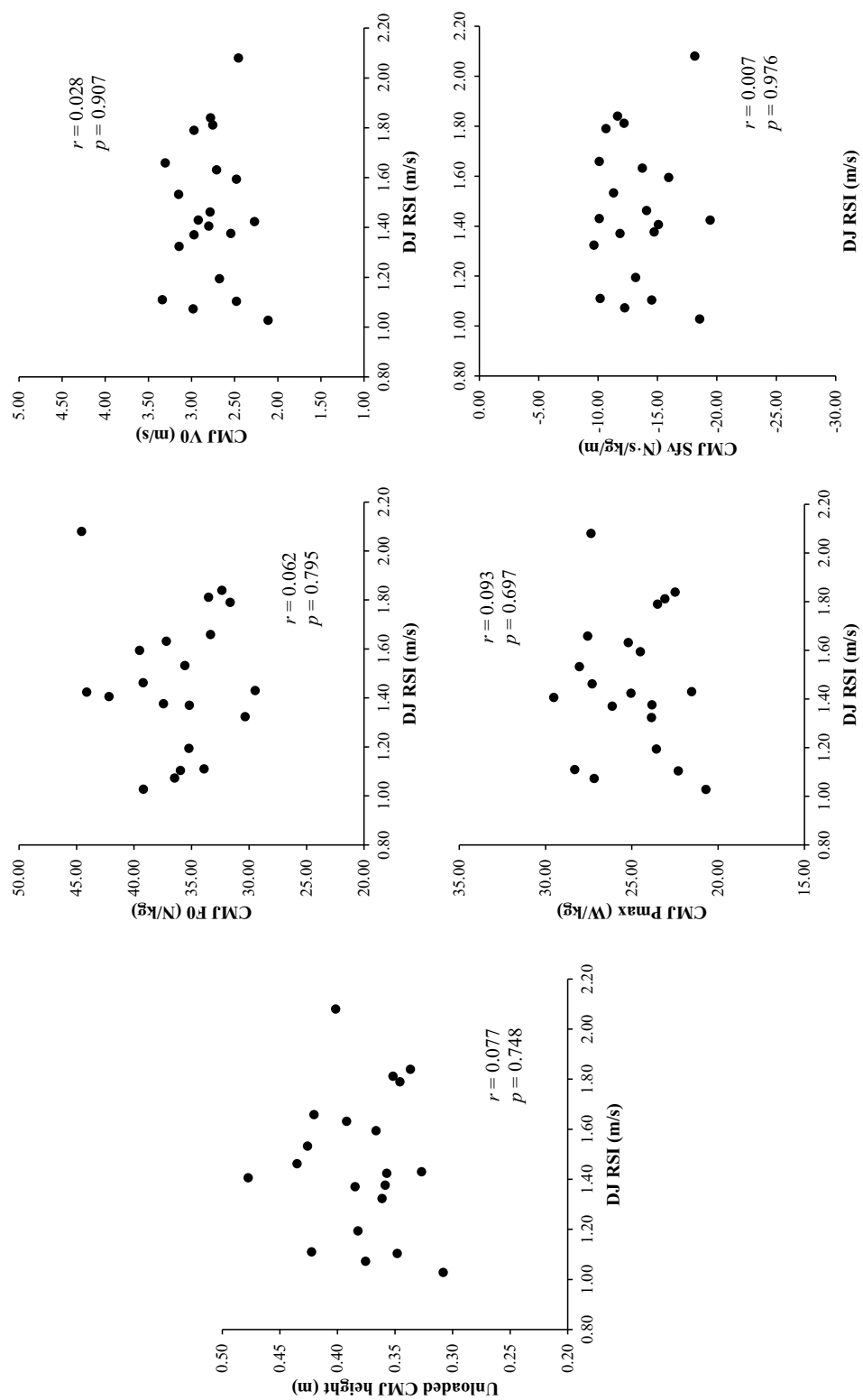


図 2-2. DJ RSI と CMJ の跳躍高および力-速度プロファイル変数との関係。F0, 理論上の最大出力; V0, 理論上の最大速度; Pmax, 理論上の最大パワー; Sfv, 力-速度直線の傾き

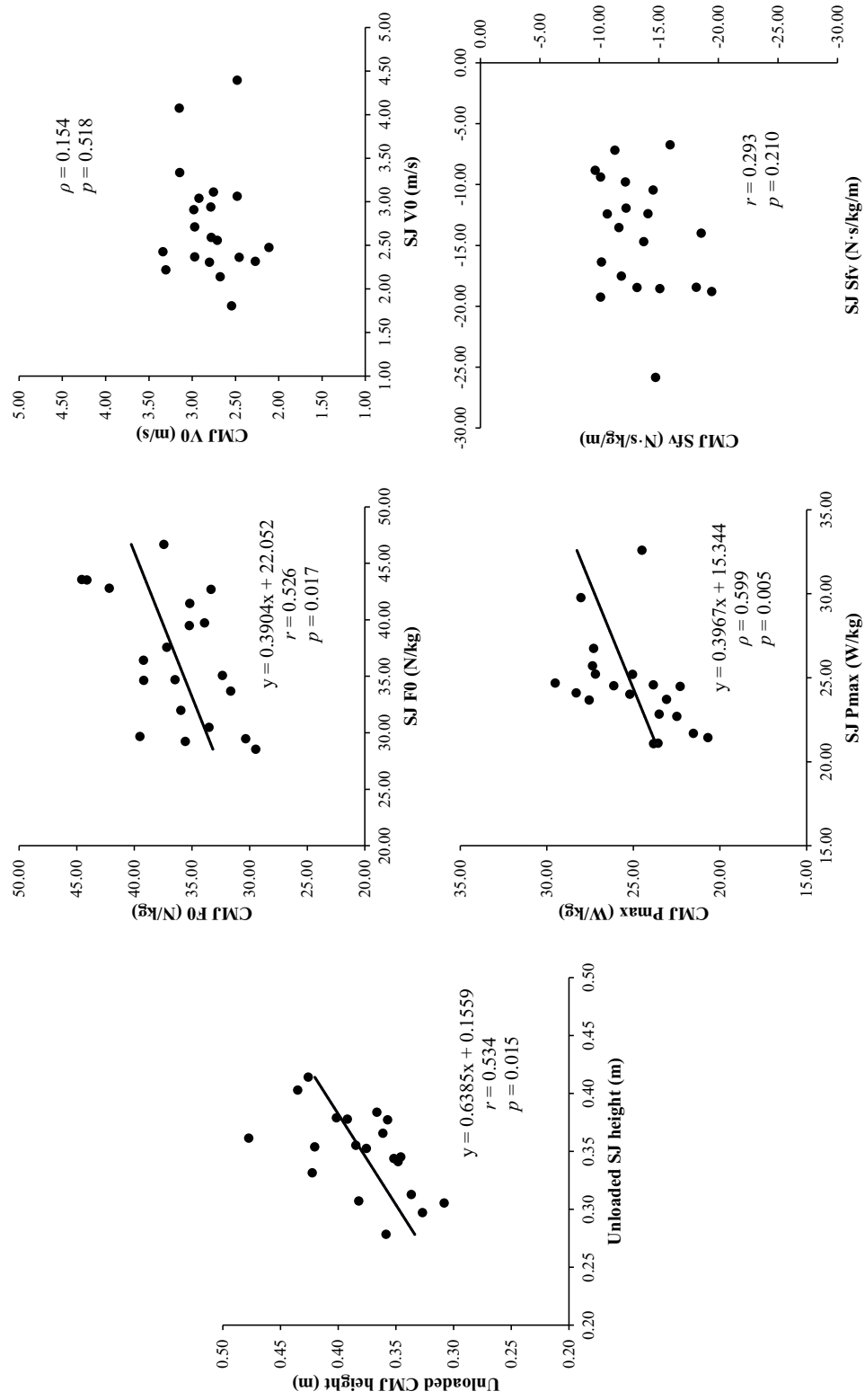


図 2-3. SJ の跳躍高および力-速度プロファイル変数と CMJ の跳躍高および力-速度プロファイル変数との関係。F0, 理論上の最大出力; V0, 理論上の最大速度; Pmax, 理論上の最大パワー; Sfv, 力-速度直線の傾き

第4節 考察

本研究では、SJのカー速度プロフィール、CMJのカー速度プロフィール、DJ RSIを測定し、各指標が互いに関連するかどうかを調査した。その結果、DJ RSIとSJおよびCMJのカー速度プロフィール変数（F0、V0、Pmax、Sfv）との間に有意な相関関係は認められず、SJのカー速度プロフィールとCMJのカー速度プロフィールはV0とSfvにおいて有意な相関関係を示さなかった。これらの知見は、SJのカー速度プロフィール、CMJのカー速度プロフィール、DJ RSIをそれぞれ独立して評価する必要があることを示唆している。

DJのRSIはSJとCMJの跳躍高およびカー速度プロフィールのどの変数とも有意な相関関係が認められなかった（図2-1、2-2）が、これはそれぞれのジャンプの生体力学的特性が異なることに起因していると考えられる。DJはSSCを用いるが³²、SJは短縮性運動単独の動きを用いる²³。DJとCMJについて、Bobbertら³²は、膝関節と足関節のモーメントとパワーはCMJよりもDJの方が大きな値を示し、股関節のモーメントはDJよりもCMJの方が大きな値を示すことを明らかにした。また、DJは速いSSC^{32,33}、CMJは遅いSSC^{23,78}を使用するため、SSCの速度もDJとCMJで異なる。これらのことから、DJのRSIやSJとCMJの跳躍高およびカー速度プロフィールは、それぞれ異なる身体能力を反映するパフォーマンス指標として解釈されるべきであると考えられる。

SJのカー速度プロフィールとCMJのカー速度プロフィールは、F0とPmaxにおいては有意な正の相関関係を示したが、V0とSfvにおいては有意な相関関係を示さなかった（図2-3）。これらの結果はSSC利用能力もしくはマッスルスラック除去能力によって説明される可能性がある。一般的に、CMJの跳躍高はSJの跳躍高よりも高くなる^{23,79}。この跳躍高の差分はCMJにおけるSSC利用能力もしくはSJにおけるマッスルスラック除去能力によって生じる^{26,80,81}と考えられており、どちらの能力も軽負荷の（高速な）ジャンプ動作において、

その影響があらわれやすい。例えば、SSC 利用による力発揮増強効果は高速な動作であるほど大きくなり⁸²、SJ 開始時のマッスルスラックは軽負荷であるほど大きくなる⁸⁰。これらの知見より、カー速度プロフィールの高速領域 (V0) においては SSC 利用能力およびマッスルスラック除去能力の個人差が生じやすい可能性が考えられる。このことが SJ と CMJ の V0 における無相関の原因となり、その結果として Sfv における無相関も生じたと考えるのが妥当であろう。

第 5 節 結論

本研究の結果から、DJ RSI は SJ および CMJ のカー速度プロフィール変数 (F0、V0、Pmax、Sfv) と関連しない指標であり、SJ のカー速度プロフィールと CMJ のカー速度プロフィールは一部の変数 (V0 と Sfv) において関連しない可能性が示唆された。したがって、アスリートのバリスティックパフォーマンスをより良く理解するためには、DJ RSI、SJ のカー速度プロフィール、CMJ のカー速度プロフィールをそれぞれ独立して評価する必要があると考えられる。

第3章 筋力レベルがレジスタンスプライミングによるパフォーマンス向上 効果に与える影響

第1節 緒言

多くのアスリートにとって重要なバリスティックパフォーマンス（ジャンプなど）を、レジスタンスエクササイズを用いて向上させる方法には、長期的なトレーニング介入を行うことで慢性的な適応を引き起こすアプローチと^{8,9}、エクササイズ介入による急性効果を利用するアプローチがある¹。急性効果によって改善が促進される主なメカニズムは、活動後パフォーマンス向上

（Postactivation Performance Enhancement: PAPE）である¹³。この現象は、最大または最大に近い筋収縮を行うこと（コンディショニング活動）が、それに続く運動中の発揮パワーを増加させることを示している¹。例えば、先行研究⁸³⁻⁸⁵では、高負荷のレジスタンスエクササイズ（バックスクワットなど）を実施した後に、生体力学的に類似した軽負荷運動（無負荷の垂直跳びなど）のパフォーマンスが向上することを報告している。コンディショニング活動は、通常3分から18.5分の間、その後のバリスティックパフォーマンスを一時的に向上させる^{17,60,86,87}。しかし、パフォーマンスを向上させる時間幅が狭いことを考えると、多くのアスリートにとって、試合前のウォーミングアップなどにPAPEを使用することは困難である可能性が高い¹⁸。

最近の研究では、レジスタンスエクササイズ実施後、48時間程度は様々なバリスティックパフォーマンスが向上する可能性がある¹⁸と示唆されている。この現象は「遅延増強」¹⁸と呼ばれ、遅延増強のために行われるレジスタンスエクササイズは「レジスタンスプライミング」¹⁸と呼ばれる。先行研究^{19,47,88}により、遅延増強は比較的広い時間帯（1時間45分～48時間）に起こることが示唆されている。したがって、レジスタンスプライミングは、前述したPAPEの課題を克服することが可能なコンディショニング戦略となり得る。

研究および現場²⁰の両方において、レジスタンスプライミングは、しばしば高い筋力レベルを有するハイパフォーマンスのアスリートに対して処方されてきた^{21,22}。例えば、Raastad & Hallén²²は、中強度のストレングスエクササイズ（レジスタンスプライミング）を行うことで、33時間後のジャンプパフォーマンスが向上したことを示しており、彼らの被験者は非常に高い筋力を有していた（体重 = 84.5 kg、スクワット 3RM = 169 kg）。さらに、Saez Saez de Villarrealら²¹は、筋力レベルの高い被験者（体重 = 76.9 kg、ハーフスクワット 1RM = 158.3 kg）において、レジスタンスプライミング（低ボリュームの高負荷ハーフスクワットエクササイズ）には、6時間後のジャンプパフォーマンスを高める効果があると報告している。このように、前述した知見は、レジスタンスプライミングが筋力の強いアスリートにとって有効なコンディショニング戦略となり得ることを示唆している。しかし、レジスタンスプライミングが筋力レベルの低い対象者にも有効かどうか、また、筋力レベルがレジスタンスプライミングを用いたパフォーマンス向上に影響を与えるかどうかは、未だ不明である。このような情報は、実践的な観点から、どのような人がレジスタンスプライミングの恩恵を受けられるか、あるいは受けられないかについて、実践者が判断するのに役立つと考えられる。

近年、理論的な最大出力（F0）、速度（V0）、パワー（Pmax）、力-速度の直線関係の傾き（Sfv）が得られる力-速度プロファイルが、バリスティックパフォーマンスの評価手法として用いられるようになった^{2,3,42}。これらのパラメータは、ジャンプのパフォーマンスを最大化するために重要な役割を果たすものであり、様々な運動速度における力発揮能力を評価するために使用することができる^{2,3,42}。しかし、レジスタンスプライミングが垂直跳びにおける力-速度プロフィールにどのような影響を及ぼすかについては、依然として不明である。

そこで本研究では、① レジスタンスプライミングが筋力レベルの高い対象者および低い対象者のジャンプパフォーマンス向上に有効かどうか、② レジスタンスプライミングがカー速度プロフィールにどのような影響を与えるかを明らかにすることを目的とした。これまでのいくつかの PAPE 研究^{17,60,83}では、筋力レベルの高い対象者は低い対象者よりも、コンディショニング活動を用いたパフォーマンス向上効果が大きいことが示唆されている。また、PAPEは、主に高速度パフォーマンス（無負荷ジャンプなど）に関して報告されている¹。これらの知見にもとづき、① レジスタンスプライミングは、筋力レベルが高い対象者のジャンプパフォーマンスを向上させるが、筋力レベルが低い対象者においてその効果はあらわれない、② レジスタンスプライミングは、カー速度プロフィールの理論上の最大速度（V0）を改善するが、理論上の最大出力（F0）は改善しない、という仮説を立てた。

第 2 節 方法

実験デザイン

24 時間後のジャンプパフォーマンスに対するレジスタンスプライミングセッションの遅延増強効果を調査するために、無作為化交差反復測定デザインを使用した。被験者は 72-144 時間間隔で 2 種類のセッション（プライミングおよびコントロール）を実施した。本研究の主目的である、レジスタンスプライミングを用いたパフォーマンス向上における筋力レベルの影響を調査するため、プライミング条件では、ジャンプパフォーマンス向上に有効であることが示されている低ボリュームのジャンプスクワットを実施し¹⁹、コントロール条件では休息をとらせた。ジャンプパフォーマンスの評価として、プライミング条件およびコントロール条件の前と 24 時間後に、無負荷スクワットジャンプ（squat jump: SJ）、無負荷カウンタームーブメントジャンプ（countermovement

jump: CMJ)、ドロップジャンプ (drop jump: DJ) による反応筋力指数

(reactive strength index: RSI) を評価した。さらに、カー速度プロファイルを行うために、荷重を伴う SJ と CMJ も実施した。レジスタンスプライミングによるパフォーマンス向上に対する筋力レベルの影響を調査するため、被験者を筋力の強い Stronger group と弱い Weaker group に分け、各グループのパフォーマンス結果を分析した⁸⁵。プライミング条件とコントロール条件の手順を図 3-1 に示した。

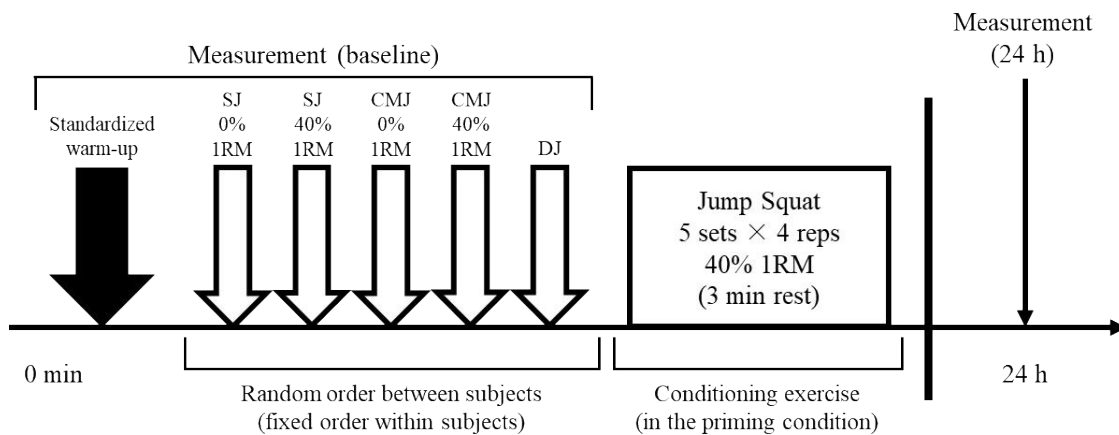


図 3-1. プライミング条件とコントロール条件の実験手順。SJ, squat jump; CMJ, countermovement jump; DJ, drop jump; RM, repetition maximum

被験者

20 歳から 25 歳のレジスタンストレーニング経験がある男性 20 名が本研究に参加した (age: 22.4 ± 1.5 years, height: 172.2 ± 5.0 cm, body mass: 71.3 ± 7.4 kg, half squat 1RM: 142.5 ± 28.4 kg, mean \pm SD)。対象者は、競技歴 (sports training background) 11.6 ± 3.7 年、レジスタンストレーニング歴 (resistance training experience) 4.3 ± 2.4 年であり、実験に支障が出るような筋骨格系の痛みや怪我を有していない者であった。実験参加候補者には、研究の目的、手

