

# 博士論文

## レジスタンスエクササイズ中の挙上速度の変化 がトレーニング効果に与える影響

2023年12月

日本体育大学大学院

体育科学研究科 体育科学専攻

21PDA17 望月佑季奈

研究指導教員

菊池直樹 准教授

博士論文

レジスタンスエクササイズ中の挙上速度の変化  
がトレーニング効果に与える影響

Effect of Lifting Velocity on Response to  
Resistance Training

2023年12月

日本体育大学大学院

体育科学研究科 体育科学専攻

21PDA17 望月佑季奈

研究指導教員

菊池直樹 准教授

用語説明	p3
1-1 序	p4
1-2 レジスタンストレーニングにおけるトレーニング変数	p5
1-3 レジスタンストレーニングにおける強度および負荷の調整方法	p8
1-3-1 直接法と間接法	p8
1-3-2 Set-Repetition-Best(SRB)	p8
1-3-3 Rate of Perceived Exertion(RPE)と Repetition in Reserve(RIR)	p12
1-4 挙上速度を用いた変数の設定 (VBT: Velocity based training)	p15
1-4-1 負荷の調整	p15
1-4-2 反復回数の調整	p19
1-4-3 エクササイズ中の挙上速度のフィードバックおよび観察	p24
1-5 挙上速度を用いたレジスタンストレーニングの課題	p28
1-5-1 休息时间	p28
1-5-2 ボリュームの差	p29
1-6 本論文の目的	p31
研究 1: 挙上速度を用いた Velocity Loss cut-off トレーニングのトレーニング効果: システマティック レビューおよびメタ分析	p32
背景	p33
方法	p34
採用基準	p34
統計処理	p34
結果	p41
考察	p51
結論	p56

研究 2: 休息時間の違いがエクササイズ中の挙上速度に与える影響	p58
背景	p59
方法	p60
測定項目	p60
エクササイズプロトコル	p61
統計処理	p61
結果	p63
考察	p67
結論	p69
研究 3: ボリュームを合わせた Velocity loss cut-off トレーニングの効果の検証	p70
背景	p71
方法	p72
測定項目	p75
トレーニングセッション	p76
統計処理	p76
結果	p78
考察	p84
結論	p87
研究 4: セット内における漸減負荷プロトコルが筋力およびパワー発揮能力に与える影響	p88
背景	p89
研究 4-1	p92
研究デザイン	p92
測定項目	p92
エクササイズセッション	p93
統計処理	p93
結果	p94
まとめ	p98



研究 4-2	p99
研究デザイン	p99
測定項目	p101
トレーニングセッション	p101
統計処理	p101
結果	p105
考察	p112
結論	p115
総合討論	p116
先行研究	p122
関連論文、学会発表	p140
謝辞	p142

## 用語説明

95%CI: 95%信頼区間

CMJ: Counter movement jump カウンタームーブメントジャンプ

CSA: Cross sectional area 横断面積

EF: Elbow flexion 肘屈曲

Failure: 限界まで反復を繰り返すこと

KE: Knee extension 膝伸展

MIF: Maxmum isometric force 最大等尺性筋力

Muscle Thicness RF: Thickness rectus femoris 大腿直筋の筋厚

Muscle Thicness VL: Thickness vastus lateralis 外側広筋の筋厚

MVC: Maximal voluntary contraction 最大随意筋力

RFD: Rate of force development 力の立ち上がり率

RIR: Repetition in reserve 余力反復回数

RPE: Rate of perceived exertion 主観的運動強度

SMD: Standardized mean difference 標準化平均差

SRB: Set repetition best 適正負荷の設定

VBT: Velocity based training 挙上速度ベースのトレーニング

VL: Velocity loss 速度低下

WHO: World health organization 世界保健機関

1RM: One-repetition maxmum 最大挙上重量

## 1-1 序

レジスタンストレーニングは、アスリートのパフォーマンス向上や傷害予防のために広く活用されている (Faigenbaum and Myer, 2010)。また、世界保健機関(World Health Organization:WHO)によって発表されたガイドラインにおいても、一般成人における健康の維持・増進のために週 2 回の筋力強化活動(Strengthening activity)が奨励されている (WHO guidelines on physical activity and sedentary behavior, 2020)。これにより、レジスタンストレーニングは、対象者を問わず重要性が明らかとなっている。