順、危険性および利益を説明した後、参加前に書面によるインフォームド・コンセントを取得した。交絡因子の影響を最小化するため、実験前に食事と睡眠に関する指示が被験者になされた。各試験の前夜、被験者は通常の睡眠習慣を維持し、最低7時間の睡眠をとるよう求められた。調査期間中（特に実験直前）、被験者には、覚醒を促進または低下させる可能性のある刺激物（カフェインなど）または抑制物（アルコールなど）を避けるよう指示した。さらに、被験者は研究前日および研究期間中、習慣的な身体活動を維持し、激しい運動は避けるよう要請された。本研究は、早稲田大学学術研究倫理審査委員会により承認された（承認番号：2020-267）。

実験手順

練習セッションおよび事前測定

プライミング条件またはコントロール条件の72-144時間前に、SJ（無負荷および荷重条件）、CMJ（無負荷および荷重条件）、20, 40, 60 cmからのDJ、40%推定1RMのジャンプスクワットの練習を実施した。さらに、20, 40, 60 cmからのDJを十分な休息（60-90秒）をとりながら3回繰り返し行い、本実験で使用するその個人の至適落下高を決定した。至適落下高は、RSI（= DJ高/接地時間）が最大となる高さとして定義した。この方法は、神経筋の適応を最大化する上で、個々に最適な落下高を特定することが重要であることを強調した知見に基づいて実施された⁶⁶。その結果、至適落下高の平均値は 33.0 ± 9.5 cmであった。3分間の休息後、各被験者のハーフスクワット1RMを測定した。ハーフスクワットの筋力はジャンプのパフォーマンスと強い相関があるため⁶⁷、膝関節角度90°における下肢の最大筋力を測定した。ハーフスクワット1RMは、ウォーミングアップセット（推定1RMの30%で5回、推定1RMの50%で3回、推定1RMの70%で2回、推定1RMの90%で1回）を3分おきに

行い、その後 1RM 値が得られるまで最大挙上試行を繰り返し行った。ハーフスクワットの下降動作は、膝関節角度 90° の大腿後面で光電管が遮断され、ビープ音で判定される最下点まで行った。ハーフスクワットエクササイズの下点における膝関節角度は、スマートフォンのビデオカメラ (iPhone 7, Apple Inc, Cupertino, CA) を用いて 240 Hz で測定した。得られたデータに対して、Kinovea Video Analysis Software (v. 0.8.15) を用いて二次元動作解析を行った。膝関節角度は、大転子、大腿骨外側上顆、外側踝に取り付けた反射マーカーを用いてデジタル化することにより算出した。大転子と大腿骨外側上顆を結ぶ線、および大腿骨外側上顆と外側踝を結ぶ線がなす角度を膝関節角度と定義した。被験者が膝関節角度 90° 未満に達しなかった試行は、解析から除外した。

SJ、CMJ および DJ パフォーマンスの測定

SJ と CMJ に関して、0% 1RM では 0.1 kg のプラスチック製のバーを担ぎ、40% 1RM では 20 kg のバーにウエイトプレートを装着してジャンプを実施した。SJ の測定において、被験者は前述したビープ音で指示された膝関節角度でハーフスクワットの姿勢をとり、その姿勢を 2 秒間保持した。その後、反動動作は行わず、できるだけ高くジャンプするよう指示された。このとき、フォースプレートから得られる波形データを確認し、反動動作がないことを確認した。CMJ の測定においては、下降動作を SJ と同じ深さまで行うこと、反動動作をできるだけ速く行うこと、できるだけ高く跳ぶことを被験者に指示した。DJ については、設定した高さの木箱から重心を上げずに踏み切り、両脚でフォースプレートに着地することを指示した。また、接地時間を最小限に抑えながら、接地直後にできるだけ高く跳ぶよう指示した。着地と離陸の際、両

手は腰にあてて、体をまっすぐにするよう指示した。また、着地時はフォースプレート上に戻るよう指示した。

プライミング条件およびコントロール条件

ジョギング 3 分、動的ストレッチ 10 分⁸⁹、SJ と CMJ を最大下努力（最大努力の約 80%）で 2 回、SJ と CMJ を 0% 1RM、20 kg、30% 1RM、40% 1RM で各 2 回、60–90 秒の休息を含む規定されたウォーミングアップを実施した。規定されたウォームアップが終了した後、0% 1RM の SJ と CMJ を 90 秒間の休息で各 3 回、40% 1RM の SJ と CMJ を 2 分間の休息で各 3 回、90 秒間の休息で DJ を 3 回実施した。これらのジャンプパフォーマンス測定の順序は、被験者間では無作為に決定され、被験者内では固定された。さらに 2 分間の休息後、被験者は、40% 1RM のジャンプスクワットを 4 回 5 セット、3 分間の休息とともに行うコンディショニングエクササイズを行った¹⁹。被験者には、ジャンプスクワットエクササイズを、膝関節角度が 90°になるように反動動作を用いて行うよう指示した。40% 1RM として用いられた平均負荷は 57.0 ± 11.5 kg であった。プライミング条件では、被験者のジャンプパフォーマンスは、介入の 24 時間後に測定された。コントロール条件では、コンディショニングエクササイズを行わず、baseline 測定から 24 時間後にジャンプパフォーマンスを測定した。日内変動を避けるため、全てのジャンプパフォーマンス測定は、14:30 から 19:00 の間の同じ時間帯に行われた。また、脱水症状を避けるため、飲水は自由に行わせ、環境条件（温度 18°C–22°C、湿度 20%–60%）を全ての試験セッションで統制した。

測定機材およびデータ分析

全てのジャンプ（SJ、CMJ および DJ）は 1 台のフォースプレート（0625, ACP, AccuPower; AMTI, Watertown, MA）上で行い、アナログ・デジタル変換器（EIRBZ22002369; CONTEC Co Ltd, Osaka, Japan）により 1000 Hz で鉛直地面反力データを取得し、パーソナルコンピュータに記録した。フォースプレートからの信号は 50 Hz のローパス⁶⁸、ゼロ位相ラグ有限インパルス応答フィルターでフィルタリングした。SJ と CMJ を実施する前に、被験者に外的負荷を担がせた状態で 3 秒間体重を測定し、システム総重量（体重と外的負荷の合計）を決定した。鉛直方向の地面反力が閾値（システム総重量 ± 5 SD）を超える 30 ms 前の時点ジャンプ動作の開始とした⁶⁹。各ジャンプにおけるシステム質量中心に関して、加速度は正味の鉛直地面反力から算出し、速度は台形法則⁷⁰により算出した。また、速度を積分して変位を求めた。パワーは、その時点における鉛直地面反力に速度を乗じた値として算出した。速度が 0 m/s を下回った瞬間をエキセントリック局面（ECC）の開始と定義した。ECC の終了とコンセントリック局面（CON）の開始は、ECC 局面の開始後、システム質量中心の速度が 0 m/s を超えた瞬間とした。また、CON 局面の終了は、CON 局面開始後、鉛直地面反力が 20 N 以下になった瞬間とした。ECC 局面と CON 局面の平均地面反力、速度、パワーをそれぞれ算出した。また、ECC 局面中の最小地面反力と最大地面反力との間における力の立ち上がり率（rate of force development: RFD）を求めた。DJ は、鉛直地面反力が閾値（20 N）を超えた時点と下回った時点を接地および離陸とした。DJ の跳躍高は滞空時間法¹⁹を用いて求めた。

SJ と CMJ のカー速度プロファイリングでは、Samozino ら²⁹と Jiménez-Reyes ら³¹が検証した式を用いて、プッシュオフ局面（CON 局面）の下肢の平均鉛直地面反力およびそれに対応する平均鉛直速度を決定した。Samozino の等式²⁹に代入されたシステム総重量、プッシュオフ距離、跳躍高のデータ

は、鉛直地面反力から導出した。プッシュオフ距離は、CON 局面開始から終了までの鉛直変位の距離とした。跳躍高は、離陸速度⁷⁰から算出した。2種類の負荷条件（0% 1RM および 40% 1RM）で得られた力と速度のデータを、最小二乗線形回帰モデルを用いてモデル化し、力-速度プロフィールを決定した。 $F(V) = F_0 - aV$ ：ここでの F_0 は理論上の最大出力（力軸の切片）、 V_0 は力-速度直線の傾き（ $S_{fv} = -F_0/V_0$ ）に対応する理論上の最大速度（速度軸の切片）である²（詳細は図 1-3 および表 1-1 を参照）。プッシュオフ距離に関しては 0% 1RM および 40% 1RM における平均値を解析に使用した。理論上の最大パワー（ P_{max} ）は、 $P_{max} = F_0 \cdot V_0 / 4$ として算出された。上記の 2 点法は、パフォーマンス測定による刺激と疲労を最小限に抑えるために使用された⁷¹。2 点法の妥当性および信頼性が高いことは、García-Ramos ら⁷²によって示されている。

0% 1RM CMJ の時間曲線分析は、以下の手順で実施した⁹⁰。力、速度、パワーの値は、ECC 局面の開始から CON 局面の終了まで、1% 間隔で正規化した（0%-100%）。CMJ 動作時間の各パーセントに最も近い時点での力、速度、パワーの値を各被験者について個別に求めた。その後、baseline と 24 時間後における平均値を、プライミング条件下での各時点（CMJ 動作時間の各%）において、Stronger group と Weaker group で比較した。

全ての力とパワーの値は、被験者の体重で正規化した。CMJ 高の平均値は、CMJ 高の最高値と比較して、神経筋ステータスのモニタリングに適切であることから、3 回のジャンプの平均値を分析に用いた⁹¹。

視覚的アナログスケール

被験者は、プライミングセッションとコントロールセッションにおいて、疲労と筋肉痛の知覚を記録するために、視覚的アナログスケール（VAS、100

mm スケール) を記入した⁹²⁾。被験者が実験室に到着した直後、疲労感の VAS について、「全く疲れていない」から「非常に疲れている」までの範囲の言語的記述子で固定され、被験者は全身の疲労感を評価するよう求められた。筋肉痛の VAS について、「痛みなし」から「非常に痛い」までの言語的記述子で固定され、被験者は規定されたウォーミングアップで 0% 1RM CMJ を 2 回行った直後に「自体重で CMJ を実施した際の下肢全体の筋肉痛」を評価するよう求められた。

統計解析

数値は平均値 ± 標準偏差で表した。統計解析は SPSS (IBM SPSS Statistics Version 27) を用いて行い、有意水準は $p \leq 0.05$ とした。データの正規性は Shapiro–Wilk 検定で確認した。各測定信頼性 (級内相関係数 [intra-class correlation coefficient: ICC]) は、baseline のコントロール条件下で実施された測定の結果と 24 時間後に実施された測定の結果を比較することによって決定された。パフォーマンス変数の ICC は 0.709 から 0.978 の範囲であった (表 3-1)。プライミング条件における変数の変化率と相対ハーフスクワット 1RM との関係は、ピアソン相関係数 (r) を用いて算出した。相関係数の強さは、Cohen が概説した分類に基づいて決定され、 r 値が 0.10–0.29、0.30–0.49、 ≥ 0.5 であった場合、それぞれ small、moderate、large の相関とした⁸⁾。全被験者データを対象とした分析の結果、相対ハーフスクワット 1RM とプライミング条件における 0% 1RM CMJ 高の変化率との間に有意な正の関係が認められたため、中央分割法を用いて被験者を 2 群に分割した^{83,85)}：相対ハーフスクワット 1RM が高い Stronger group (1.93–2.67 kg/kg; $n = 10$) および相対ハーフスクワット 1RM が低い Weaker group (1.37–1.92 kg/kg; $n = 10$)。Stronger group と Weaker group の比較には対応のない t 検定が用いられた。年齢、身長、体重、

競技歴、レジスタンストレーニング歴において、Stronger group と Weaker group との間に有意な差は認められなかった（表 3-2）。群間のパフォーマンス比較は本研究の目的ではないため⁸⁵、各群のパフォーマンス変化を調査するために、二元配置（2条件×2時点）反復測定分散分析（ANOVA）を使用した。有意な主効果または交互作用が観察された場合（ $p \leq 0.05$ ）、最小有意差事後検定を実施した。効果量は、偏イータ二乗（ η^2 ）値（small : 0.01–0.059、moderate : 0.06–0.137、large : >0.138）を算出することにより推定された。ペア比較の場合、効果量は Cohen's d （small : >0.2、moderate : >0.5、large : >0.8）により決定された。プライミング条件における 0% 1RM CMJ パフォーマンスの改善に関する知見を受けて、各群について、プライミング条件における 0% 1RM CMJ 中の baseline と 24 時間後の各時点（0 から 100%まで）における力、速度、パワー–時間曲線を対応のある t 検定で比較した。

表 3-1. パフォーマンス変数の測定信頼性

Jump	Variable	ICC (95% CI)
SJ	Jump height	0.893 (0.730–0.958)
	CON mean force	0.709 (0.266–0.885)
	CON mean velocity	0.758 (0.388–0.904)
	CON mean power	0.740 (0.344–0.897)
	F0	0.837 (0.588–0.935)
	V0	0.754 (0.379–0.903)
	Pmax	0.847 (0.613–0.939)
	Sfv	0.809 (0.518–0.925)
CMJ	Jump height	0.961 (0.902–0.985)
	ECC RFD	0.919 (0.795–0.968)
	ECC mean velocity	0.866 (0.661–0.947)
	ECC mean power	0.866 (0.661–0.947)
	ECC peak displacement	0.902 (0.753–0.961)
	CON mean force	0.978 (0.945–0.991)
	CON mean velocity	0.954 (0.885–0.982)
	CON mean power	0.975 (0.938–0.990)
	F0	0.903 (0.754–0.962)
	V0	0.901 (0.749–0.961)
	Pmax	0.964 (0.909–0.986)
	Sfv	0.887 (0.714–0.955)
DJ	RSI	0.915 (0.786–0.966)

CON, 短縮性; ECC, 伸張性; F0, 理論上の最大出力; V0, 理論上の最大速度; Pmax, 理論上の最大パワー ($F0 \cdot V0/4$); Sfv, 力-速度直線の傾き ($-F0/V0$); RSI, 反応筋力指数 (DJ 高/接地時間); ICC, 級内相関係数; 95% CI, 95% 信頼区間

表 3-2. 全被験者 (Entire cohort)、Stronger group および Weaker group の記述統計データ (平均値 ± 標準偏差)

	Age (years)	Height (cm)	BM (kg)	HSQIRM/BM (kg/kg)	Sports training background (years)	Resistance training experience (years)
Entire cohort (<i>n</i> = 20)	22.4 ± 1.5	172.2 ± 5.0	71.3 ± 7.4	1.99 ± 0.30	11.6 ± 3.7	4.3 ± 2.4
Stronger group (<i>n</i> = 10)	22.4 ± 1.6	170.0 ± 3.9	73.2 ± 6.8	2.22 ± 0.23 *	12.2 ± 4.4	4.5 ± 2.7
Weaker group (<i>n</i> = 10)	22.4 ± 1.4	174.3 ± 5.1	69.4 ± 7.4	1.76 ± 0.16	11.0 ± 2.6	4.0 ± 1.9

BM, body mass; HSQIRM, half squat one-repetition maximum. * Weaker group と有意差 ($p \leq 0.05$)

第3節 結果

0% 1RM SJ、0% 1RM CMJ および DJ のパフォーマンス

baseline の SJ パフォーマンス (jump height、CON mean force、CON mean velocity、CON mean power)、CMJ パフォーマンス (jump height、ECC RFD、ECC mean velocity、ECC mean power、ECC peak displacement、CON mean force、CON mean velocity、CON mean power) および DJ RSI に関して、Stronger group および Weaker group のプライミング条件とコントロール条件間で有意差は認められなかった。二元配置分散分析の結果、有意な交互作用 (jump height : $p = 0.015$, $\eta^2 = 0.501$; ECC RFD: $p = 0.044$, $\eta^2 = 0.379$; CON mean force : $p = 0.009$, $\eta^2 = 0.549$; CON mean power : $p = 0.009$, $\eta^2 = 0.553$) が認められた。Stronger group での 0% 1RM CMJ パフォーマンスにおいて有意な時間の主効果 (ECC mean velocity : $p = 0.018$, $\eta^2 = 0.478$; ECC mean power : $p = 0.018$, $\eta^2 = 0.478$; CON mean velocity : $p = 0.044$, $\eta^2 = 0.379$) が認められた。事後検定の結果、Stronger group のプライミング条件において、24 時間後の CMJ パフォーマンスは、jump height (+0.02 m, 95% CI: 0.01 to 0.03 m, $p = 0.010$)、ECC RFD (+11.53 N/kg/s, 95% CI: 1.84 to 21.22 N/kg/s, $p = 0.025$)、ECC mean velocity (-0.06 m/s, 95% CI: -0.11 to 0.02 m/s, $p = 0.009$)、ECC mean power (-0.62 W/kg, 95% CI: -1.05 to -0.20 W/kg, $p = 0.009$)、CON mean force (+0.35 N/kg, 95% CI: 0.02 to 0.69 N/kg, $p = 0.039$)、CON mean velocity (+0.05 m/s, 95% CI: 0.01 to 0.09 m/s, $p = 0.017$)、CON mean power (+1.30 W/kg, 95% CI: 0.41 to 2.19 W/kg, $p = 0.009$) について、baseline と比較して有意な改善を示した。また、Stronger group のプライミング条件において、24 時間後の CMJ パフォーマンスは、jump height (+0.01 m, 95% CI: 0.00 to 0.03 m, $p = 0.042$)、CON mean force (+0.34 N/kg, 95% CI: 0.05 to 0.62 N/kg, $p = 0.027$)、CON mean power (+0.94 W/kg, 0.14 to 1.74 W/kg, $p = 0.026$) について、コントロール条件にお

ける 24 時間後と比較して有意な改善を示した。Stronger group のコントロール条件において、24 時間後の CMJ の CON mean force は baseline よりも有意に低下した (-0.34 N/kg, 95%CI: -0.62 to -0.05 N/kg, $p = 0.027$)。Weaker group においては、SJ パフォーマンス (jump height、CON mean force、CON mean velocity、CON mean power)、CMJ パフォーマンス (jump height、ECC RFD、ECC mean velocity、ECC mean power、ECC peak displacement) および DJ RSI について、Stronger group においては、SJ パフォーマンス (jump height、CON mean force、CON mean velocity、CON mean power)、CMJ ECC peak displacement および DJ RSI について、条件や時間による有意な相互作用や主効果は観察されなかった (表 2)。プライミング条件において、CMJ 高の変化率は、相対ハーフスクワット 1RM および 0% 1RM CMJ 中の ECC 局面の変数の変化率と有意に関連していた (表 3-4 および図 3-2)。

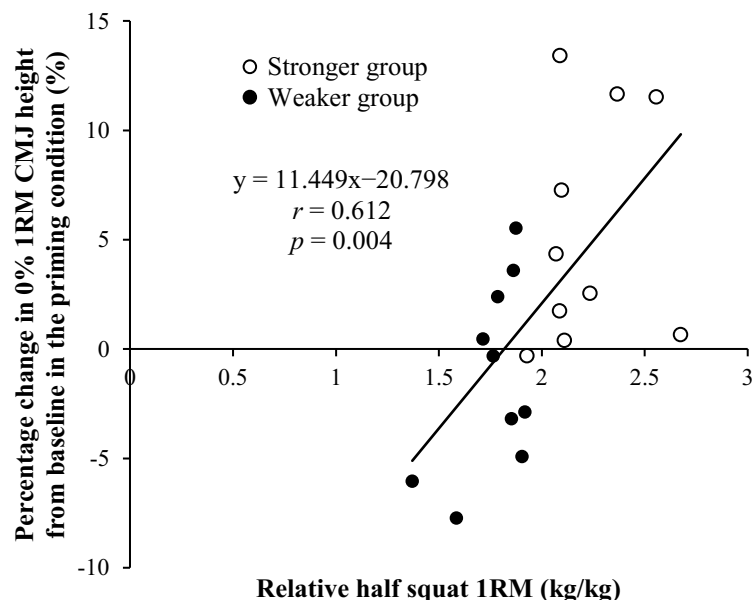


図 3-2. 下肢筋力とレジスタンスプライミング実施後の 0% 1RM CMJ 高の変化率との関係

表 3-3. 0% 1RM SJ、0% 1RM CMJ および至適落下高からの DJ におけるパフォーマンス変数（平均値 ± 標準偏差）

Jump Variable	Stronger group (<i>n</i> = 10)						Weaker group (<i>n</i> = 10)					
	Priming			Control			Priming			Control		
	baseline	24 h	<i>d</i>	baseline	24 h	<i>d</i>	baseline	24 h	<i>d</i>	baseline	24 h	<i>d</i>
SJ	0.33 ± 0.02	0.32 ± 0.03	-0.04	0.33 ± 0.02	0.33 ± 0.02	-0.34	0.35 ± 0.04	0.34 ± 0.04	-0.11	0.34 ± 0.04	0.34 ± 0.05	0.01
CON mean force (N/kg)	16.86 ± 0.95	16.80 ± 0.76	-0.07	17.31 ± 0.55	16.93 ± 1.18	-0.41	17.11 ± 1.34	16.69 ± 1.26	-0.32	17.02 ± 1.14	17.13 ± 1.09	0.10
CON mean velocity (m/s)	1.05 ± 0.14	1.05 ± 0.10	-0.06	1.11 ± 0.10	1.05 ± 0.17	-0.39	1.09 ± 0.16	1.05 ± 0.14	-0.22	1.11 ± 0.13	1.11 ± 0.14	0.01
CON mean power (W/kg)	19.26 ± 2.70	19.09 ± 2.12	-0.07	20.46 ± 1.63	19.38 ± 3.38	-0.41	20.24 ± 3.53	19.31 ± 3.39	-0.27	20.24 ± 3.01	20.42 ± 3.19	0.06
CMJ	0.37 ± 0.04	0.39 ± 0.04*†	0.45	0.38 ± 0.04	0.38 ± 0.04	-0.06	0.37 ± 0.03	0.37 ± 0.04	-0.10	0.36 ± 0.04	0.37 ± 0.04	0.05
ECC RFD (N/kg/s)	60.53 ± 14.32	72.06 ± 12.78*	0.85	68.49 ± 13.38	68.11 ± 11.64	-0.03	56.66 ± 15.46	55.18 ± 18.90	-0.09	55.30 ± 13.84	51.50 ± 19.51	-0.22
ECC mean velocity (m/s)	-0.68 ± 0.08	-0.74 ± 0.05*	-0.98	-0.71 ± 0.05	-0.72 ± 0.04	-0.05	-0.67 ± 0.06	-0.67 ± 0.13	-0.05	-0.66 ± 0.11	-0.65 ± 0.11	0.06
ECC mean power (W/kg)	-6.68 ± 0.78	-7.30 ± 0.45*	-0.98	-6.99 ± 0.47	-7.02 ± 0.39	-0.05	-6.54 ± 0.62	-6.59 ± 1.27	-0.05	-6.44 ± 1.04	-6.37 ± 1.13	0.06
ECC peak displacement (m)	-0.36 ± 0.04	-0.36 ± 0.03	-0.20	-0.35 ± 0.03	-0.36 ± 0.02	-0.41	-0.35 ± 0.03	-0.36 ± 0.03	-0.11	-0.35 ± 0.03	-0.36 ± 0.03	-0.39
CON mean force (N/kg)	19.72 ± 1.22	20.07 ± 0.98*†	0.32	19.94 ± 1.06	19.74 ± 1.01‡	-0.20	19.44 ± 1.24	19.18 ± 1.18	-0.21	19.26 ± 1.11	18.97 ± 1.06	-0.27
CON mean velocity (m/s)	1.61 ± 0.10	1.66 ± 0.09*	0.52	1.64 ± 0.08	1.64 ± 0.07	-0.05	1.55 ± 0.10	1.54 ± 0.14	-0.11	1.55 ± 0.10	1.52 ± 0.12	-0.24
CON mean power (W/kg)	29.20 ± 3.13	30.50 ± 2.76*†	0.44	29.91 ± 2.77	29.56 ± 2.55	-0.13	28.20 ± 3.00	27.68 ± 3.43	-0.16	27.79 ± 2.74	27.19 ± 2.91	-0.21
DJ	1.32 ± 0.29	1.31 ± 0.29	-0.04	1.37 ± 0.35	1.33 ± 0.29	-0.10	1.39 ± 0.18	1.29 ± 0.13	-0.62	1.35 ± 0.14	1.32 ± 0.14	-0.26

d: Cohen's *d* effect size [(24 h - baseline)/SD both]; CON, 短縮性; ECC, 伸張性; RSI, 反応筋力指数 (DJ 高/接地時間). * プライミング条件の baseline と有意差 ($p \leq 0.05$); † コントロール条件の 24 h と有意差 ($p \leq 0.05$); ‡ コントロール条件の baseline と有意差 ($p \leq 0.05$)

表 3-4. プライミング条件での 0% 1RM CMJ における跳躍高の変化率と伸張性 (ECC) 局面の変数の変化率との関係 ($n = 20$)

Correlation between:	r	p	Effect
Δ CMJ height and:			
Δ ECC RFD	0.561	0.010*	Large
Δ ECC mean velocity	0.704	0.001*	Large
Δ ECC mean power	0.704	0.001*	Large

RFD, rate of force development. * $p \leq 0.05$

プライミング条件における 0% 1RM CMJ 中のカー、速度、パワー時間曲線

Stronger group のプライミング条件における 0% 1RM CMJ に関して、鉛直地面反力については正規化された時間の 12%–30%, 42%–64%で、速度については 20%–47%, 57%–100%で、パワーについては 15%–28%, 40%–54%, 61%–93%で、baseline と 24 時間後との間に有意差が認められた (図 3-3)。ただし、Weaker group のプライミング条件においては、0% 1RM CMJ 中のカー、速度、パワー時間曲線に有意な変化は認められなかった (図 3-3)。

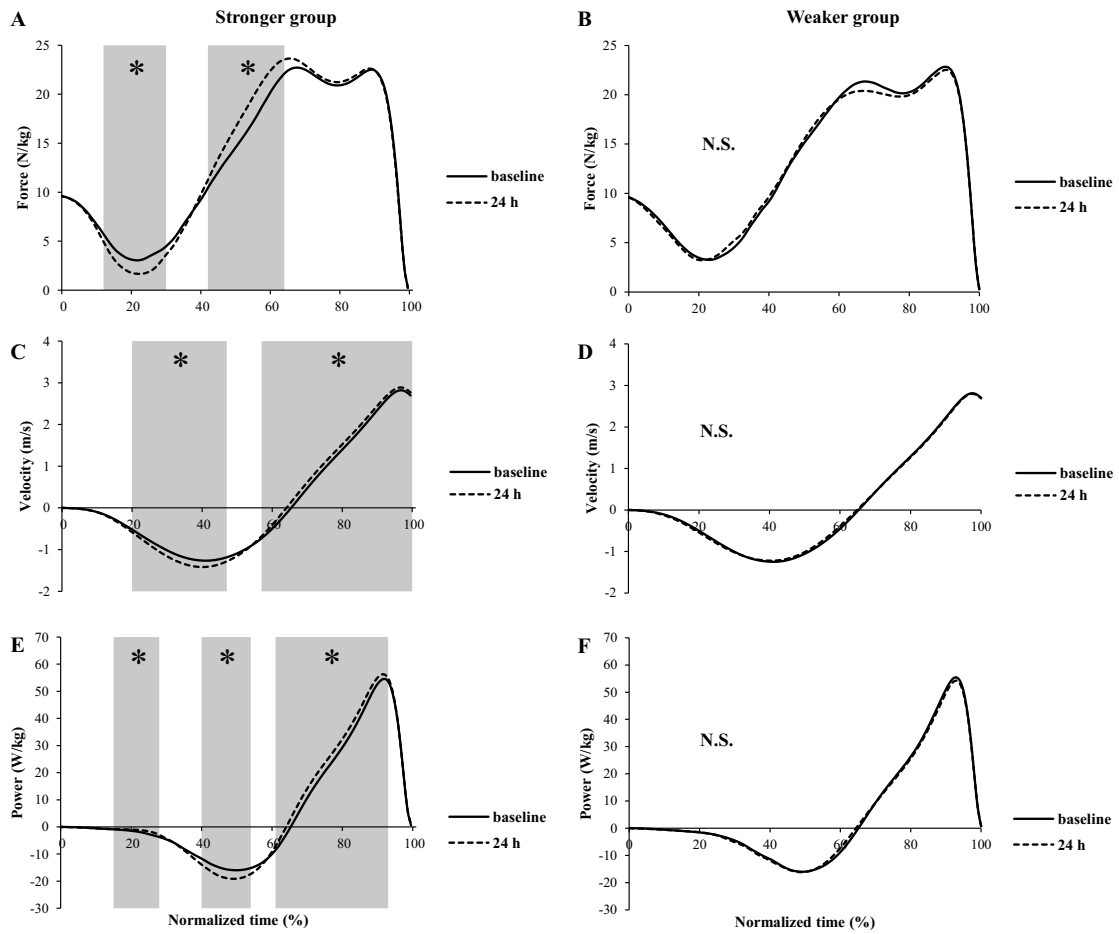


図 3-3. プライミング条件における 0% 1RM CMJ 中の力-時間 (A、B)、速度-時間 (C、D)、パワー-時間 (E、F) 曲線の変化 (A、C、E = Stronger group; B、D、F = Weaker group)。* baseline と 24 h で有意差; NS = not significant

力-速度プロフィール

baseline における SJ と CMJ の力-速度プロフィール (F0、V0、Pmax および Sfv) は、Stronger group と Weaker group において、プライミング条件とコントロール条件との間で有意差は認められなかった。二元配置分散分析の結果、Stronger group では、CMJ パフォーマンスにおいて、有意な交互作用 (CMJ Pmax: $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.727$) と時間の有意な主効果 (CMJ V0: $p = 0.026$, $\eta^2 = 0.442$; CMJ Sfv: $p = 0.021$, $\eta^2 = 0.466$) が認められた。事後検定の結

果、プライミング条件の 24 時間後では、Stronger group の baseline と比較して、CMJ V0 (+0.32 m/s, 95% CI: 0.12 to 0.52 m/s, $p = 0.006$) と CMJ Pmax (+1.55 W/kg, 95% CI: 0.74 to 2.37 W/kg, $p = 0.002$) が有意に高値を示し、CMJ Sfv (+1.56 N·s/kg/m, 95% CI: 0.38 to 2.73 N·s/kg/m, $p = 0.015$) は有意に低値を示した。また、Stronger group のプライミング条件では、24 時間後の CMJ Pmax (+1.10 W/kg, 95% CI: 0.319 to 1.876 W/kg, $p = 0.011$) と CMJ Sfv (-1.26 N·s/kg/m, 95% CI: -2.52 to -0.00 N·s/kg/m, $p = 0.050$) は、コントロール条件における 24 時間後と比較して、それぞれ有意に高値および低値を示した。Stronger group と Weaker group における SJ のカー速度プロフィール、Stronger group の CMJ F0 において、条件や時間による有意な交互作用や主効果は認められなかった (表 3-5)。

表 3-5. SJ および CMJ の力-速度プロフィール変数 (平均値 ± 標準偏差)

Jump Variable	Stronger group (n = 10)						Weaker group (n = 10)						
	Priming			Control			Priming			Control			
	baseline	24 h	d	baseline	24 h	d	baseline	24 h	d	baseline	24 h	d	
SJ	F0 (N/kg)	34.81 ± 5.83	36.13 ± 5.03	0.24	36.13 ± 3.66	36.07 ± 5.69	-0.01	33.83 ± 4.08	32.71 ± 4.00	-0.28	34.12 ± 5.10	34.17 ± 2.86	0.01
	V0 (m/s)	2.72 ± 0.50	2.58 ± 0.40	-0.31	2.58 ± 0.23	2.62 ± 0.37	0.11	2.98 ± 0.67	3.04 ± 0.70	0.09	2.84 ± 0.44	2.77 ± 0.29	-0.19
	Pmax (W/kg)	23.05 ± 1.64	22.87 ± 1.47	-0.12	23.15 ± 1.12	23.11 ± 1.23	-0.03	24.68 ± 3.45	24.43 ± 3.83	-0.07	23.81 ± 2.04	23.62 ± 2.56	-0.08
	Sfv (N/s/kg/m)	-13.65 ± 5.03	-14.64 ± 4.34	-0.21	-14.21 ± 2.61	-14.42 ± 4.62	-0.06	-12.14 ± 3.84	-11.42 ± 3.37	0.20	-12.52 ± 3.71	-12.49 ± 1.99	0.01
CMJ	F0 (N/kg)	34.99 ± 3.20	33.63 ± 3.67	-0.40	35.44 ± 4.74	34.70 ± 3.90	-0.17	35.04 ± 3.87	33.42 ± 4.00	-0.41	34.04 ± 4.16	33.97 ± 4.20	-0.02
	V0 (m/s)	2.80 ± 0.25	3.12 ± 0.42*	0.92	2.90 ± 0.50	2.90 ± 0.48	-0.02	2.82 ± 0.28	2.97 ± 0.39	0.43	2.84 ± 0.26	2.87 ± 0.35	0.11
	Pmax (W/kg)	24.40 ± 2.47	25.95 ± 2.71*†	0.60	25.32 ± 2.92	24.85 ± 2.86	-0.16	24.55 ± 2.13	24.54 ± 2.54	0.00	24.01 ± 2.27	24.15 ± 2.29	0.06
	Sfv (N/s/kg/m)	-12.65 ± 1.93	-11.10 ± 2.47*†	0.70	-12.77 ± 3.57	-12.36 ± 2.67	0.13	-12.65 ± 2.63	-11.58 ± 2.70	0.40	-12.21 ± 2.80	-12.17 ± 3.24	0.01

d: Cohen's d effect size [(24 h - baseline)/SD both]; F0, 理論上の最大出力; V0, 理論上の最大速度; Pmax, 理論上の最大パワー (F0·V0/4) ; Sfv, 力-速度直線の傾き (-F0/V0) . * プライミング条件の baseline と有意差 ($p \leq 0.05$) ; † コントロール条件の 24 h と有意差 ($p \leq 0.05$) ; ‡ コントロール条件の baseline と有意差 ($p \leq 0.05$)

視覚的アナログスケール

baseline における疲労感と筋肉痛は、Stronger group と Weaker group において、プライミング条件とコントロール条件との間に有意差は認められなかった。二元配置分散分析の結果、Weaker group（疲労感： $p = 0.028$, $\eta^2 = 0.433$; 筋肉痛： $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.639$ ）と Stronger group（筋肉痛： $p = 0.029$, $\eta^2 = 0.426$ ）の疲労感および筋肉痛に関して、時間の有意な主効果が観察された。事後検定の結果、Weaker group のプライミング条件における 24 時間後の疲労感は、baseline の疲労感より有意に高値を示した（+10.60 mm, 95% CI: 3.25 to 17.95 mm, $p = 0.010$ ）。プライミング条件における 24 時間後の筋肉痛は、Stronger group（+10.10 mm, 95% CI: 1.37 to 18.83 mm, $p = 0.028$ ）および Weaker group（+9.70 mm, 95% CI: 3.93 to 15.47 mm, $p = 0.004$ ）で baseline と比較して有意に高値を示した。コントロール条件における 24 時間後の筋肉痛は、Stronger group（+7.70 mm, 95% CI: 0.39 to 15.01 mm, $p = 0.041$ ）、Weaker group（+9.70 mm, 95% CI: 2.11 to 17.29 mm, $p = 0.018$ ）ともに、baseline と比較して有意に高値を示した。Stronger group の疲労感については、条件や時間に関する有意な交互作用や主効果は観察されなかった（表 3-6）。

表 3-6. 視覚的アナログスケールを用いて測定した疲労感と筋肉痛（平均値 ± 標準偏差）

	Stronger group (<i>n</i> = 10)					Weaker group (<i>n</i> = 10)						
	Priming			Control		Priming			Control			
	Baseline	24 h	<i>d</i>	baseline	24 h	<i>d</i>	baseline	24 h	<i>d</i>	baseline	24 h	<i>d</i>
Fatigue (mm)	12.30 ± 11.44	18.50 ± 13.79	0.49	12.00 ± 9.82	13.80 ± 10.16	0.18	12.70 ± 6.94	23.30 ± 11.57*	1.11	13.30 ± 12.81	16.00 ± 9.95	0.24
Muscle soreness (mm)	9.70 ± 13.34	19.80 ± 17.44*	0.65	9.20 ± 13.49	16.90 ± 15.41‡	0.53	9.00 ± 8.59	18.70 ± 13.55*	0.86	8.00 ± 6.88	17.70 ± 13.55‡	0.90

d: Cohen's *d* effect size [(24 h – baseline)/SD both]. * プライミング条件の baseline と有意差 ($p \leq 0.05$) ; † コントロール条件の 24 h と有意差 ($p \leq 0.05$) ; ‡ コントロール条件の baseline と有意差 ($p \leq 0.05$)

第 4 節 考察

本研究では、レジスタンスプライミングが筋力レベルの高い対象者と低い対象者のジャンプパフォーマンスを向上させるのに有効であるか、また、カー速度プロフィールに与える影響を調査することを主な目的とした。本研究で得られた主な結果として、プライミングセッションの 24 時間後に、**Stronger group** では CMJ パフォーマンスの特異的な向上が生じたのに対し、**Weaker group** ではいずれのジャンプパフォーマンスも向上しなかった。また、レジスタンスプライミングにより、**Stronger group** では CMJ の理論上の最大速度 (V_0) が向上したが、理論上の最大出力 (F_0) は向上せず、**Weaker group** ではカー速度プロフィールのいずれの変数も改善しなかった。

本研究では、ジャンプスクワットエクササイズを用いたレジスタンスプライミングにより、24 時間後における **Stronger group** の CMJ パフォーマンスが向上することが示され (表 3-3)、先行研究¹⁹と一致する知見が得られた。また、Tsoukos らによる研究¹⁹では、比較的筋力レベルの高い被験者 (体重: 80.7 ± 8.6 kg、ハーフスクワット 1RM: 163 ± 29 kg) を対象に、今回用いたコンディショニングエクササイズと全く同じ低ボリュームのパワー系トレーニングセッションを実施することにより、24 時間後の CMJ 高が向上することが明らかにされている。したがって、低負荷のジャンプスクワットエクササイズを用いたレジスタンスプライミングは、筋力レベルの高いアスリートにおいて翌日の CMJ パフォーマンスを向上させるのに有効であると思われる。

また、レジスタンスプライミングによる CMJ 高の変化率は、個人の相対ハーフスクワット筋力と正の相関関係にあり (図 3-2)、これは疲労耐性に起因するものと考えられる。Harrison ら¹⁸は、増強と疲労の差がレジスタンスプライミングに伴うパフォーマンス向上の決定要因であることを示唆している。増強は神経筋パフォーマンスの向上にとってプラス要因であるが、疲労はマイナ