アスリートにとってレジスタンストレーニングは、競技パフォーマンス向上のために重要な役割を果たす。レジスタンストレーニングは、様々な生理学的適応を起こし、競技パフォーマンスを向上させる (Haff, 2018)。さらに、筋力、パワーの向上や筋肥大に加え、靭帯や腱の強度を改善し、傷害リスクを低下させる (Faigenbaum and Myer, 2010)。このレジスタンストレーニングは、強度や反復回数、休息时间などのトレーニング変数の調整によって、目的とする効果を得ることができる (Haff, 2018)。近年では、エクササイズ中の挙上速度をモニタリングする機器の普及によって、エクササイズ中の挙上速度を用いたトレーニング変数の調整やコンディションの管理が行えるようになった。しかし、エクササイズ中の挙上速度とトレーニング効果に関連する研究は、未だに不十分でありエビデンスが不足している。したがって、本博士論文では挙上速度を用いたレジスタンストレーニングが筋力やパワーの向上に与える影響について総括し、挙上速度を用いて筋力やパワーの向上を目的としたトレーニング方法およびコンディショニング方法の確立を目指す。

## 1-2 レジスタンストレーニングにおけるトレーニング変数

レジスタンストレーニングは、筋力、パワーの向上や筋肥大を目的として実施される。これらの目的を達成するためには、強度、反復回数、休息时间といった変数を調整する必要がある。さらに、トレーニング変数である挙上速度を用いたレジスタンストレーニングが筋力、パワー向上の効果に影響するか否かを検討することを目的とする。

本項ではまず、レジスタンストレーニングの変数について概説する。次に、各トレーニング変数と挙上速度の関連性について概説し、パフォーマンスへの影響について概論する。最後に挙上速度を用いた研究の限界点と展望について述べる。

### 強度および反復回数

Carvalho ら(2022)の研究では、ボリューム(強度×反復回数×セット)を同等にした場合における強度の違いが、筋力と筋肥大に与える影響について検討している。強度の分類は、最大挙上重量(one-repetition maximum: 1RM)の 80%以上(80%1RM)を高強度、60-79%1RM を中強度、30-59%1RM を低強度とした。その結果、筋力向上に対する効果は、低強度<中強度、中強度<高強度の順で効果が高くなることが明らかとなった。すなわち、筋力の向上は強度に依存することが考えられる。一方筋肥大は、強度による違いがないことが報告されており(Carvalho et al., 2022、Schoenfeld et al., 2017)、強度による影響は少ない可能性がある。Soriano ら(2017)は、パワーに対するトレーニング効果と強度との関連性について検討した。強度の分類は、30%1RM を低強度、30-70%1RM を中強度、70%1RM を高強度とした。ベンチプレスの平均パワーは低強度<中強度、高強度<中強度という結果を示し、ピークパワーは高強度<低強度、高強度<中強度、低強度<中強度という結果となった。したがって、パワーの向上は中強度で効果が大きくなることが示唆された。一方で、パワークリーンは低強度<高強度、中強度<高強度で効果が有意に高いことが報告されている(Soriano et al., 2017)。また、競技スポーツで求められるパワーは、低負荷から高負荷と幅が広いと、それぞれの競技特性に応じたエクササイズを選択や負荷設定が求められる。

各トレーニング効果に対する適切な反復回数は、メタ分析を用いて検討されており、筋力向上においては6-8回が他の反復回数と比較して有意に高い効果量を示した(Lesinski et al., 2016)。また、9回以上の反復回数は、それ以上の反復回数と比較して筋力向上の効果に差がないことも明らかとなっている(9-12回 vs. 13-15回)。6-8回という反復回数は、強度に換算すると80%1RM以上の強度となり、筋力向上の効果には反復回数よりも扱う強度の影響を受けることが考えられる。