ス要因であると考えられている⁹³。いくつかの先行研究^{17,60,83}では、筋力レベルの高い個人は低い個人と比較して疲労耐性が発達していることが示唆されている。実際、本研究では、**Stronger group**において、レジスタンスプライミングによる疲労感の有意な増加が認められなかった（表 3-5）。したがって、前述した知見から、筋力レベルの高い対象者はレジスタンスプライミングによる疲労感が少なく、それによって神経筋パフォーマンスが向上する可能性が高くなることが示唆された。

本研究における **Stronger group** のパフォーマンス向上は、筋線維組成の観点からも説明できるかもしれない。Tesch & Karlsson⁹⁴は、最大等尺性片脚筋力が高い対象者は、速筋線維の割合が高い傾向にあったと報告している。したがって、**Stronger group** の被験者は速筋線維の割合が比較的高かったと考えられる。また、Hamada ら⁹⁵は、速筋線維の割合が高いヒトの筋がより大きな増強効果を示すことを示唆した。したがって、**Stronger group** において観察されたパフォーマンス向上には、速筋線維の割合が高いことによる増強効果の増大がかかわっていた可能性がある。しかし、本研究では被験者の筋線維組成を評価していないため、筋線維組成とレジスタンスプライミングによるパフォーマンス向上効果の関係については、今後の研究において直接的に調査する必要がある。

本研究において、荷重を伴うジャンプスクワットを用いたレジスタンスプライミングにより、CMJ のパフォーマンスは向上したが、SJ と DJ のパフォーマンスは向上しなかった。これは、それぞれのジャンプのバイオメカニクスの特徴が異なることに起因していると考えられる。CMJ は伸張－短縮サイクル（stretch-shortening cycle: SSC）を用いるのに対し、SJ は CON 単独の動きを用いる²³。CMJ と DJ について、Bobbert ら³²は、膝関節と足関節のモーメントとパワーは、CMJ よりも DJ の方が大きな値を示し、股関節のモーメントは

DJよりもCMJの方が大きな値を示すことを明らかにした。また、CMJは遅いSSCを使用し²³、DJは速いSSCを使用することから³²、CMJとDJではSSCの速度も異なる。本研究で用いたコンディショニングエクササイズである荷重を伴うジャンプスクワットは、SJやDJよりもCMJとバイオメカニクスの的に類似している^{32,96}。Harrisonら¹⁸は、プライミングエクササイズは、その後のパフォーマンスの神経筋経路に特異的でなければ、パフォーマンスの増強効果が最大化されないことを示唆した。これらの知見から、レジスタンスプライミングは、その後の神経筋パフォーマンスを動作特異的に向上させる可能性があることが示唆された。

CMJのパフォーマンス向上は、カー、速度、パワー時間曲線（図3-3）にも起因していると考えられる。レジスタンスプライミング後のCMJのECC局面において、Stronger groupは抜重の程度が増加し、急速な力の発生を示したことから、ECC RFD、ECC速度、ECCパワーが向上した（図3-3および表3-3）。このことがCMJパフォーマンスの向上と関連していると考えられる^{8,97}。Laffaye & Wagner⁹⁷は、ECC RFDが垂直跳びパフォーマンス（CMJ高）と正の相関（ $r = 0.50$ 、 $p = 0.001$ ）を示したと報告した。さらに、Cormieら⁸は、10週間のジャンプスクワットトレーニング後のECC変数（平均ECCパワーなど）の変化が、様々なCONパフォーマンス変数（平均CONパワーなど）の変化と有意に関連していることを確認した。本研究では、CONのみのSJパフォーマンスは向上しなかったが、CMJパフォーマンスのCON局面（CON平均地面反力、速度およびパワー）は、ECC局面の変数の向上に伴って向上した（表3）。さらに、プライミング条件ではCMJ高の変化率がECC局面の変数の変化率と有意に相関しており（表3-4）、これは筋腱相互作用といったSSC機能の改善に起因している可能性がある⁹⁸。CMJのECC局面において筋腱相互作用が最適化されたと仮定すると、筋の伸長が少なく、腱の伸張

が大きくなっていった可能性がある⁹⁸。このような変化は、筋線維を至適長に近い状態に維持することで力発揮を増加させ⁹⁸、その結果、ECC局面において、より大きな力の発生と、大きな負の運動量（ECC速度）の大きな力への変換を促すと考えられる。さらに、筋の伸長が小さくなることで、筋線維は比較的遅い速度で出力することができ、長さ-張力および力-速度の関係から、CON局面でより大きな力の発生を引き起こすと考えられる^{98,99}。これにより、筋腱複合体の短縮速度は増加するだろうが、これは腱の短縮速度の増加に大きく依存すると考えられる⁹⁸。これらの変化は、CMJにおけるCON局面の変数（平均地面反力、速度およびパワー）を改善する可能性がある（図3-3および表3-3）。ちなみに、本研究で観察されたECC最大変位に有意な変化が認められなかったことから（表3-3）、ECC局面終了時に筋腱複合体の長さが変化している可能性は低いと考えられる。以上のことから、レジスタンスプライミング後のCMJパフォーマンス向上には、主にECC局面におけるSSC機能の向上が寄与していることが示唆された。さらに、上記の示唆とCMJが股関節優位の運動であることを示す前述の研究³²を考慮すると、SSC機能の改善は膝や足首よりも股関節周りでより大きく起こることも予想される。このような特異的な適応が、SJやDJのパフォーマンスが向上しなかったことの説明になると思われるが、この点については今後の直接的な調査が求められる。

Stronger groupのCMJにおける力-速度プロフィールについて、低負荷（40% 1RM）ジャンプスクワットを用いたレジスタンスプライミングは、低速度（F0）ではなく高速度（V0）での力発揮能力を高め、それによるPmaxの改善とSfvの低下を引き起こした（表3-5）。この結果は、同じプライミングエクササイズを用いた先行研究¹⁹と類似している。Tsoukosら¹⁹は、低負荷ジャンプスクワットを用いたレジスタンスプライミングにより、無負荷CMJ高（高速度でのパフォーマンス）は改善したが、最大レッグプレス等尺性出力

(速度ゼロでのパフォーマンス)は改善しなかったことを報告しており、これはレジスタンストレーニングの速度特異性によるものだと考えられる¹⁰⁰。

Kawamori & Newton¹⁰⁰は、爆発的に動こうとする意志と実際の運動速度の両方が、レジスタンストレーニングに対する速度特異的な神経筋適応を引き出す重要かつ決定的な刺激であることを示唆した。本研究で使用した低負荷ジャンプスクワットは、最大速度を意図しつつ、比較的高い動作速度で実施された⁹⁶。したがって、本研究で行ったレジスタンスプライミングは、低速度よりもむしろ高速度での力発揮能力をより強く刺激することになったと考えられる。つまり、低負荷のバリスティックエクササイズを用いたレジスタンスプライミングは、特に高速度での神経筋パフォーマンスを向上させると考えられる。

第 5 節 結論

本研究では、荷重を伴うジャンプスクワットを用いたレジスタンスプライミングが、24 時間後のバリスティックパフォーマンスを、**Stronger group** では特異的に向上させるが、**Weaker group** では向上させないことを示唆するものであった。また、この効果は CMJ の高速度領域における力発揮能力においてのみ認められたことから、レジスタンスプライミングによるパフォーマンス向上は、個人の筋力レベルに影響され、動作特異的かつ速度特異的であることが示唆された。これらの知見は、(a) より筋力レベルの高い対象者はレジスタンスプライミングによる利益を得やすい可能性があるが、筋力レベルの低い対象者はパフォーマンス向上効果を得にくいかもしれないということ、(b) 指導者は、低速度でより大きな力発揮を求められるアスリート（パワーリフターやフットボールのラインマンなど）ではなく、高速度で大きな力発揮を求められるアスリート（跳躍競技者など）に対して、試合の 24 時間前に低負荷でのジャ

ンプスクワットを用いたレジスタンスプライミングを処方すべきである、と
いうことを示唆するものであった。

第4章 バリステックエクササイズおよび高負荷エクササイズプロトコルの比較：どちらがより効果的なレジスタンスプライミングか？

第1節 緒言

身体的パフォーマンスを向上させる適応を引き出すには、特定のトレーニング課題に繰り返しさらされる必要がある⁷が、単発の運動もまた、一過性のパフォーマンス反応を引き起こすことがある¹。低ボリュームの運動刺激は、短期間の神経筋パフォーマンスを向上させることが実証されており、このプロセスを説明する用語として、**postactivation performance enhancement (PAPE)**が使用されている¹³。神経筋特性の急性変化は証明されているが、パフォーマンス成果がプラスに変化する時間は比較的短い(3–18.5分)^{17,60}。そのため、PAPEを用いるコンディショニング戦略は現場での実施が困難な場合がある¹⁸。しかし、最近の研究^{18,55}では、これらの方法が長時間の休息後に遅発性の神経筋増強効果をもたらす可能性が示唆されており、非常に低ボリュームの運動刺激(レジスタンスプライミング)セッションが、その後の様々な身体能力を48時間まで増大させることが証明されている。

プライミング後の反応を決定する要因として、使用負荷や運動の種類といったプライミングエクササイズ戦略は非常に重要であると考えられている^{18,59}。Harrisonら¹⁸は、低負荷(30%–40% 1RM)のバリステックエクササイズ、または高負荷($\geq 85\%$ 1RM)の伝統的エクササイズのいずれかが、最も効果的なレジスタンスプライミングであることを示唆した。本研究では、前者を「バリステックエクササイズプライミング」(BEP)、後者を「ヘビーレジスタンスプライミング」(HRP)と呼ぶこととした。これらのプライミングエクササイズは、試合の当日(6時間前など)、あるいは前日(24時間前など)に実施されることが多い^{18,59}。例えば、Saez Saez de Villarrealら²¹は、BEPとHRPによる6時間後の神経筋パフォーマンスへの影響について検討し、BEPとHRPの両方がジャ

ンプパフォーマンスを有意に向上させたと報告した。しかし、24 時間後のパフォーマンス改善を目的として実施された BEP と HRP について調査した研究は限られている^{19,55,101}。BEP が 24 時間後のジャンプパフォーマンスを向上させる効果がある可能性を示唆した先行研究^{19,101}はいくつかあるものの、HRP による 24 時間後の神経筋パフォーマンスの変化を調査している研究は Harrison らの研究⁵⁵ 1 件に限られている。さらに、24 時間後の神経筋パフォーマンスに対する HRP と BEP の遅延増強効果を直接比較した研究もないため、試合前日に実施した場合、どちらのレジスタンスプライミングがより効果的かは依然として不明である。プライミングエクササイズは、神経筋パフォーマンスを最大化する上で、その後のパフォーマンス需要に特化したものでなければならない可能性が示唆されている^{18,59}。したがって、多くのアスリートが大きな目標とするバリスティックパフォーマンスを向上させるためには、HRP よりも BEP の方がより効果的なプライミング戦略となる可能性がある。このような知見は、スポーツパフォーマンスを向上させるためのプライミング戦略をよりよく理解し、どのようなタイプのレジスタンスプライミングを処方すべきかを決定する上で、実践者にとって有益となろう。

そこで本研究では、BEP と HRP のどちらが 24 時間後のバリスティックパフォーマンス向上に効果的かを調査することを目的とし、(a) BEP と HRP はともに翌日の神経筋パフォーマンスを向上させ、(b) BEP は HRP と比較して優れたパフォーマンス向上効果を誘発するという仮説を立てた。

第 2 節 方法

実験デザイン

レジスタンスプライミングセッションが 24 時間後のジャンプパフォーマンスに及ぼす遅延増強効果を調査するために、無作為化交差反復測定デザインを

使用した。被験者は 72-144 時間間隔で 2 回のセッション（BEP と HRP）を実施した。バリスティックパフォーマンスを評価するために、BEP および HRP の前と 24 時間後に以下のジャンプパフォーマンスを評価した：無負荷スクワットジャンプ（SJ）、無負荷カウンタームーブメントジャンプ（CMJ）、ドロップジャンプ（DJ）の反応筋力指数（RSI）。さらに、カー速度プロファイリング²⁸のために、荷重を伴う SJ と CMJ も実施された。本研究で測定されたパフォーマンス変数に対する高いレベルの信頼性は、我々の研究室によって以前に報告されている¹⁰¹。さらに、本研究の主な目的は、2 つの異なるレジスタンスプライミングセッションの効果を比較することであったため、コントロール条件は含まなかった。BEP 条件と HRP 条件の手順を図 4-1 に示した。

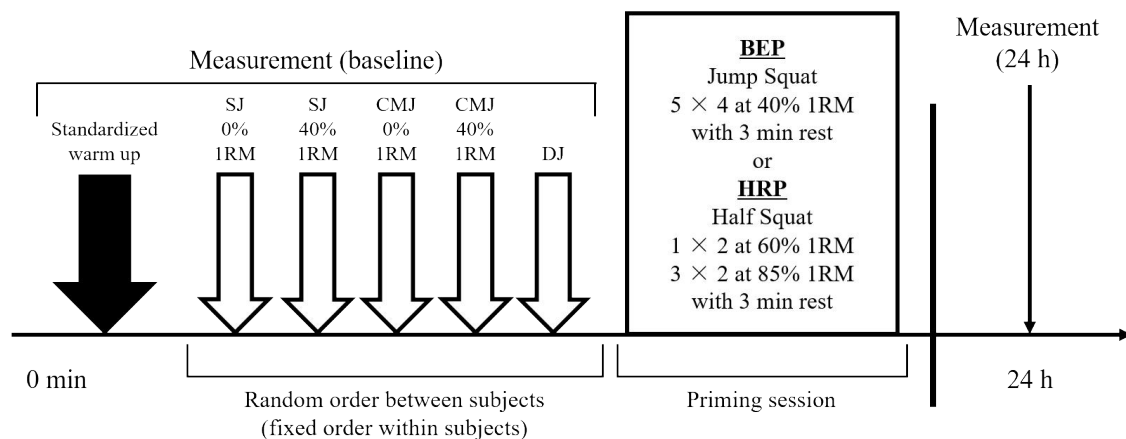


図 4-1. BEP 条件と HRP 条件の実験手順。SJ, squat jump; CMJ, countermovement jump; DJ, drop jump; RM, repetition maximum

被験者

19 歳から 25 歳のレジスタンストレーニング経験のある男性 10 名がこの研究に参加した（age: 21.9 ± 1.8 years, height: 170.0 ± 4.3 cm, body mass [BM]: 69.6 ± 7.4 kg, half squat 1RM: 149.5 ± 16.8 kg, mean \pm SD）。これらの被験者は 13.4 ± 2.9 年の競技歴、 4.2 ± 1.7 年のレジスタンストレーニングの経験があ

り、実験に支障が出るような筋骨格系の疼痛や傷害は有していなかった。レジスタンスプライミングによってパフォーマンスが向上しやすい対象者¹⁰¹において BEP と HRP の効果を比較するため、十分な下肢筋力（ハーフスクワット $1RM > 1.90 \times BM$ ）を有する者を被験者として採用した。実験参加者候補には、研究の目的、手順、危険性および利益を説明した後、参加前に書面によるインフォームド・コンセントを得た。交絡因子を最小化するために、実験実施前に睡眠と食事に関する指示を被験者に与えた。各試験の前夜、被験者は通常の睡眠習慣を保ち、7時間以上の睡眠をとるよう求められた。調査期間中（特に実験セッションの直前）、被験者は、覚醒を促進または損なう可能性のある既知の刺激物（カフェインなど）または抑圧物（アルコールなど）を避けるように指示された。さらに、被験者には、前日および試験期間中、習慣的な身体活動を維持し、激しい運動を避けるよう要請した。本研究は、早稲田大学学術研究倫理審査委員会により承認された（承認番号：2020-368）。

実験手順

練習セッションおよび事前測定

プライミング条件またはコントロール条件の 72-144 時間前に、SJ（無負荷および荷重条件）、CMJ（無負荷および荷重条件）、20, 40, 60 cm からの DJ、40%推定 1RM のジャンプスクワットの練習を実施した。さらに、20, 40, 60 cm からの DJ を十分な休息（60-90 秒）をとりながら 3 回繰り返し行い、本実験で使用するその個人の至適落下高を決定した。至適落下高は、RSI（= DJ 高 / 接地時間）が最大となる高さとして定義した。この方法は、神経筋の適応を最大化する上で、個々に最適な落下高を特定することが重要であることを強調した知見に基づいて実施された⁶⁵。至適落下高の平均値は 33.0 ± 9.5 cm であった。3 分間の休息後、各被験者のハーフスクワット 1RM を測定した。ハーフスクワ

ットの筋力はジャンプのパフォーマンスと強い相関があるため⁶⁷、膝関節角度 90°における下肢の最大筋力を測定した。ハーフスクワット 1RM は、ウォーミングアップセット（推定 1RM の 30%で 5 回、推定 1RM の 50%で 3 回、推定 1RM の 70%で 2 回、推定 1RM の 90%で 1 回）を 3 分おきに行い、その後 1RM 値が得られるまで最大挙上試行を繰り返し行った。ハーフスクワットの下降動作は、膝関節角度 90°の大腿後面で光電管が遮断され、ピープ音で判定される最下点まで行った。ハーフスクワットエクササイズ的最下点における膝関節角度は、スマートフォンのビデオカメラ（iPhone 7, Apple Inc, Cupertino, CA）を用いて 240 Hz で測定した。得られたデータに対して、Kinovea Video Analysis Software (v. 0.8.15) を用いて二次元動作解析を行った。膝関節角度は、大転子、大腿骨外側上顆、外側踝に取り付けた反射マーカを用いてデジタルサイズすることにより算出した。大転子と大腿骨外側上顆を結ぶ線、および大腿骨外側上顆と外側踝を結ぶ線がなす角度を膝関節角度と定義した。被験者が膝関節角度 90°未満に達しなかった試行は、解析から除外した。

SJ、CMJ および DJ パフォーマンスの測定

SJ と CMJ に関して、0% 1RM では 0.1 kg のプラスチック製のバーを担ぎ、40% 1RM では 20 kg のバーにウエイトプレートを装着してジャンプを実施した。SJ の測定において、被験者は前述したピープ音で指示された膝関節角度でハーフスクワットの姿勢をとり、その姿勢を 2 秒間保持した。その後、反動動作は行わず、できるだけ高くジャンプするよう指示された。このとき、フォースプレートから得られる波形データを確認し、反動動作がないことを確認した。CMJ の測定においては、下降動作を SJ と同じ深さまで行うこと、反動動作をできるだけ速く行うこと、できるだけ高く跳ぶことを被験者に指示した。DJ については、設定した高さの木箱から重心を上げずに踏み切り、両脚

でフォースプレートに着地することを指示した。また、接地時間を最小限に抑えながら、接地直後にできるだけ高く跳ぶよう指示した。着地と離陸の際、両手は腰にあてて、体をまっすぐにするよう指示した。また、着地時はフォースプレート上に戻るよう指示した。