反復回数は、強度からおおよそ推定することができる(表 1)。しかしながら、各強度(%1RM)における反復回数には個人差があることが報告されている (Flanagan et al., 2014、Richens and Cleather., 2014)。先行研究では、ベンチプレスにおいて 85%1RM で実施できる反復回数が、男女で異なることが報告されている (男性<女性、Flanagan et al., 2014)。また、持久系アスリートとウェイトリフティング選手を対象に 70%1RM、80%1RM、90%1RM における反復回数を検証した結果、持久系アスリートの方がウェイトリフティング選手よりも反復回数が有意に多くなることが明らかとなっている (Richens and Cleather, 2014)。これらの要因として、性別や競技の違いによって異なる筋線維組成の占有率や (Nuzzo, 2023、Bergh et al., 1978)、トレーニング経験の差による筋力、筋量の違いが影響した可能性が考えられる。したがって、全ての人が同じ反復回数でトレーニングを実施した場合、トレーニング効果に個人差が生じる可能性がある。

表 1、各強度に対する反復回数 (Haff, 2018)

強度(%)	反復回数
100	1
95	2
90	4
85	6
80	8
75	10
70	12

### 1-3 レジスタンストレーニングにおける負荷および反復回数の調整方法

#### 1-3-1 直接法と間接法

レジスタンストレーニングを行う際は、目的に応じて適切な強度を設定する。提示された強度に対する負荷は個人によって異なり、通常トレーニング現場では 1RM を基準として、相対的な負荷 (%RM) を算出する。1RM の測定方法は複数あるものの、最も多くの現場で用いられる方法は、1RM の実測値を用いる直接法といったものである。直接法は、正しい技術で 1 回のみしか反復することのできない負荷を漸増させて、特定する手法となる (Haff, 2018)。直接法は適切な負荷を決める測定方法である他、定期的に測定をすることでトレーニング効果を客観的に評価することもできる。

さらに、中程度の負荷で failure まで反復を繰り返し、その重量と反復回数の関係から 1RM を推定する手法(間接法)もある。間接法は、高重量を扱ったことがない初心者や直接法が使えない種目に対して用いることができる。しかしながら、これらの測定方法にはデメリットとして、測定に使用する重量や反復回数は、心理学的なコンディションの影響を受けやすいこと (Bartholomew et al., 2008)、各強度で実施できる最大反復回数には個人差があること (Arazi et al., 2011, Flanagan et al., 2014, Richens and Cleather, 2014)、などが挙げられる。また、筋力は短期間(2 週間から)で変化するため (Abe et al., 2000, Hickson et al., 1994)、トレーニング開始初期と後期では負荷を調整する必要がある。しかし、直接法と間接法を用いた定期的な測定は、時間のロスや怪我のリスクなどのデメリットを考慮すると実用的ではない。

#### 1-3-2 Set Repetition Best (SRB)

Set Repetition Best (SRB) は、2 回 3 セットという規定のプロトコルから負荷を設定する方法である (Suchomel et al., 2021)。SRB を用いた負荷の設定方法は、2 回 3 セットを完了することができる負荷を決定し、その負荷から、目的 (Relative intensity) に適した負荷 (% Ste-Rep-Best) を設定する (表 2)。したがって、SRB はセッション全体を考慮した負荷設定ができる。SRB を用いたトレーニング方法を下記に示す。規定のプロトコルで決定した負荷が、100kg であったとする。週のプログラムとして (Relative intensity)、月曜日は Heavy、水曜日は Light、金曜日は Moderately というプランを立てた場合、月曜日は 90-95kg、水曜日は 70-75kg、金曜日は 80-85kg の負荷を用いて 2 回 3 セットのメニューを行うこととなる。プロトコルは、目的に応じたものを選択することができ、2 回 3 セットによって決めた負荷を用いて、その他のプロトコル (Set-repetition scheme、3 回×3 セット、5 回×3 セットなど) に適した負荷を調整することも可能である (表 3)。SRB を用いたレジスタンストレーニ

ングの効果は、いくつか報告されており (Carroll et al., 2019a, Carroll et al., 2019b)、Carroll ら (2019a) は、最大反復で行うトレーニングと比較して、SRB は筋力、パワーの向上が有意に高くなることを明らかとした (Carroll et al., 2019a)。SRB は、セッション全体の疲労を考慮した負荷設定ができるものの、提示されたプロトコルは(表 3)、個人間の特性やコンディションの考慮がなされていない。



表 2: Set Repetition Best (SRB)における相対的負荷に対する  
%負荷の調整方法 (Suchomel et al., 2021)

<b>Relative intensity</b>	<b>% Set-Rep Best</b>
Very Heavy	95-100%
Heavy	90-95%
Moderately-heavy	85-90%
Moderately	80-85%
Moderately-light	75-80%
Light	70-75%
Very Light	65-70%
Rest	-

表 3: Set Repetition Best (SRB)におけるトレーニングプログラムおよび  
負荷の調整方法 (Suchomel et al., 2021)

<b>Set-repetition scheme</b>	<b>Load (%) change from 3×2</b>
3×2	–
3×3	↓ 5%
3×5	↓ 15%
5×5	↓ 17.5%
3×10	↓ 25%
5×10	↓ 27.5%

### 1-3-3 Rate of Perceived Exertion (RPE)と Repetition in Reserve (RIR)

Rate of Perceived Exertion (RPE: 主観的運動強度)は、個人の主観から疲労レベルを数値化するものである。RPE は、レジスタンスエクササイズ直後における主観的な疲労レベルを「1-10」段階で評価する。表 4 のように「あと 3 回は挙げられる場合は 7」、「これ以上の実施は難しい、潰れてしまったという場合は 10」と、エクササイズ直後の主観的な疲労レベルを評価することができる (Borg et al., 1982)。したがって、エクササイズ直後における RPE を用いて、次のセットで扱う負荷を調整することができる。さらに RPE に関する先行研究では、様々なエクササイズ(スクワット、ベンチプレス、プレス、カール、プッシュダウン)を用いて 50%1RM、70%1RM、90%1RM における RPE を検討した結果、エクササイズ様式が異なったとしても各負荷に対する RPE は同等の値を示すことや、セッション後における RPE に関しても同等の値が示されることが報告されている (Day et al., 2004)。したがって、RPE は様々なエクササイズの強度設定に用いることができる手法である。

また、Repetition in Reserve (RIR)という方法もある。RIR を用いて負荷または反復回数の調整する方法の特徴は、限界(failure)まで反復をせず、余力を残すことである (Suchomel et al., 2021)。例えば、RIR3 というのは、セット内において 3 回の余力を残す(もしくは残した)ことを意味する。RIR を用いた負荷の調整方法は、目的に合った反復回数と RIR を決め、その反復回数や RIR に適した負荷を調整する。5 回 RIR3 というメニューの場合、3 回分の余力が残るような負荷を調整して 5 回反復する。では、1 セット目に 50kg で 5 回を RIR3 で行った場合、エクササイズ直後の RIR の主観的な記述が(表 4)、RIR3 以下になった場合は、負荷が重すぎた可能性があるため、次のセットで負荷を減少させるといった調整が可能となる。RIR を用いた反復回数の調整方法は、目的に合った強度と RIR を決める。プロトコル実施時の指定 RIR は、表 4 の主観的な記述のように決定する。80%1RM で RIR3 というメニューの場合、80%1RM の負荷で自身が主観的に感じる余力反復回数が 3 回になるまで反復する。したがって、限界まで行わず、さらにその日のコンディションに合わせた反復回数を調整することができる。

RPE や RIR は、%1RM とは異なり、個人のコンディションに合わせた負荷や反復回数の調整が可能である。RPE を用いた先行研究では、%1RM と RPE のプロトコルにおけるトレーニング効果を比較している (Helms et al., 2018)。対象者は、トレーニング経験のある男性で、スクワットとベンチプレスを週 3 回 8 週間行った。%1RM のプロトコルは、週の中で負荷を漸増させ(65-92.5%1RM)、それぞれの負荷に適した反復回数を実施した(8-2 回)。RPE のプロトコルは、週ごとで RPE を漸増させ(RPE5-10)、それぞれの RPE に対する負荷を設定した。両プロトコルの総反復回数は同等であった。その結果、両プロトコルにおける筋力の変化は、同等となり (Helms et al., 2018)、%1RM と