バリスティックエクササイズおよび高負荷レジスタンスプライミング条件

ジョギング 3 分、動的ストレッチ 10 分⁸⁹、SJ と CMJ を最大下努力（最大努力の約 80%）で 2 回、SJ と CMJ を 0% 1RM、20 kg、30% 1RM、40% 1RM で各 2 回、60–90 秒の休息を含む規定されたウォーミングアップを実施した。規定されたウォームアップが終了した後、0% 1RM の SJ と CMJ を 90 秒間の休息で各 3 回、40% 1RM の SJ と CMJ を 2 分間の休息で各 3 回、90 秒間の休息で DJ を 3 回実施した。これらのジャンプパフォーマンス測定の順序は、被験者間では無作為に決定され、被験者内では固定された。さらに 3 分間の休息後、被験者はプライミングセッションを行った（BEP：40% 1RM のジャンプスクワットをセット間休息 3 分で 4 回 5 セット、HRP：60% 1RM のハーフスクワットを 2 回 1 セット、85% 1RM のハーフスクワットを 2 回 3 セット、セット間休息 3 分）。BEP と HRP のエクササイズの違い（ジャンプスクワットとハーフスクワット）から、総負荷量を完全に一致させることが困難であるため、本研究では、先行研究¹⁸で推奨されたプライミングプロトコルを使用した。被験者には、膝関節角度 90°まで下降するジャンプスクワットとハーフスクワットのエクササイズを、反動動作を用いながら実施し、下降局面と上昇局面に「できるだけ強く、速く」地面を押すように指示した。ただし、ハーフスクワットでは、上昇局面の後、バーベルが肩に接触している状態を維持しつつ、ジャンプしないよう指示した。プライミングセッションから 24 時間後に被験者のジャンプパフォーマンスを測定した。ジャンプパフォーマンスの測定

は、日内変動を避けるため、全て同じ時間帯、14:30 から 19:00 の間に行われた。脱水症状を防ぐため、自由な飲水を許可し、全ての試験セッションにおいて環境条件を制御した（室温：18°C–22°C、湿度：20%–60%）。

各プライミングセッションの内的負荷（セッションの主観的運動強度 [RPE]）を定量化するため、BEP または HRP が終了した 15 分後に、被験者に「プライミングセッション全体の主観的運動強度はどれくらいでしたか？」と質問した。被験者は、CR-10 スケール¹⁰²⁻¹⁰⁴に従ってこの質問に答えた。被験者は、0 から 10 までの記述子およびそれに対応する数字を選ぶよう指示された（0 = レストと変わらなかった、1 = かなり楽だった、2 = 楽だった、3 = 普通だった、4 = ややきつかった、5–6 = きつかった、7–9 = かなりきつかった、10 = 最大のきつさだった）^{102,103}。

測定機材およびデータ分析

全てのジャンプ（SJ、CMJ および DJ）は 1 台のフォースプレート（0625, ACP, AccuPower; AMTI, Watertown, MA）上で行い、アナログ・デジタル変換器（EIRBZ22002369; CONTEC Co Ltd, Osaka, Japan）により 1000 Hz で鉛直地面反力データを取得し、パーソナルコンピューターに記録した。フォースプレートからの信号は 50 Hz のローパス⁶⁸、ゼロ位相ラグ有限インパルス応答フィルターでフィルタリングした。SJ と CMJ を実施する前に、被験者に外的負荷を担がせた状態で 3 秒間体重を測定し、システム総重量（体重と外的負荷の合計）を決定した。鉛直方向の地面反力が閾値（システム総重量 ± 5 SD）を超える 30 ms 前の時点ジャンプ動作の開始とした⁶⁹。各ジャンプにおけるシステム質量中心に関して、加速度は正味の鉛直地面反力から算出し、速度は台形法則⁷⁰により算出した。また、速度を積分して変位を求めた。パワーは、その時点における鉛直地面反力に速度を乗じた値として算出した。速度が 0 m/s

を下回った瞬間を下降局面の開始と定義した。上昇局面の開始は、下降局面の開始後、システム質量中心の速度が 0 m/s を超えた瞬間とした。また、上昇局面の終了は、上昇局面開始後、鉛直地面反力が 20 N 以下になった瞬間とした。DJ は、鉛直地面反力が閾値 (20 N) を超えた時点と下回った時点を接地および離陸とした。DJ の跳躍高は滞空時間法^{19,101}を用いて求めた。

SJ と CMJ のカー速度プロファイリングでは、Samozino ら²⁹と Jiménez-Reyes ら³¹が検証した式を用いて、上昇局面の下肢の平均鉛直地面反力およびそれに対応する平均鉛直速度を決定した。Samozino の等式²⁹に代入されたシステム総重量、プッシュオフ距離、跳躍高のデータは、鉛直地面反力から導出した。プッシュオフ距離は、上昇局面開始から終了までの鉛直変位の距離とした。跳躍高は、離陸速度⁷⁰から算出した。2種類の負荷条件 (0% 1RM および 40% 1RM) で得られた力と速度のデータを、最小二乗線形回帰モデルを用いてモデル化し、カー速度プロフィールを決定した。 $F(V) = F_0 - aV$: ここでの F_0 は理論上の最大出力 (力軸の切片)、 V_0 はカー速度直線の傾き ($S_{fv} = -F_0/V_0$) に対応する理論上の最大速度 (速度軸の切片) である²⁸ (詳細は図 1-3 および表 1-1 を参照)。プッシュオフ距離に関しては 0% 1RM および 40% 1RM における平均値を解析に使用した。理論上の最大パワー (P_{max}) は、 $P_{max} = F_0 \cdot V_0 / 4$ として算出された。上記の 2 点法は、パフォーマンス測定による刺激と疲労を最小限に抑えるために使用された⁷¹。2 点法の妥当性および信頼性が高いことは、García-Ramos ら⁷²によって示されている。

全ての力とパワーの値は、被験者の体重で正規化した。CMJ 高の平均値は、CMJ 高の最高値と比較して、神経筋ステータスのモニタリングに適切であることから、3 回のジャンプの平均値を分析に用いた⁹¹。

視覚的アナログスケール

被験者は、プライミングセッションとコントロールセッションにおいて、疲労と筋肉痛の知覚を記録するために、視覚的アナログスケール（VAS、100 mm スケール）を記入した⁹²。被験者が実験室に到着した直後、疲労感の VAS について、「全く疲れていない」から「非常に疲れている」までの範囲の言語的記述子で固定され、被験者は全身の疲労感を評価するよう求められた。筋肉痛の VAS について、「痛みなし」から「非常に痛い」までの言語的記述子で固定され、被験者は規定されたウォーミングアップで 0% 1RM CMJ を 2 回行った直後に「自体重で CMJ を実施した際の下肢全体の筋肉痛」を評価するよう求められた。

統計解析

データの正規性は Shapiro–Wilk 検定を用いて検定した。ペア比較には、対応のある t 検定、正規分布が確認されなかった場合はノンパラメトリックの Wilcoxon 検定を使用した。効果量は、パラメトリックデータでは Cohen's d (small: 0.20–0.49, moderate: 0.50–0.79, large: >0.8)、ノンパラメトリックデータでは Cliff delta¹⁰⁵ により決定した (small: 0.15–0.32, moderate: 0.33–0.46, large: >0.46)。さらに、ジャンプパフォーマンスの個別変化を識別するために、0.2×被験者間標準偏差⁵⁵を用いて、smallest worthwhile change を算出した。各変数において、個人の変化が smallest worthwhile change より大きい場合は「positive responding または negative responding」、小さい場合は「non-responding」とした。数値は平均値 ± 標準偏差で示した。統計解析は SPSS (IBM SPSS Statistics, Ver.27) を用いて行い、有意水準は $p \leq 0.05$ とした。

第 3 節 結果

全てのパフォーマンス変数の baseline 値は、BEP 条件と HRP 条件の間で有意

な差は認められなかった ($p > 0.05$)。BEP 条件では、0% 1RM CMJ height (+3.62%, +0.013 m, 95% 信頼区間 [CI]: 0.006 to 0.019 m, $p = 0.002$, $d = 0.201$)、CMJ V0 (+5.14%, +0.138 m/s, 95% CI: 0.066 to 0.211 m/s, $p = 0.009$, Cliff delta = 0.220) および CMJ Pmax (+2.55%, +0.600 W/kg, 95% CI: 0.338 to 0.863 W/kg, $p = 0.009$, Cliff delta = 0.160) が、プライミングセッションを実施した 24 時間後に baseline より有意に向上した (図 4-2、表 4-1)。さらに、BEP セッションを実施した 24 時間後における CMJ Sfv は baseline より有意に低下した (-6.77%, +0.951 N·s/kg/m, 95% CI: 0.240 to 1.662 N·s/kg/m, $p = 0.028$, $d = 0.376$) (表 4-1)。しかし、HRP セッションはどのジャンプパフォーマンスも有意に向上させなかった ($p > 0.05$)。変化率分析では、BEP 条件での 0% 1RM CMJ height は、HRP 条件よりも大きな改善を示し (+5.62%, 95% CI: 1.22 to 10.02%, $p = 0.015$, $d = 1.418$)、他の変数では BEP 条件と HRP 条件の間に有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。

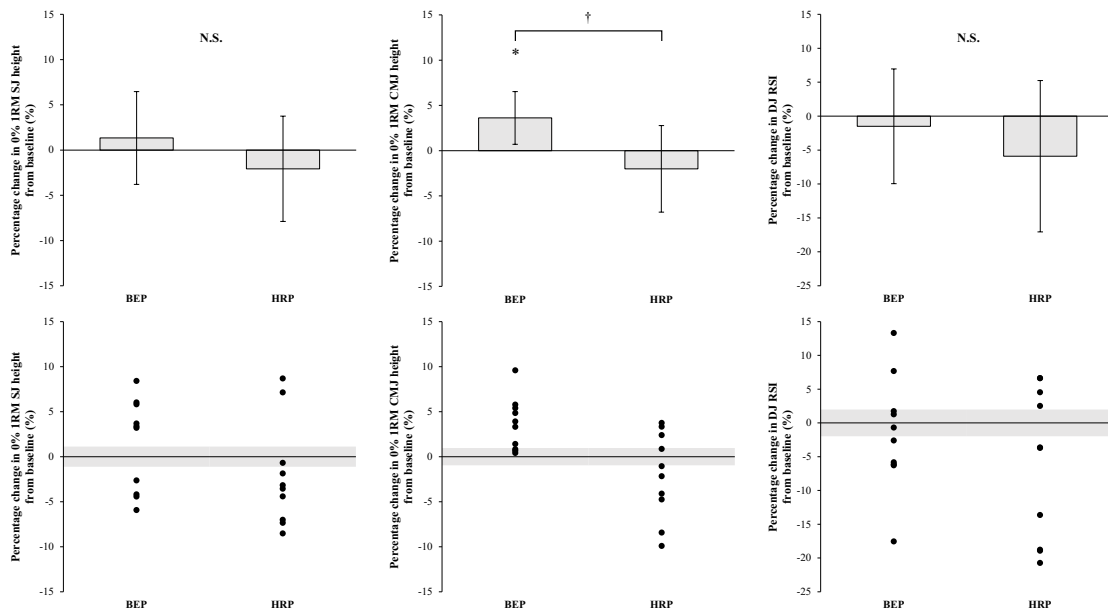


図 4-2. 0% 1RM SJ 高、0% 1RM CMJ 高および DJ RSI の baseline に対する変化率 (平均値 ± 標準偏差)。各変数の個別データを下段に示した。灰色は smallest worthwhile change ($0.2 \times$ 被験者間標準偏差) を表している。* baseline と有意差 ($p \leq 0.05$) ; † BEP 条件と HRP 条件との間で有意差 ($p \leq 0.05$) ; N.S. = not significant

表 4-1. SJ および CMJ の力-速度プロフィール変数 (平均値 ± 標準偏差)

Jump	Variable	BEP		HRP	
		baseline	24 h	baseline	24 h
SJ	F0 (N/kg)	35.13 ± 3.22	34.43 ± 3.17	35.52 ± 3.09	35.14 ± 3.08
	V0 (m/s)	2.76 ± 0.79	2.86 ± 0.80	2.71 ± 0.46	2.67 ± 0.29
	Pmax (W/kg)	24.00 ± 5.66	24.38 ± 5.59	23.97 ± 4.29	23.41 ± 3.37
	Sfv (N·s/kg/m)	-13.47 ± 3.40	-12.71 ± 3.00	-13.49 ± 2.70	-13.33 ± 1.86
CMJ	F0 (N/kg)	35.09 ± 3.21	34.21 ± 2.62	34.90 ± 3.02	34.53 ± 4.36
	V0 (m/s)	2.84 ± 0.60	2.98 ± 0.60*	2.88 ± 0.51	2.90 ± 0.64
	Pmax (W/kg)	24.78 ± 4.98	25.38 ± 4.96*	25.07 ± 4.68	24.91 ± 5.34
	Sfv (N·s/kg/m)	-12.83 ± 2.72	-11.88 ± 2.32*	-12.46 ± 2.36	-12.39 ± 3.02

F0, 理論上の最大出力; V0, 理論上の最大速度; Pmax, 理論上の最大パワー (F0·V0/4); Sfv, 力-速度直線の傾き (-F0/V0). * BEP 条件の baseline と有意差 ($p \leq 0.05$)

疲労感および筋肉痛の baseline 値は、BEP 条件と HRP 条件の間で有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。BEP および HRP 条件ではプライミングセッションを実施した 24 時間後の筋肉痛 (それぞれ+11.4 mm, 95% CI: 3.08 to 19.72 mm, $p = 0.031$, Cliff delta = 0.600; +15.4 mm, 95% CI: 4.01 to 26.79 mm, $p = 0.033$, $d = 1.122$) は baseline よりも有意に高値を示した (表 4-2) が、疲労感は両条件ともプライミングセッションの 24 時間後に有意な増加を示さなかった ($p > 0.05$)。BEP 条件と HRP 条件のセッション RPE (図 4-3) は同程度であった (それぞれ 3.70 ± 0.78 と 3.70 ± 0.64 , $p = 1.000$)。

表 4-2. 視覚的アナログスケールを用いて測定した疲労感と筋肉痛（平均値 ± 標準偏差）

	BEP		HRP	
	baseline	24 h	baseline	24 h
Fatigue (mm)	12.9 ± 8.9	16.7 ± 9.3	15.6 ± 14.7	21.0 ± 10.6
Muscle soreness (mm)	9.4 ± 12.8	20.8 ± 13.8*	12.0 ± 7.6	27.4 ± 17.9†

* BEP 条件の baseline と有意差 ($p \leq 0.05$) ; † HRP 条件の baseline と有意差 ($p \leq 0.05$)

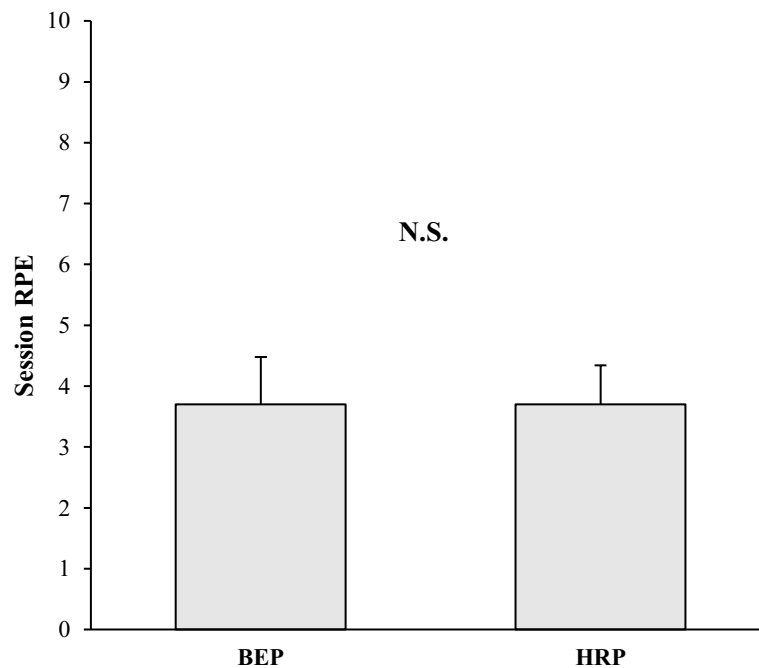


図 4-3. BEP および HRP のセッション RPE。N.S. = not significant

第 4 節 考察

本研究では、24 時間後のバリスティックパフォーマンスの改善において、BEP と HRP のどちらが効果的であるかを主に検討した。本研究の主な結果は、BEP が 24 時間後の CMJ パフォーマンス（無負荷 CMJ 高、CMJ V0 および CMJ Pmax）向上に有効であることを示唆している。一方、HRP では翌日のジャンプパフォーマンスに対する有意な効果は観察されなかった。さらに、BEP による無負荷

CMJ 高の向上は、HRP よりも有意に大きかった。これらの結果は、BEP が翌日の神経筋パフォーマンス向上に有効であり、その効果は HRP よりも大きいという仮説を支持したが、24 時間後の神経筋パフォーマンス向上には HRP も有効であるという仮説は支持されなかった。

本研究では、BEP が翌日の CMJ パフォーマンス（0% 1RM CMJ 高、CMJ V0 および CMJ Pmax）を特異的に改善し（図 4-2、表 4-1）、SJ パフォーマンス、DJ RSI、CMJ F0（低速での力発揮能力）は改善しないことが示された。BEP として実施したジャンプスクワットエクササイズは、伸張－短縮サイクルを用いる点、股関節伸展トルクの寄与度が高い点で、CMJ に近いと思われる^{23,32}。また、BEP は低負荷で実施したため、プライミング運動中の動作速度は比較的高かった⁹⁶。したがって、BEP は低速度よりもむしろ高速度での力発揮能力に対して、より特異的で効果的なプライミング刺激であった可能性がある¹⁰⁰。このことは、先行研究^{19,101}の結果とも一致する。これらの知見に基づき、本研究の結果は、プライミングエクササイズによる遅延増強が動作特異的かつ速度特異的に起こるという仮説に対して、さらなる強い根拠を与えることができる。さらに、BEP 条件による無負荷 CMJ 高の改善率は、HRP 条件よりも高かったことから（図 4-2）、BEP は翌日の神経筋パフォーマンス改善により有効なプライミング戦略であると考えることができる。

0% 1RM CMJ 高の BEP 条件に対する個人の反応を評価したところ、どの被験者も否定的な反応を示さなかったことは注目に値する（図 4-2）。BEP セッションの特徴は、最大動作意図で行われるプライミングエクササイズであるが、外部負荷は低い（40% 1RM）ことであった。Linnamo ら¹⁰⁶は、高重量負荷は、爆発的に実施される軽負荷よりも血中乳酸の蓄積と筋電活動の低下を伴う中枢および末梢由来の大きな疲労をもたらす可能性があることを示唆した。さらに、低い外部負荷を使用することで、運動を行うことによって誘発される筋損傷を

軽減できる可能性がある²²。これらの知見から、BEPは、その後の神経筋のパフォーマンスを低下させる負の要因を最小限に抑えるための適切なプライミング戦略であると思われる。

本研究は、午後に実施したHRPによる24時間後の神経筋パフォーマンスへの影響を調べた最初の研究である。Harrisonら⁵⁵は、午前中に実施した高負荷プライミング（67% 1RMで3回1セット、77% 1RMで3回1セット、87% 1RMで2回2セット）は、24時間後の無負荷SJおよびCMJ高を改善しなかったと報告している。本研究でもHRPを実施した24時間後のパフォーマンス改善は認められなかったため、HRPは日中のいつ実施しても24時間後のパフォーマンス改善には有効でない可能性があると考えられる。最大筋力などの身体パフォーマンスは午前よりも午後の方が高いことが報告されているが⁶¹、これらの知見を踏まえると、このような日内変動はプライミング運動から得られる刺激や効果に大きく影響しないのかもしれない。