RPE のレジスタンストレーニングの効果は同程度であることが明らかとなった。RIR と%1RMのトレーニングを比較した先行研究では、トレーニング経験のある男性を対象として、スクワットを週 2 回 12 週間実施した。RIR のプロトコルの負荷は、RIR1-4(1-8 週)、RIR0-1(9-12 週目)であった。%1RM のプロトコルは、週ごとに負荷を漸増させ(65-95%1RM)、それぞれの総反復回数は同等であった。両プロトコルにおいて筋力が向上したが、RIR の方が有意に高い変化を示した (Graham and Cleather, 2021)。したがって、その日のコンディションに合わせた負荷を調整することができる RIR は、%1RM よりも適切な負荷の調整方法となる可能性がある。しかし、トレーニングレベルの違いによる RPE の妥当性については不明瞭であり、筋力レベルの高い対象者は、低い対象者と比較して最大挙上重量反復時の RPE が有意に高値を示すことが報告されている (Zourdos et al., 2016)。つまり、トレーニングレベルの低い対象者は、自身の最大努力または限界を主観的に判断できていない可能性がある。このような対象者に対して RPE や RIR のレジスタンストレーニングを実施すると、負荷の調整が適切ではなくなる可能性がある。

表 4: Rate of Perceived Exertion (RPE) および Repetition in reserve (RIR) における  
主観的な記述 (Suchomel et al., 2021)

RPE	主観的な記述	RIR
10	これ以上の実施は難しい	0
9.5	1回はできないが、半分は動かせるかも	
9	あと1回は挙げられる	1
8.5	1回は挙げられるが、2回は厳しい	
8	あと2回は挙げられる	2
7.5	2回は挙げられるが、3回は厳しい	
7	あと3回は挙げられる	3
5-6	4-6回は挙げられる	4-5
3-4	少量の努力	6-7
1-2	なんなくできる	8-9

#### 1-4 挙上速度を用いた変数の設定 (Velocity based training: VBT)

VBT という概念の始まりは、2011 年であるとされている (Comstock et al., 2011)。パワー向上とスポーツパフォーマンスの改善には関係性があることから (Haff and Nimphius, 2013)、パワー (速度) を観察する重要性が明らかとなった。さらに、個人のコンディションに合わせた負荷、反復回数の調整によってトレーニング効果の最適化やオーバートレーニングを予防することができる可能性が明らかになった (Graham and Cleather, 2021、González-Badillo et al., 2010、Guppy et al., 2022)。そして、テクノロジーの進歩により、速度を測定する専用の小型機器が開発され、簡易的に誰でも挙上速度を測定できるようになり、これらが VBT の普及の背景に影響を与えた可能性がある (Guppy et al., 2022)。負荷や反復回数の設定は、直接法や間接法でも行うことができ、その日のコンディションを考慮して調整するには RPF や RIR でも実施可能である。しかし、VBT を用いることの最大のメリットは、挙上速度をリアルタイムで観察し、フィードバックすることができる点である。さらに、エクササイズ中におけるコンセントリックの速度をコントロールする、最大努力で速度を発揮することの重要性については、先行研究によって明らかとなっており (Pareja-Blanco et al., 2014、Gonzalez-Badillo et al., 2014)、速度を観察することはコーチからすると有益な情報となりうる。さらに、速度のリアルタイムフィードバックができるデバイスを用いることで、コーチだけではなく対象者 (アスリート) においても、自身のコンディションの変化や成長を観察することができる。現状、挙上速度の活用については、負荷の設定、反復回数の設定、速度のフィードバックの 3 点が主となっている。

##### 1-4-1 負荷の調整

これまで行われている負荷設定の方法は、トレーニングレベルや性別、競技の違いによる筋力や筋量などの影響を受ける (Arazi et al., 2011、Flanagan et al., 2014、Richens and Cleather, 2014)。またエクササイズ中の負荷や反復回数は、日常的なストレスの影響を受けやすいが (Bartholomew et al., 2008)、従来の負荷設定の方法は、これらの考慮がなされていない。

挙上速度を用いた負荷設定の方法は、負荷-速度プロフィールを用いて負荷を算出する ( $y=ax+b$ :  $y$  平均挙上速度、 $x$  負荷)。その際、負荷に対する速度 (ターゲットベロシティ) を算出することで、ターゲットベロシティを基準に負荷を調整することもできる。具体的な例として、Ortega ら (2022) が報告したベンチプレスとスクワットにおける負荷-速度プロフィールから得られた情報を参考にすると (表 5)、スクワットにおいて 80%1RM のターゲットベロシティは  $0.49 \pm 0.12\text{m/s}$  である。月曜日のセッションでは、ウォームアップ時に  $0.49\text{m/s}$  の速度で挙上できる負荷は 80kg であったが、

水曜日のセッションでは 0.49m/s で挙上できる重量が 75kg に減少したとする。この差は、疲労や心理的なコンディションの影響により、規定された速度に対する挙上可能な負荷が低下したことが予測される。また、もし水曜日のセッションで月曜日と同じ負荷を扱った場合、実施可能な反復回数減少、failure に至るといった現象が起こる可能性がある。Failure は、繰り返し行うことで成長促進ホルモンが減少し (Izquierdo et al., 2006)、傷害のリスクが増加する可能性がある。したがって、その日のコンディションを考慮した負荷設定は、オーバートレーニングの予防においても重要な手法となる。

さらに、この負荷-速度プロフィールを利用することで、直接的な 1RM を測定せずに 1RM を予測することが可能である。ただし、Greig ら(2023)によれば、負荷-速度プロフィールから予測された 1RM は、実際の直接測定よりも高い値を示す傾向を報告している。しかし、Greig ら(2023)は、実際のトレーニング現場において直接的な 1RM の測定が難しい場合には、簡易的な予測方法としては、活用することを推奨している。

また VBT は、コンセントリック局面において最大努力でバーベルを挙上することを定義しているが (Jukic et al., 2023b, Weakley et al., 2021)、速い速度を発揮することの得意不得意は、トレーニングレベルや個人の特性が影響する可能性が考えられる。ジャンプなどの高速な動作では、速筋線維が優先的に動員されるため (Gillespie et al., 1974)、高速の動作に慣れていない場合、高速の挙上は困難である。以前我々の研究室で測定したデータにおいても、個人で負荷-速度プロフィールの傾きが異なる結果が観察された(図 1)。この場合、低負荷での速度発揮が苦手な対象者は、推定 1RM が過大評価される場合が多い。

表 5: スクワットとベンチプレス各強度における挙上速度の平均値 (Ortega et al., 2022)

%1RM	スクワット (m/s)	ベンチプレス (m/s)
50%1RM	0.87 ± 0.08	0.92 ± 0.10
60%1RM	0.70 ± 0.07	0.70 ± 0.10
70%1RM	0.61 ± 0.09	0.57 ± 0.10
80%1RM	0.49 ± 0.12	0.42 ± 0.09
100%1RM	0.26 ± 0.11	0.21 ± 0.10