BEPがジャンプパフォーマンスを向上させた一方で、HRPが向上させなかったことは、それぞれのプライミングエクササイズの動作特性に起因している可能性がある。BEPの特徴は、最大速度で運動を行おうとする意図と、運動全体を通して質量を加速させ続けることにある^{16,51}。このようなバリスティック運動は、レジスタンスエクササイズ中の大きな力発揮と筋活動を可能にする⁵¹。しかし、非バリスティック運動（バックスクワット）で行うHRPでは、挙上動作の最後に減速局面が発生する¹⁰⁷。レジスタンスエクササイズにおけるこの減速局面では、システム質量を超える大きな力が発揮されないため、運動全体を通しての運動単位の動員が最大化されない可能性がある^{16,51,107}。この減速局面の存在は、ジャンプのパフォーマンスを向上させるために重要なプライミング刺激を減衰させるのかもしれない。

HRP条件下でパフォーマンスが向上しなかったのは、潜在的な筋ダメージに

よっても説明できるかもしれない。実際、HRP は 24 時間後に筋肉痛の知覚を増加させた (表 4-2)。先行研究^{22,108}では、エキセントリック収縮を伴うより強度の高いレジスタンスエクササイズは、より大きな筋ダメージを誘発することが示唆されている。HRP と BEP はともにエキセントリック収縮を伴う運動であったが、HRP は BEP よりも高い強度で行われた (それぞれ 60%–85% 1RM vs. 40% 1RM)。したがって、プライミングエクササイズ (HRP) 中に高負荷を使用すると、潜在的な筋ダメージが増加し、パフォーマンスの向上が阻害される可能性がある。しかし、HRP がプライミングエクササイズとして有効である可能性を示唆する先行研究があることも事実である。例えば、Cook ら⁴⁷は、午前中に 3RM ベンチプレスとスクワットを行うことで、当日の午後の CMJ ピークパワー、40 m スプリントタイム、3RM ベンチプレスとスクワットパフォーマンスが向上したと報告している。さらに、González-García ら¹⁰⁹は、午前中に行った 80% 1RM ハーフスクワットにより、当日の午後の CMJ 高が有意に向上することを明らかにした。他の研究でも、HRP が有効なプライミング戦略であることが示されているが、いずれも神経筋パフォーマンスへの効果は、当日の午後 (6 時間後など) に示されている^{18,47,59,109}。以上の知見と本研究の結果から、HRP は試合当日の午前中に実施すると効果的であるが、前日に実施すると効果がない可能性がある。これは、運動後のパフォーマンス回復過程の特性によって説明できるかもしれない。Raastad ら²²は、高強度のレジスタンスエクササイズ (3RM スクワットなど) を実施した後、SJ のパフォーマンスが 5 分後に低下し、午後に回復した後、22 時間後に 2 度目の低下が起こることを観察した。大腿四頭筋のエキセントリック運動後、白血球の浸潤が徐々に増加し、運動後 20–25 時間で濃度が最大となることが報告されている¹¹⁰。さらに、マウスでは、運動後 24 時間の食細胞浸潤がタンパク質分解の増加と関連していることが示唆されている¹¹¹。このような生理学的メカニズムは、HRP の 24 時間後にパフォ

パフォーマンスが向上しないことと関係しているのかもしれない。今後の研究では、HRP がその後の神経筋のパフォーマンスにどのような影響を及ぼすのか、生理学的マーカーも含めて調査する必要がある。

BEP と HRP のセッション RPE は同程度であり（図 4-3）、これは両プロトコルの全体的な運動強度（ \approx 使用負荷 \times セット数 \times 回数 \times 運動時間/休息时间）¹⁰⁴ がほぼ同等であることを示している。いくつかの研究^{104,108,112}では、全体的な運動強度が高いほど、より大きな筋ダメージを誘発することが示されている。このことから、HRP に関連するパフォーマンス向上の欠如は、全体的な運動強度の違いによるものではないことが推測される。さらに、BEP が CMJ のパフォーマンスを有意に向上させたことから、HRP の全体的な運動強度はプライミング刺激として適切であったと思われる。実際、HRP も BEP も疲労感を有意に増加させることはなかった（表 4-2）。このことは、翌日の神経筋のパフォーマンスを向上させるためにレジスタンスプライミングを行う場合、高負荷を用いるという戦略自体が適切でない可能性を示唆している。さらに、本研究で実施した BEP と HRP のセッション RPE は、プライミング戦略を活用する実践者が実際に試合前日に処方する全体的な運動強度に近いものであった²⁰。したがって、本研究の結果は、現場のコーチやアスリートにとって、重要かつ実践的な意味を持つものと考えられる。

第 5 節 結論

これらの結果は、BEP が 24 時間後の CMJ パフォーマンス（無負荷 CMJ 高、CMJ V0 および CMJ Pmax）の向上に有効な戦略であることを示唆している。特に、無負荷 CMJ 高を向上させるためには、BEP は HRP よりも効果的なレジスタンスプライミング戦略である可能性が示唆された。さらに、HRP は、24 時間後の神経筋パフォーマンスの改善には有効でない可能性がある。したがって、

翌日のアスリートのパフォーマンスを向上させることを計画する場合、高負荷の伝統的なエクササイズではなく、低負荷のバリスティックエクササイズを用いたレジスタンスプライミングの処方を検討する必要がある。

第5章 総合論議

第2章では、予備的研究として、様々なバリスティックパフォーマンスの特異性について検討した。その結果、速いSSCを用いるDJのパフォーマンス(RSI)と、SSCを用いないSJおよび遅いSSCを用いるCMJのパフォーマンス(跳躍高およびカー速度プロフィール変数)との間に有意な相関関係は認められなかった。また、SJとCMJのカー速度プロフィールに関しても、V0とSfvにおいて有意な相関関係が認められず、有意な関連が認められた変数(自重跳躍高、F0、Pmax)についても高い決定係数は観察されなかったため、それぞれのカー速度プロフィール間において十分な互換性は存在しない可能性が示された。これらの結果から、様々なバリスティックパフォーマンスはそれぞれ特異的な資質を表すものであることが示唆された。したがって、本章では、SJ、CMJおよびDJのパフォーマンスがそれぞれ特異的な能力を反映しているものとして、以降の総合論議を進めていく。

第1節 遅延増強効果の特性

第3章の結果から、遅延増強効果には対象者の筋力レベルが影響することが明らかとなった。そこで、より多くのデータを用いて、筋力レベルと遅延増強効果との関係を明らかにするため、第3章($n=20$)と第4章($n=10$)で得られた合算データ($n=30$)を用いて、相対ハーフスクワット1RMとBEPによる遅延増強効果が認められた0%1RM CMJ高の変化率との相関関係をピアソンの積率相関係数を用いて検討した(図5-1)。その結果、相対ハーフスクワット最大筋力と0%1RM CMJのパフォーマンスの変化率との間に有意な強い正の相関関係($r=0.624, p<0.001$)が認められた。また、第3章において、遅延増強効果が観察されたStronger group(相対ハーフスクワット1RM = 1.93–2.67 kg/kg)と遅延増強効果が観察されなかったWeaker group(相対ハーフスクワット1RM

= 1.37–1.92 kg/kg) との間で、年齢、身長、体重、レジスタンストレーニング歴および競技歴といった相対下肢筋力以外の被験者特性には有意な差が認められなかった。これらの結果は、対象者の筋力レベルが遅延増強効果の大きな決定要因であることを示唆している。また、図 5-1 で示した回帰式の従属変数 y に 0 を代入すると、 $x = 1.81$ (小数第 3 位を四捨五入) という解が得られるため、無負荷 CMJ パフォーマンスにおける遅延増強効果を期待する場合は対象者のハーフスクワット 1RM が自体重の 1.81 倍以上であることが必要最低限の条件になると推察される。加えて、個別データに着目すると、ハーフスクワット 1RM が体重の 2 倍以上だった被験者においては、レジスタンスプライミングによる 0% 1RM CMJ パフォーマンスの低下が 1 名も観察されなかった。このことから、そのアスリートに対するレジスタンスプライミング処方のは是非を判断する際は、ハーフスクワット 1RM が体重の 2 倍以上であるかどうかというのが一つの基準となる可能性がある。一方で、筋力レベルが低い対象者にレジスタンスプライミングを処方することは、むしろ試合当日のパフォーマンスを低下させることにもつながりかねない。そのため、現場でレジスタンスプライミングを実施する際は、対象者の筋力が十分なレベル (例: 相対ハーフスクワット 1RM ≥ 2.0 kg/kg) に達しているかどうかを考慮した上で、慎重に実施の可否を判断することが求められるだろう。ただし、これらの知見は全て男性被験者から得られたデータに基づいているため、女性でも同様の筋力レベルが求められるとは限らない。したがって、今後は遅延増強効果の性差についても検討するとともに、女性アスリートを対象として、筋力レベルと遅延増強効果との関係を調査していく必要があると考えられる。

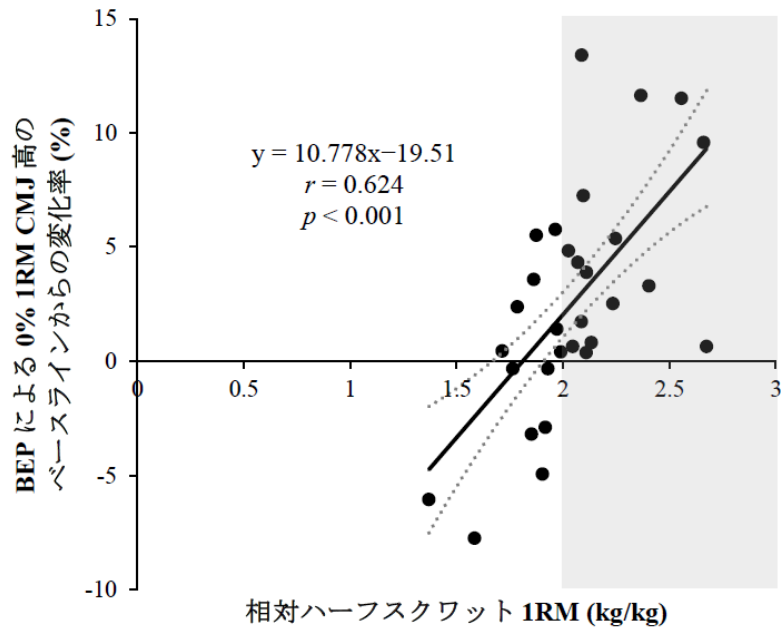


図 5-1. 第 3 章と第 4 章の合算 ($n = 30$) における相対下肢筋力と BEP 実施後の 0% 1RM CMJ 高の変化率との関係。点線は回帰直線の 95%信頼区間を、灰色は相対ハーフスクワット 1RM \geq 2.0 kg/kg の領域を示している。

本研究における遅延増強効果は、先行研究¹⁹でもその有効性が示されていた BEP プロトコルを実施した場合にだけ観察された。BEP プロトコルではジャンプスクワットエクササイズが用いられ、それによる遅延増強効果は SSC の利用および股関節伸展トルク寄与率の高さという観点で生体力学的に最も類似している CMJ パフォーマンスにおいて生じた。この結果は遅延増強効果がプライミングエクササイズに対して動作特異的に生じる可能性を示唆している。

さらに、本研究の大きな特色の一つとして、遅延増強効果をカー速度プロフィールの観点から評価したことがあげられる。本研究では、第 3 章および第 4 章ともに、BEP を実施することによって、CMJ の高速度領域における力発揮能力が特異的な向上を示した。この現象を、より多くのデータを基に分析するため、実際に遅延増強効果が観察された第 3 章の Stronger group ($n = 10$) および

第4章 ($n=10$) から得られた合算データ ($n=20$) を用いて、BEPによるCMJの力-速度プロフィールの変化を検討した(図5-2)。データの正規性をShapiro-Wilk検定を用いて確認した後、BEP実施前(baseline)と24時間後(24h)におけるCMJの力-速度プロフィール変数(F0、V0、Pmax、Sfv)を、対応のある t 検定(ノンパラメトリックデータに関してはWilcoxonの符号順位和検定)を用いて比較した。その結果、24hにおけるCMJ V0とCMJ Pmaxはbaselineと比較して有意な向上(それぞれ+8.13%, $p < 0.001$; +4.38%, $p < 0.001$)を示した。一方、24hにおけるCMJ F0とCMJ Sfvはbaselineと比較して有意な低下(それぞれ-3.20%, $p = 0.009$; -9.83%, $p < 0.001$)を示した。これらの結果から、BEPはCMJの中速度(Pmax)および高速度(V0)領域における力発揮能力を特異的に向上させ、力-速度プロフィールを速度寄りに変化させる可能性が高いと考えられる。また、低速度領域の力発揮能力(F0)に関して、第3章および第4章それぞれの研究では有意な変化は認められなかったが、上記の追加分析においては有意な低下が認められた。これらの知見を踏まえると、試合前日に実施するBEPは、比較的高速な運動(ジャンプなど)における力発揮能力を高めたいアスリートにとっては有効な戦略になると考えられるが、低速な運動における力発揮能力が重要となるアスリート(パワーリフターなど)に対しては推奨されず、むしろパフォーマンス低下のリスクを高めてしまう可能性があるとも考えられる。

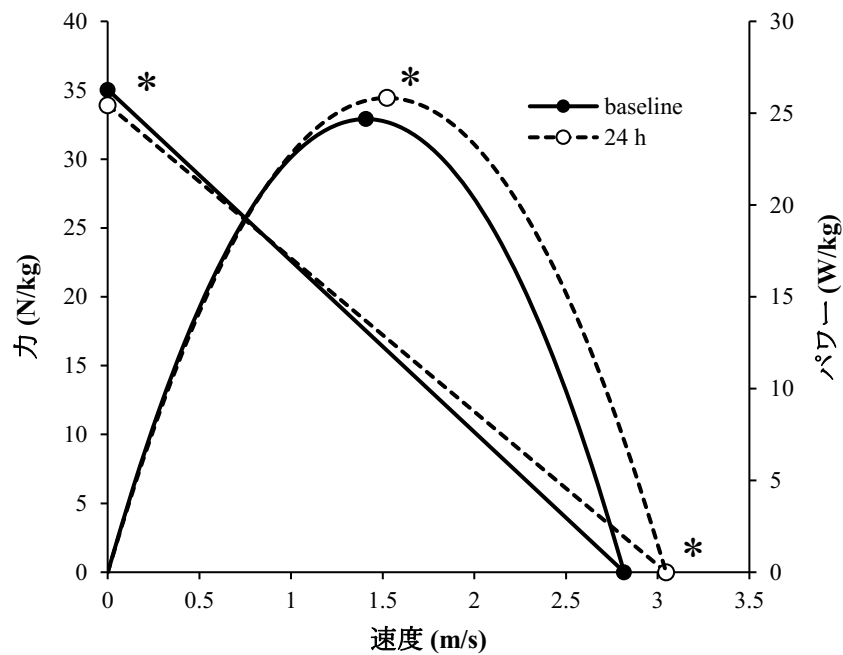


図 5-2. 第 3 章の Stronger group と第 4 章の合算 ($n = 20$) における BEP による CMJ の力-速度プロフィールの変化。* baseline と有意差 ($p \leq 0.05$)

これらの知見をまとめると、レジスタンスプライミングによる遅延増強効果は、① 対象者の筋力レベル、② プライミングエクササイズの動作特異性、③ プライミングエクササイズの速度特異性、という少なくとも 3 つのフィルターを通された結果として表れてくるものであると考えることができる (図 5-3)。

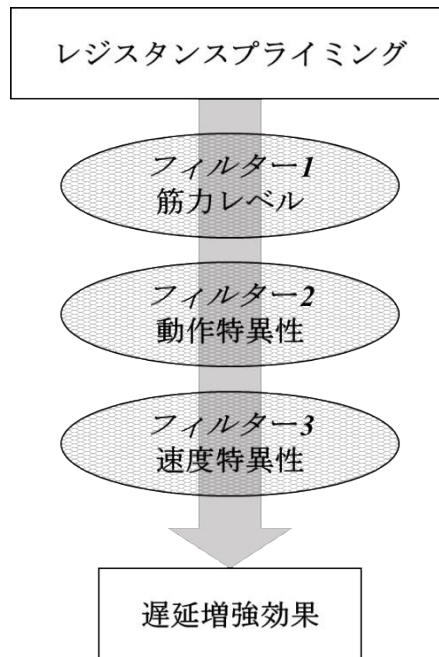


図 5-3. レジスタンスプライミングによる遅延増強効果の発生イメージ

第 2 節 適切なプライミングエクササイズ戦略

第 4 章では、Harrison ら¹⁸のレビューにおいて最も有効なプライミングエクササイズであることが示唆されていた BEP と HRP によるバリスティックパフォーマンスの向上効果を比較した。その結果、BEP は動作特性が類似している CMJ の中～高速度領域における力発揮能力を特異的に向上させたが、HRP によるバリスティックパフォーマンスの向上効果は確認されなかった。CMJ パフォーマンスがスプリント走や方向転換走といったパフォーマンスと強く関連することを踏まえると、これらの知見は、翌日の競技パフォーマンス向上を目指すアスリートにとって、BEP がより効果的なプライミングエクササイズ戦略になり得ることを示唆している。加えて、BEP が当日の午後に遅延増強を生じさせたとする報告²¹と、HRP が当日の午後の神経筋パフォーマンス向上に対しては効果的であることを示唆する先行研究^{47,59,109,113}を踏まえると、当日の午後のパフォーマンス向上を目的とする場合は BEP と HRP の両方が、翌日のパフォ

パフォーマンス向上を目的とする場合は BEP が効果的なプライミングエクササイズ戦略となり得る可能性が考えられる（図 5-4 および表 5-1）。

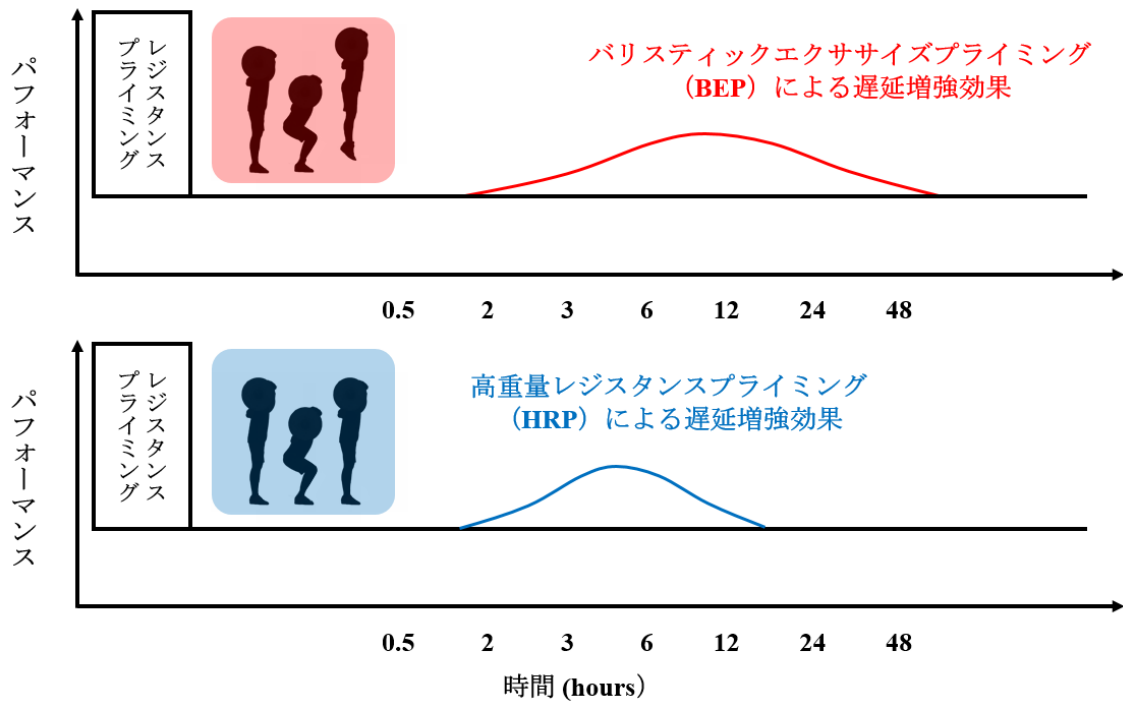


図 5-4. 先行研究および本研究で得られた知見から想定される BEP と HRP による遅延増強効果の経時変化

表 5-1. 先行研究および本研究で得られた知見から想定される BEP と HRP の適切な処方タイミング

	試合当日 (例：6 時間前)	試合前日 (例：24 時間前)
BEP	○	○
HRP	○	×

○, 効果あり; ×, 効果なし

本研究では、HRPもBEPと同様に効果的な試合前日のレジスタンスプライミングであるという仮説のもと、HRPの有効性を検証したが、この仮説は支持されなかった。HRPによる遅延向上効果が観察されなかった要因の一つとしては、バリスティックパフォーマンスとの動作特性の乖離があげられる。Loturcoら¹¹⁴はジャンプスクワットの1RMがハーフスクワット1RMの約86%であることを報告しており、HRPではハーフスクワットの85%1RMという高い負荷が使用された。この負荷はジャンプスクワット1RMとほぼ同等の負荷であることが推察される。そのため、HRPプロトコルでバリスティックな動作を対象者に行わせるのは非常に困難であり、仮にそのような高負荷でジャンプすることが可能であったとしても、着地衝撃による傷害リスク等を考慮するとスポーツ現場での実施は非現実的である。これらを踏まえると、高負荷を用いたプライミングエクササイズにおいて、バリスティックパフォーマンスに特異的な運動様式を採用することは難しい。そのため、動作特異性という観点で、HRPは効果的なレジスタンスプライミング刺激を得にくいプロトコルであると考えられる。また、本研究では、バーベルの下降動作（エキセントリック局面）を含む伝統的なレジスタンスエクササイズを採用してHRPプロトコルを実施した。しかし、伸張性運動を高負荷で行うと、筋ダメージの発生リスクが高まってしまう¹⁰⁸。神経筋パフォーマンス低下の要因となる筋ダメージの発生を最小限に抑えるためには、挙上動作（コンセントリック局面）のみを実施するレジスタンスエクササイズや、比較的小さい着地衝撃で実施できるパワークリーンなどのウエイトリフティング系種目が、より適切な高負荷プライミングエクササイズとなる可能性が考えられる。

前節で述べた遅延増強効果の特性を踏まえると、より効果的なプライミングエクササイズを選択する際には、高めたいパフォーマンスに対して動作特異的かつ速度特異的な運動様式を検討することが重要であると考えられる。近年で

は、スポーツパフォーマンスに特異的なトレーニング戦略が検討されており、その代表例としてレジステッドスプリント(例:そり牽引走)トレーニング^{115,116}がある。レジステッドスプリントによる遅延増強効果を報告した研究は現時点ではまだなされていないが、前述した遅延増強効果の特性を踏まえると、レジステッドスプリントがスプリント走パフォーマンス向上に対して効果的なレジスタンスプライミング戦略となる可能性は十分に考えられるため、今後のさらなる検証が期待されるだろう。

適切なプライミングエクササイズ戦略を検討していく上では、エクササイズボリューム(負荷量 = 強度[% 1RM]×回数×セット数)も非常に重要な変数となる(表 1-2 および図 5-5 参照)^{18,43}。第 3 章では、BEP プロトコル自体の効果を検証するため、BEP を実施しないコントロール条件を設定した。コントロール条件では、BEP を除く、動的ウォーミングアップや無負荷および荷重条件でのジャンプパフォーマンス測定(計 15 試技)が実施されたため、少なくともこれらの運動によるプライミング刺激が被験者に加わっていたことが推察される。しかし、コントロール条件では、BEP による遅延増強効果が確認された被験者(Stronger group)においても、バリスティックパフォーマンスの向上は認められなかった。レジスタンスプライミングは非常に少ないボリュームで実施されるのが一般的^{18,20,43}であるが、第 3 章の結果を踏まえると、そのボリュームは少なければ少ないほど効果的であるとは考えにくい。一方、プライミングエクササイズのボリュームを増やし過ぎても過度な疲労が誘発されてしまうため⁵⁷、本研究の結果はレジスタンスプライミングにおける至適ボリュームの存在を示唆するものであると考えられる。

Holmberg ら⁴³が示したモデルと本研究で得られた知見を基にして作成したプライミングエクササイズ戦略の決定木を図 5-5 に示した。Holmberg ら⁴³は、プライミングエクササイズを選択する際に、実際に行うエクササイズプロトコ

ルの内容だけでなく、プライミング後に生じる反応の特性やそのメカニズムおよび対象者の特徴についても検討することの重要性を示唆している。本研究は、プライミング後反応に影響を与える「対象者の筋力レベル」という要因を明らかにし、運動課題の動作特異性および速度特異性に着目することの重要性を示したという点で、Holmberg らの決定木作成に大きくかかわる知見を提供できたと考えられる。最適なプライミングエクササイズを明らかにするためには今後もさらなる検討が必要であるが、本研究によって得られた知見を踏まえると、スポーツ現場において、より効果的なレジスタンスプライミングの処方を検討する際には、運動課題の特異性や負荷量、対象者の特性といった様々な要因を考慮に入れた上で、レジスタンスプライミング戦略を立案することが重要となるだろう。

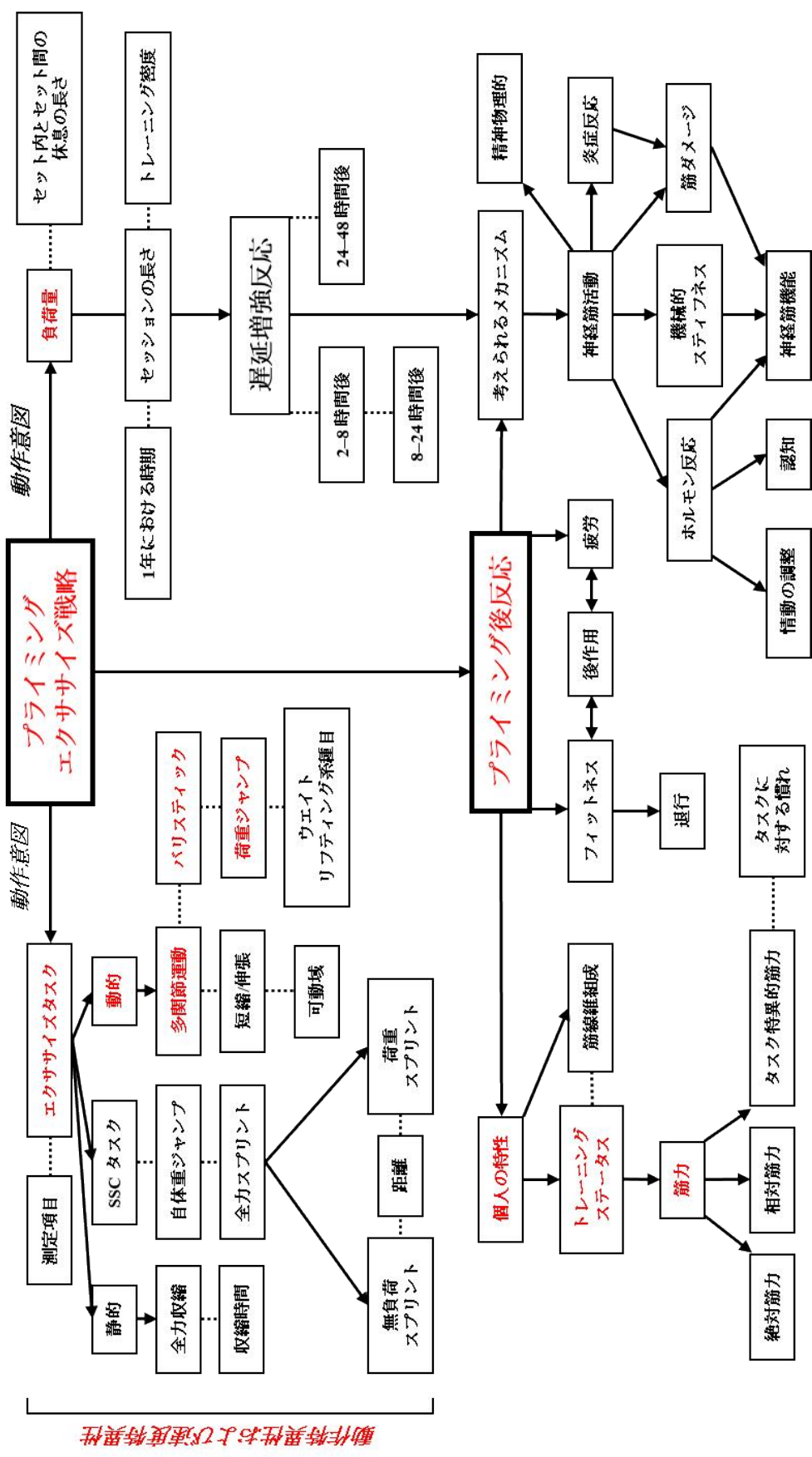


図 5-5. プライミングエクササイズ戦略の決定木 (Holmberg et al. [2022] を基に作成)。赤文字は本研究で得られた知見に関連する要素。

第3節 今後の展望

本研究は、① 遅延増強効果が期待される対象者の特性、② プライミングエクササイズと遅延増強効果における動作特異性および速度特異性、③ より効果的なレジスタンスプライミングプロトコルを示したという点で、今後のレジスタンスプライミング研究の基礎となる知見を提供することができたと考えられる。ただし、本研究で得られた知見は全てジャンプパフォーマンスの結果に基づいており、スプリントや方向転換走、持久的なパフォーマンスなどに対して、本研究で用いたレジスタンスプライミングプロトコルがどのような影響を与えるかは不明である。また、本研究では交絡因子の影響を可能な限り排除するため、プライミングエクササイズやパフォーマンス測定以外の特別な運動負荷が被験者にかからないよう統制した。しかし、チームスポーツ現場においては、試合前日および当日に、低強度の競技特異的なトレーニング（技術・戦術確認など）が実施される場合が多い^{20,43}。これらの身体活動は、本研究で用いたレジスタンスプライミングプロトコルの結果に少なからず影響を与える可能性が考えられる。また、実際のスポーツ現場では試合の直前に様々なピーキング戦略（例：テーパリング）やリカバリー戦略（例：マッサージ）が用いられる^{107,117,118}。これらの戦略と遅延増強効果との相互作用について検討することは、現場の指導者にとって実践的かつ重要な知見を提供することにつながるだろう。したがって、今後の研究ではジャンプパフォーマンス以外の様々な競技パフォーマンスを対象として、より現場での実践に近い形でレジスタンスプライミングの効果を検討していく必要があると考えられる。

第 6 章 結論

本論文では、遅延増強効果の特性を明らかにした上で、より効果的なレジスタンスプライミングプロトコルを提示することを目的とした。本研究の結果、以下の結論が得られた。

- レジスタンスプライミングによるバリスティックパフォーマンスの向上効果は筋力レベルの高い対象者において生じやすい。
- 遅延増強効果はプライミングエクササイズに対して動作特異的かつ速度特異的に生じる可能性がある。
- 24 時間後のバリスティックパフォーマンスにおける遅延増強を目的とする場合、伝統的な高負荷レジスタンスエクササイズと比較して、軽負荷のバリスティックエクササイズをレジスタンスプライミングに用いた方が、より大きなパフォーマンス向上効果が期待される。

これらの知見より、スポーツ現場においてレジスタンスプライミングを実施および処方する際は、対象者の筋力レベルに十分配慮した上で、高めたいパフォーマンスに対して動作特異的かつ速度特異的なエクササイズを選択することが推奨されると考えられる。

参考文献

1. Seitz LB, Haff GG. Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: A systematic review with meta-analysis. *Sport Med.* 2016;46(2):231-240. doi:10.1007/s40279-015-0415-7
2. Samozino P, Rejc E, Prampero PE di, Belli A, Morin J-B. Optimal force–velocity profile in ballistic movements—Altius: Citius or fortius? *Med Sci Sport Exerc.* 2012;44(2):313-322. doi:10.1249/MSS.0b013e31822d757a
3. Samozino P, Edouard P, Sangnier S, Brughelli M, Gimenez P, Morin J-B. Force-velocity profile: Imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *Int J Sports Med.* 2014;35(6):505-510. doi:10.1055/s-0033-1354382
4. Washif JA, Kok L-Y. Relationships between vertical jump metrics and sprint performance, and qualities that distinguish between faster and slower sprinters. *J Sci Sport Exerc.* 2022;4(2):135-144. doi:10.1007/s42978-021-00122-4
5. Katsumata K, Aoki K. Jumping ability is related to change of direction ability in elite handball players. *J Electromyogr Kinesiol.* 2021;60(June):102575. doi:10.1016/j.jelekin.2021.102575
6. Cronin JB, Hansen KT. Strength and power predictors of sports speed. *J Strength Cond Res.* 2005;19(2):349-357. doi:10.1519/14323.1
7. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH. The importance of muscular strength: Training considerations. *Sport Med.* 2018;48(4):765-785. doi:10.1007/s40279-018-0862-z
8. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Changes in the eccentric phase

- contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training. *Med Sci Sport Exerc.* 2010;42(9):1731-1744. doi:10.1249/MSS.0b013e3181d392e8
9. Cormie P, McBride JM, McCaulley GO. Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: Impact of training. *J Strength Cond Res.* 2009;23(1):177-186. doi:10.1519/JSC.0b013e3181889324
 10. Wilson JMC, Duncan NM, Marin PJ, et al. Meta-analysis of postactivation potentiation and power: Effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *J Strength Cond Res.* 2013;27(3):854-859. doi:10.1519/JSC.0b013e31825c2bdb
 11. Gouvêa AL, Fernandes IA, César EP, Silva WAB, Gomes PSC. The effects of rest intervals on jumping performance: A meta-analysis on post-activation potentiation studies. *J Sports Sci.* 2013;31(5):459-467. doi:10.1080/02640414.2012.738924
 12. Suchomel TJ, Lamont HS, Moir GL. Understanding vertical jump potentiation: a deterministic model. *Sport Med.* 2016;46(6):809-828. doi:10.1007/s40279-015-0466-9
 13. Prieske O, Behrens M, Chaabene H, Granacher U, Maffiuletti NA. Time to differentiate postactivation “potentiation” from “performance enhancement” in the strength and conditioning community. *Sport Med.* 2020;50(9):1559-1565. doi:10.1007/s40279-020-01300-0
 14. Boullosa D, Beato M, Dello Iacono A, et al. A new taxonomy for postactivation potentiation in sport. *Int J Sports Physiol Perform.* 2020;15(8):1197-1200. doi:10.1123/ijsp.2020-0350
 15. Cormier P, Freitas TT, Loturco I, et al. Within session exercise sequencing during programming for complex training: Historical perspectives,

- terminology, and training considerations. *Sport Med.* 2022;52(10):2371-2389. doi:10.1007/s40279-022-01715-x
16. Maloney SJ, Turner AN, Fletcher IM. Ballistic exercise as a pre-activation stimulus: A review of the literature and practical applications. *Sport Med.* 2014;44(10):1347-1359. doi:10.1007/s40279-014-0214-6
 17. Chiu LZF, Fry AC, Weiss LW, Schilling BK, Brown LE, Smith SL. Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *J Strength Cond Res.* 2003;17(4):671-677. doi:10.1519/1533-4287(2003)017<0671:PPRIAA>2.0.CO;2
 18. Harrison PW, James LP, McGuigan MR, Jenkins DG, Kelly VG. Resistance priming to enhance neuromuscular performance in sport: Evidence, potential mechanisms and directions for future research. *Sport Med.* 2019;49(10):1499-1514. doi:10.1007/s40279-019-01136-3
 19. Tsoukos A, Veligekas P, Brown LE, Terzis G, Bogdanis GC. Delayed effects of a low-volume, power-type resistance exercise session on explosive performance. *J Strength Cond Res.* 2018;32(3):643-650. doi:10.1519/JSC.0000000000001812
 20. Harrison PW, James LP, McGuigan MR, Jenkins DG, Kelly VG. Prevalence and application of priming exercise in high performance sport. *J Sci Med Sport.* 2020;23(3):297-303. doi:10.1016/j.jsams.2019.09.010
 21. Saez Saez de Villarreal E, González-Badillo JJ, Izquierdo M. Optimal warm-up stimuli of muscle activation to enhance short and long-term acute jumping performance. *Eur J Appl Physiol.* 2007;100(4):393-401. doi:10.1007/s00421-007-0440-9
 22. Raastad T, Hallén J. Recovery of skeletal muscle contractility after high- and

- moderate-intensity strength exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2000;82(3):206-214.
doi:10.1007/s004210050673
23. Van Hooren B, Zolotarjova J. The difference between countermovement and squat jump performances: A review of underlying mechanisms with practical applications. *J Strength Cond Res*. 2017;31(7):2011-2020.
doi:10.1519/JSC.0000000000001913
24. Jarvis P, Turner A, Read P, Bishop C. Reactive strength index and its associations with measures of physical and sports performance: A systematic review with meta-analysis. *Sport Med*. 2022;52(2):301-330.
doi:10.1007/s40279-021-01566-y
25. Nishioka T, Okada J. Associations of maximum and reactive strength indicators with force–velocity profiles obtained from squat jump and countermovement jump. Abián-Vicén J, ed. *PLoS One*. 2022;17(10):e0276681.
doi:10.1371/journal.pone.0276681
26. Cross MR, Rivière JR, Van Hooren B, et al. The effect of countermovement on force production capacity depends on extension velocity: A study of alpine skiers and sprinters. *J Sports Sci*. 2021;39(16):1882-1892.
doi:10.1080/02640414.2021.1906523
27. Baena-Raya A, García-Mateo P, García-Ramos A, Rodríguez-Pérez MA, Soriano-Maldonado A. Delineating the potential of the vertical and horizontal force-velocity profile for optimizing sport performance: A systematic review. *J Sports Sci*. 2022;40(3):331-344. doi:10.1080/02640414.2021.1993641
28. Morin J-B, Samozino P. Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;11(2):267-272. doi:10.1123/ijsp.2015-0638

29. Samozino P, Morin J-B, Hintzy F, Belli A. A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *J Biomech.* 2008;41(14):2940-2945. doi:10.1016/j.jbiomech.2008.07.028
30. Samozino P, Morin J-B, Hintzy F, Belli A. Jumping ability: A theoretical integrative approach. *J Theor Biol.* 2010;264(1):11-18. doi:10.1016/j.jtbi.2010.01.021
31. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Pareja-Blanco F, et al. Validity of a simple method for measuring force-velocity-power profile in countermovement jump. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12(1):36-43. doi:10.1123/IJSP.2015-0484
32. Bobbert MF, Huijing PA, van Ingen Schenau GJ. Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sci Sports Exerc.* 1987;19(4):332-338. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29178759>.
33. Pedley JS, Lloyd RS, Read P, Moore IS, Oliver JL. Drop jump: A technical model for scientific application. *Strength Cond J.* 2017;39(5):36-44. doi:10.1519/SSC.0000000000000331
34. Furlong LM, Harrison AJ, Jensen RL. Measures of strength and jump performance can predict 30-m sprint time in rugby union players. *J Strength Cond Res.* 2021;35(9):2579-2583. doi:10.1519/JSC.0000000000003170
35. Ebben WP, Hintz MJ, Simenz CJ. Strength and conditioning practices of major league baseball strength and conditioning coaches. *J Strength Cond Res.* 2005;19(3):538-546. doi:10.1519/R-15464.1
36. Ebben WP, Carroll RM, Simenz CJ. Strength and conditioning practices of national hockey league strength and conditioning coaches. *J Strength Cond Res.* 2004;18(4):889-897. doi:10.1519/14133.1