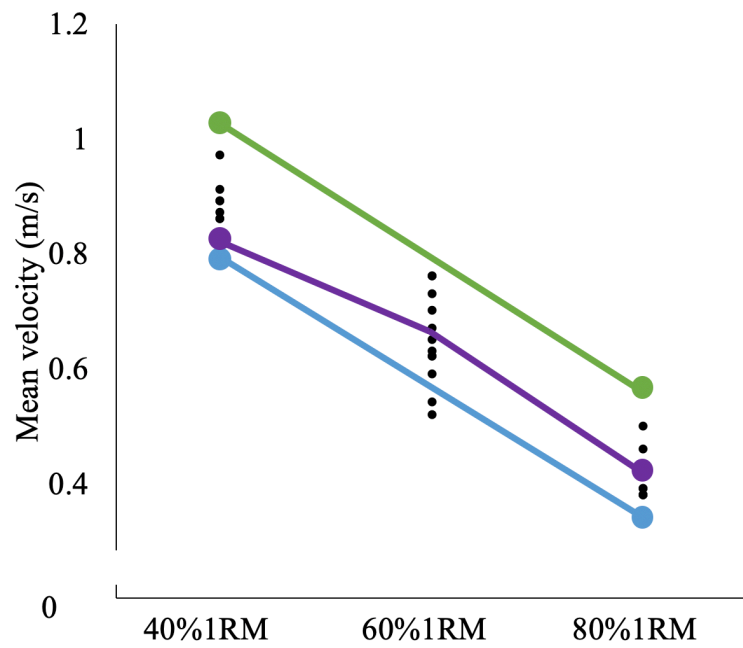


図1: 特徴が異なる負荷—速度プロフィール(望月ら、未発表データ)

#### 1-4-2 反復回数の調整

Velocity Loss cut-off (VL)は、挙上速度を用いた代表的なレジスタンストレーニングプロトコルの一つである。VL トレーニングは、エクササイズ中の挙上速度をモニタリングし、個人に合った反復回数を調整する。方法は、目的に応じて設定された速度低下率を目安に、挙上速度がセットの初速からその速度低下率以下になった時点で、セットを終了するというものである(図 2)。したがって、目的や個人に適した反復回数を調整することができる(例:速度低下率を 20%に設定した場合、Aさんは10回、Bさんは7回といった、同じ速度低下率でも個人特性やコンディションに合わせた反復回数の調整が可能)。

これまで報告された VL トレーニングに関する先行研究を、表 6、7 に示す。これらの先行研究は、2023 年 12 月までに投稿されたものをまとめたものである。VL に関する研究では、急性反応を検討している一過性の研究が 9 本、そして VL を用いたトレーニング効果などを検討している研究が 25 本あった。VL を用いた急性反応について検討した研究では、エクササイズ直後における代謝ストレスや神経筋系の疲労の応答について、VL を用いたトレーニング効果については、VL の大きさにおける筋力や筋肥大に効果について検討がされている(Jukic et al., 2023a)。Jukic ら(2023a)が行ったメタ分析では、VL が大きくなるほど代謝ストレスと神経筋系の疲労が増加することを報告した。さらに、筋力、筋肥大、スプリント、ジャンプに影響する VL について検討しており、スプリントやジャンプの向上は、0-15%(VL0-15)、筋肥大は 25-50%(VL25-50)、筋力向上はすべての VL で効果量が高くなることを明らかとした。

VL トレーニングと%1RM で強度設定をしたレジスタンストレーニングにおける効果の違いについては、先行研究によって明らかとされており、VL トレーニングは%1RM ベースのトレーニングよりも筋力、ジャンプ、スプリントの効果を改善させることが明らかとなった (Held et al., 2022)。さらに、Dorrell ら(2020)が行った研究では、%1RM ベースと VL のトレーニング効果を比較した場合、バックスクワット、ベンチプレス、オーバーヘッドプレス、デッドリフトの 1RM および CMJ の効果量は、VL のプロトコルの方が%1RM ベースよりも高い値を示した。さらに、ベンチプレスと CMJ の結果においては、交互作用が認められた。これらの先行研究により、挙上速度を用いた VL トレーニングは、%1RM ベースのトレーニングよりも適切な負荷と反復回数の設定することで、高い効果を得ることができる可能性が明らかとなった。