37. Simenz CJ, Dugan CA, Ebben WP. Strength and conditioning practices of national basketball association strength and conditioning coaches. *J Strength Cond Res.* 2005;19(3):495-504. doi:10.1519/15264.1
38. Jones TW, Smith A, Macnaughton LS, French DN. Strength and conditioning and concurrent training practices in elite rugby union. *J Strength Cond Res.* 2016;30(12):3354-3366. doi:10.1519/JSC.0000000000001445
39. Case MJ, Knudson D V., Downey DL. Barbell squat relative strength as an identifier for lower extremity injury in collegiate athletes. *J Strength Cond Res.* 2020;34(5):1249-1253. doi:10.1519/JSC.0000000000003554
40. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. *Sport Med.* 2016;46(10):1419-1449. doi:10.1007/s40279-016-0486-0
41. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Brughelli M, Morin J. Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Front Physiol.* 2017;7(January):1-13. doi:10.3389/fphys.2016.00677
42. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Morin J-B. Optimized training for jumping performance using the force-velocity imbalance: Individual adaptation kinetics. Boulosa D, ed. *PLoS One.* 2019;14(5):e0216681. doi:10.1371/journal.pone.0216681
43. Holmberg PM, Harrison PW, Jenkins DG, Kelly VG. Factors modulating the priming response to resistance and stretch-shortening cycle exercise stimuli. *Strength Cond J.* 2022;Publish Ah. doi:10.1519/SSC.0000000000000728
44. Blazeovich AJ, Babault N. Post-activation potentiation versus post-activation performance enhancement in humans: Historical perspective, underlying mechanisms, and current issues. *Front Physiol.* 2019;10.

doi:10.3389/fphys.2019.01359

45. Healy R, Comyns TM. The application of postactivation potentiation methods to improve sprint speed. *Strength Cond J*. 2017;39(1):1-9.
doi:10.1519/SSC.0000000000000276
46. Fry AC, Stone MH, Thrush JT, Fleck SJ. Precompetition training sessions enhance competitive performance of high anxiety junior weightlifters. *J Strength Cond Res*. 1995;9(1):37-42.
47. Cook CJ, Kilduff LP, Crewther BT, Beaven M, West DJ. Morning based strength training improves afternoon physical performance in rugby union players. *J Sci Med Sport*. 2014;17(3):317-321.
doi:10.1016/j.jsams.2013.04.016
48. Sotiropoulos K, Smilios I, Christou M, et al. Effects of warm-up on vertical jump performance and muscle electrical activity using half-squats at low and moderate intensity. *J Sports Sci Med*. 2010;9(2):326-331.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24149703>.
49. Fukutani A, Takei S, Hirata K, Miyamoto N, Kanehisa H, Kawakami Y. Influence of the intensity of squat exercises on the subsequent jump performance. *J Strength Cond Res*. 2014;28(8):2236-2243.
doi:10.1519/JSC.0000000000000409
50. Deschenes M. Short review: Rate coding motor unit recruitment patterns. *J Strength Cond Res*. 1989;3(2):34. doi:10.1519/1533-4287(1989)003<0034:SRRCMU>2.3.CO;2
51. Newton RU, Kraemer WJ, Häkkinen K, Humphries BJ, Murphy AJ. Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements. *J Appl Biomech*. 1996;12(1):31-43. doi:10.1123/jab.12.1.31

52. Lake JP, Mundy PD, Comfort P, McMahon JJ, Suchomel TJ, Carden P. Effect of barbell load on vertical jump landing force-time characteristics. *J Strength Cond Res.* 2021;35(1):25-32. doi:10.1519/JSC.0000000000002554
53. Songsupap T, Newton RU, Lawsirirat C. Balancing injury risk and power development by weighted jump squat through controlling eccentric loading. *J Strength Cond Res.* 2021;35(11):2999-3005. doi:10.1519/JSC.0000000000004074
54. Hori N, Newton RU, Kawamori N, et al. Comparison of weighted jump squat training with and without eccentric braking. *J Strength Cond Res.* 2008;22(1):54-65. doi:10.1519/JSC.0b013e31815ef052
55. Harrison PW, James LP, Jenkins DG, McGuigan MR, Schuster RW, Kelly VG. Time course of neuromuscular, hormonal, and perceptual responses following moderate- and high-load resistance priming exercise. *Int J Sports Physiol Perform.* 2021;16(10):1472-1482. doi:10.1123/ijsp.2020-0646
56. Sundstrup E, Jakobsen MD, Andersen CH, Zebis MK, Mortensen OS, Andersen LL. Muscle activation strategies during strength training with heavy loading vs. repetitions to failure. *J Strength Cond Res.* 2012;26(7):1897-1903. doi:10.1519/JSC.0b013e318239c38e
57. Bartolomei S, Sadres E, Church DD, et al. Comparison of the recovery response from high-intensity and high-volume resistance exercise in trained men. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117(7):1287-1298. doi:10.1007/s00421-017-3598-9
58. Russell M, King A, Bracken RM, Cook CJ, Giroud T, Kilduff LP. A comparison of different modes of morning priming exercise on afternoon performance. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016;11(6):763-767.

doi:10.1123/ijsspp.2015-0508

59. Mason B, McKune A, Pumpa K, Ball N. The use of acute exercise interventions as game day priming strategies to improve physical performance and athlete readiness in team-sport athletes: A systematic review. *Sport Med.* 2020;50(11):1943-1962. doi:10.1007/s40279-020-01329-1
60. Seitz LB, de Villarreal ES, Haff GG. The temporal profile of postactivation potentiation is related to strength level. *J Strength Cond Res.* 2014;28(3):706-715. doi:10.1519/JSC.0b013e3182a73ea3
61. Knaier R, Qian J, Roth R, et al. Diurnal variation in maximum endurance and maximum strength performance: A systematic review and meta-analysis. *Med Sci Sport Exerc.* 2022;54(1):169-180. doi:10.1249/MSS.0000000000002773
62. Morin J-B, Jiménez-Reyes P, Brughelli M, Samozino P. When jump height is not a good indicator of lower limb maximal power output: Theoretical demonstration, experimental evidence and practical solutions. *Sport Med.* 2019;49(7):999-1006. doi:10.1007/s40279-019-01073-1
63. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Cuadrado-Peñafiel V, Conceição F, González-Badillo JJ, Morin J-B. Effect of countermovement on power–force–velocity profile. *Eur J Appl Physiol.* 2014;114(11):2281-2288. doi:10.1007/s00421-014-2947-1
64. Bridgeman LA, McGuigan MR, Gill ND, Dulson DK. Relationships between concentric and eccentric strength and countermovement jump performance in resistance trained men. *J Strength Cond Res.* 2018;32(1):255-260. doi:10.1519/JSC.0000000000001539
65. Ramirez-Campillo R, Alvarez C, García-Pinillos F, et al. Optimal reactive strength index: Is it an accurate variable to optimize plyometric training

- effects on measures of physical fitness in young soccer players? *J Strength Cond Res*. 2018;32(4):885-893. doi:10.1519/JSC.0000000000002467
66. Byrne PJ, Moran K, Rankin P, Kinsella S. A comparison of methods used to identify 'optimal' drop height for early phase adaptations in depth jump training. *J Strength Cond Res*. 2010;24(8):2050-2055. doi:10.1519/JSC.0b013e3181d8eb03
67. Wisløff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med*. 2004;38(3):285-288. doi:10.1136/bjism.2002.002071
68. Harry JR, Blinch J, Barker LA, Krzyszkowski J, Chowning L. Low-pass filter effects on metrics of countermovement vertical jump performance. *J Strength Cond Res*. 2022;36(5):1459-1467. doi:10.1519/JSC.0000000000003611
69. Owen NJ, Watkins J, Kilduff LP, Bevan HR, Bennett MA. Development of a criterion method to determine peak mechanical power output in a countermovement jump. *J Strength Cond Res*. 2014;28(6):1552-1558. doi:10.1519/JSC.0000000000000311
70. Linthorne NP. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *Am J Phys*. 2001;69(11):1198-1204. doi:10.1119/1.1397460
71. Rivière J, Rossi J, Jimenez-Reyes P, Morin J-B, Samozino P. Where does the one-repetition maximum exist on the force-velocity relationship in squat? *Int J Sports Med*. 2017;38(13):1035-1043. doi:10.1055/s-0043-116670
72. García-Ramos A, Pérez-Castilla A, Jaric S. Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps. *Sport Biomech*. 2021;20(3):274-289.

doi:10.1080/14763141.2018.1545044

73. Prince C, Morin J-B, Mendiguchia J, et al. Sprint specificity of isolated hamstring-strengthening exercises in terms of muscle activity and force production. *Front Sport Act Living*. 2021;2(January):211.
doi:10.3389/fspor.2020.609636
74. Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med*. 2016;15(2):155-163.
doi:10.1016/j.jcm.2016.02.012
75. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33(1):159-174.
76. Cormack SJ, Newton RU, McGuigan MR, Doyle TLA. Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *Int J Sports Physiol Perform*. 2008;3(2):131-144. doi:10.1123/ijsp.3.2.131
77. Akoglu H. User's guide to correlation coefficients. *Turkish J Emerg Med*. 2018;18(3):91-93. doi:10.1016/j.tjem.2018.08.001
78. Kopper B, Csende Z, Trzaskoma L, Tihanyi J. Stretch-shortening cycle characteristics during vertical jumps carried out with small and large range of motion. *J Electromyogr Kinesiol*. 2014;24(2):233-239.
doi:10.1016/j.jelekin.2014.01.001
79. Bobbert MF, Gerritsen KGM, Litjens MCA, Soest AJ Van. Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Med Sci Sport Exerc*. 1996;28(11):1402-1412. doi:10.1097/00005768-199611000-00009
80. Van Hooren B, Bosch F. Influence of muscle slack on high-intensity sport performance: A review. *Strength Cond J*. 2016;38(5):75-87.
doi:10.1519/SSC.0000000000000251

81. Kozinc Ž, Žitnik J, Smajla D, Šarabon N. The difference between squat jump and countermovement jump in 770 male and female participants from different sports. *Eur J Sport Sci.* 2022;22(7):985-993.
doi:10.1080/17461391.2021.1936654
82. Cavagna GA, Dusman B, Margaria R. Positive work done by a previously stretched muscle. *J Appl Physiol.* 1968;24(1):21-32.
doi:10.1152/jappl.1968.24.1.21
83. Duthie GM, Young WB, Aitken DA. The acute effects of heavy loads on jump squat performance: An evaluation of the complex and contrast methods of power development. *J Strength Cond Res.* 2002;16(4):530-538.
doi:10.1519/1533-4287(2002)016<0530:TAEOHL>2.0.CO;2
84. Hanson ED, Leigh S, Mynark RG. Acute effects of heavy- and light-load squat exercise on the kinetic measures of vertical jumping. *J Strength Cond Res.* 2007;21(4):1012-1017. doi:10.1519/R-20716.1
85. Schneiker KT, Fyfe JJ, Billaut F, Bishop DJ. Power-to-strength ratio influences performance enhancement with contrast training. *Med Sci Sport Exerc.* 2018;50(7):1422-1432. doi:10.1249/MSS.0000000000001576
86. Jo E, Judelson DA, Brown LE, Coburn JW, Dabbs NC. Influence of recovery duration after a potentiating stimulus on muscular power in recreationally trained individuals. *J Strength Cond Res.* 2010;24(2):343-347.
doi:10.1519/JSC.0b013e3181cc22a4
87. Kilduff LP, Bevan HR, Kingsley MIC, et al. Postactivation potentiation in professional rugby players: Optimal recovery. *J Strength Cond Res.* 2007;21(4):1134-1138. doi:10.1519/R-20996.1
88. Mason BRJ, Argus CK, Norcott B, Ball NB. Resistance training priming

- activity improves upper-body power output in rugby players: Implications for game day performance. *J Strength Cond Res.* 2017;31(4):913-920.
doi:10.1519/JSC.0000000000001552
89. Turki O, Chaouachi A, Drinkwater EJ, et al. Ten minutes of dynamic stretching is sufficient to potentiate vertical jump performance characteristics. *J Strength Cond Res.* 2011;25(9):2453-2463.
doi:10.1519/JSC.0b013e31822a5a79
90. Pérez-Castilla A, Comfort P, McMahon JJ, Pestaña-Melero FL, García-Ramos A. Comparison of the force-, velocity-, and power-time curves between the concentric-only and eccentric-concentric bench press exercises. *J Strength Cond Res.* 2020;34(6):1618-1624. doi:10.1519/JSC.0000000000002448
91. Claudino JG, Cronin J, Mezêncio B, et al. The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2017;20(4):397-402. doi:10.1016/j.jsams.2016.08.011
92. Thomas K, Brownstein CG, Dent J, Parker P, Goodall S, Howatson G. Neuromuscular fatigue and recovery after heavy resistance, jump, and sprint training. *Med Sci Sport Exerc.* 2018;50(12):2526-2535.
doi:10.1249/MSS.0000000000001733
93. Rassier DE, MacIntosh BR. Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Brazilian J Med Biol Res.* 2000;33(5):499-508.
doi:10.1590/S0100-879X2000000500003
94. Tesch P, Karlsson J. Isometric strength performance and muscle fibre type distribution in man. *Acta Physiol Scand.* 1978;103(1):47-51.
doi:10.1111/j.1748-1716.1978.tb06189.x
95. Hamada T, Sale DG, MacDougall JD, Tarnopolsky MA. Postactivation

- potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J Appl Physiol.* 2000;88(6):2131-2137.
doi:10.1152/jappl.2000.88.6.2131
96. Moir GL, Gollie JM, Davis SE, Guers JJ, Witmer CA. The effects of load on system and lower-body joint kinetics during jump squats. *Sport Biomech.* 2012;11(4):492-506. doi:10.1080/14763141.2012.725426
97. Laffaye G, Wagner P. Eccentric rate of force development determines jumping performance. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2013;16(sup1):82-83. doi:10.1080/10255842.2013.815839
98. Kawakami Y, Muraoka T, Ito S, Kanehisa H, Fukunaga T. In vivo muscle fibre behaviour during counter-movement exercise in humans reveals a significant role for tendon elasticity. *J Physiol.* 2002;540(2):635-646. doi:10.1113/jphysiol.2001.013459
99. Wilkie DR. The relation between force and velocity in human muscle. *J Physiol.* 1949;110(3-4):249-280. doi:10.1113/jphysiol.1949.sp004437
100. Kawamori N, Newton RU. Velocity specificity of resistance training: actual movement velocity versus intention to move explosively. *Strength Cond J.* 2006;28(2):86-91.
101. Nishioka T, Okada J. Influence of strength level on performance enhancement using resistance priming. *J Strength Cond Res.* 2022;36(1):37-46. doi:10.1519/JSC.0000000000004169
102. Sweet TW, Foster C, McGuigan MR, Brice G. Quantitation of resistance training using the session rating of perceived exertion method. *J Strength Cond Res.* 2004;18(4):796-802. doi:10.1519/00124278-200411000-00020
103. Singh F, Foster C, Tod D, McGuigan MR. Monitoring different types of

- resistance training using session rating of perceived exertion. *Int J Sports Physiol Perform.* 2007;2(1):34-45. doi:10.1123/ijsp.2.1.34
104. Lea JWD, O'Driscoll JM, Hulbert S, Scales J, Wiles JD. Convergent validity of ratings of perceived exertion during resistance exercise in healthy participants: A systematic review and meta-analysis. *Sport Med - Open.* 2022;8(1):2. doi:10.1186/s40798-021-00386-8
105. Macbeth G, Razumiejczyk E, Ledesma RD. Cliff's delta calculator: A non-parametric effect size program for two groups of observations. *Univ Psychol.* 2010;10(2):545-555. doi:10.11144/Javeriana.upsy10-2.cdcp
106. Linnamo V, Häkkinen K, Komi P V. Neuromuscular fatigue and recovery in maximal compared to explosive strength loading. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1997;77(1-2):176-181. doi:10.1007/s004210050317
107. Kubo T, Hirayama K, Nakamura N, Higuchi M. Influence of different loads on force-time characteristics during back squats. *J Sports Sci Med.* 2018;17(4):617-622. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30479530>.
108. Paschalis V, Koutedakis Y, Jamurtas AZ, Mougios V, Baltzopoulos V. Equal volumes of high and low intensity of eccentric exercise in relation to muscle damage and performance. *J Strength Cond Res.* 2005;19(1):184-188. doi:10.1519/R-14763.1
109. González-García J, Giráldez-Costas V, Ruiz-Moreno C, Gutiérrez-Hellín J, Romero-Moraleda B. Delayed potentiation effects on neuromuscular performance after optimal load and high load resistance priming sessions using velocity loss. *Eur J Sport Sci.* 2021;21(12):1617-1627. doi:10.1080/17461391.2020.1845816
110. MacIntyre DL, Reid WD, Lyster DM, Szasz IJ, McKenzie DC. Presence of

- WBC, decreased strength, and delayed soreness in muscle after eccentric exercise. *J Appl Physiol.* 1996;80(3):1006-1013.
doi:10.1152/jappl.1996.80.3.1006
111. Lowe DA, Warren GL, Ingalls CP, Boorstein DB, Armstrong RB. Muscle function and protein metabolism after initiation of eccentric contraction-induced injury. *J Appl Physiol.* 1995;79(4):1260-1270.
doi:10.1152/jappl.1995.79.4.1260
112. Senna GW, Dantas EHM, Scudese E, et al. Higher muscle damage triggered by shorter inter-set rest periods in volume-equated resistance exercise. *Front Physiol.* 2022;13(February). doi:10.3389/fphys.2022.827847
113. Nutt F, Hills SP, Russell M, et al. Morning resistance exercise and cricket-specific repeated sprinting each improve indices of afternoon physical and cognitive performance in professional male cricketers. *J Sci Med Sport.* 2022;25(2):162-166. doi:10.1016/j.jsams.2021.08.017
114. Loturco I, McGuigan MR, Rodríguez-Rosell D, Pereira LA, Pareja-Blanco F. A novel strategy to determine the 1-repetition maximum in the jump squat exercise. *J Strength Cond Res.* 2022;36(8):2330-2334.
doi:10.1519/JSC.0000000000003696
115. Alcaraz PE, Carlos-Vivas J, Oponjuru BO, Martínez-Rodríguez A. The effectiveness of resisted sled training (RST) for sprint performance: A systematic review and meta-analysis. *Sport Med.* 2018;48(9):2143-2165.
doi:10.1007/s40279-018-0947-8
116. Petrakos G, Morin J-B, Egan B. Resisted sled sprint training to improve sprint performance: A systematic review. *Sport Med.* 2016;46(3):381-400.
doi:10.1007/s40279-015-0422-8

117. Mujika I, Padilla S. Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Med Sci Sport Exerc.* 2003;35(7):1182-1187.
doi:10.1249/01.MSS.0000074448.73931.11
118. Bosquet L, Montpetit J, Arvisais D, Mujika I. Effects of tapering on performance. *Med Sci Sport Exerc.* 2007;39(8):1358-1365.
doi:10.1249/mss.0b013e31806010e0