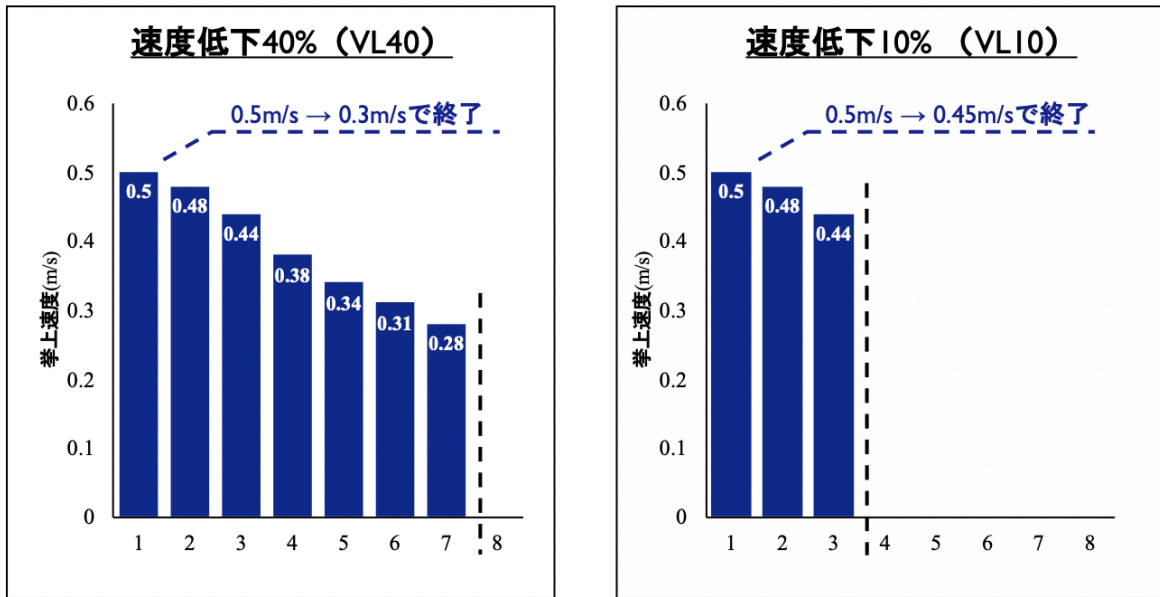


図 2: Velocity Loss cut-offトレーニングの方法

速度低下率を 40%(VL40)と設定した場合、挙上速度が初速から 40%低下するまで反復する(左)。反復回数は、速度低下率によって異なる。反復の際、コンセントリック局面において最大努力で挙上を繰り返し、挙上速度が低下しないような意識で実施する。

表 6: Velocity loss(VL)を用いた先行研究一覧 (一過性)

先行研究	性別(n)	トレーニング レベル	エクササイズ	VL	測定項目
Pareja-Blanco (2019) PMID: 30836680	男性(17)	-	フルスクワット	VL20 VL40	CMJ 20m スプリント
Rodríguez-Rosell (2020) PMID: 32868675	男性(11)	TR 経験者	スクワット	VL10 VL20 VL30 VL40	CMJ 乳酸
Weakley (2020) PMID: 31868099	男性(12)	アスリート	スクワット	VL10 VL20 VL30	CMJ 乳酸
Krzysztofik (2021) PMID: 34770042	女性(16)	バレーボール 選手	スクワット	VL10	ジャンプ 平均パワー CMJ
González-García (2021) PMID: 33135577	男性(10) 女性(1)	-	ハーフスクワット	VL20	CMJ 平均パワー ピークパワー
Krzysztofik (2023) PMID: 36727712	-- (15)	TR 経験者	スクワット	VL10	ジャンプ 腱ステイフネス
Held (2023) PMID: 36460046	男性(15)	TR 経験者	スクワット	VL10	スプリント CMJ ドロップジャンプ 乳酸
Cornejo-Daza (2023) PMID: 37972985	男性(15)	TR 経験者	スクワット	VL20 VL30 VL40	CMJ 20m スプリント
Weakley (2023) PMID:37973147	男性(12)	アスリート	スクワット	VL10 VL20 VL40	CMJ 10m スプリント ピークパワー

CMJ:カウンタームーブメントジャンプ、TR 経験者:トレーニング経験あり

表 7: Velocity loss(VL)を用いた先行研究一覧 (長期的)

先行研究	性別 (n)	トレーニング レベル	介入 期間	エクササイズ	VL	測定項目
Pareja-Blanco (2017) PMID: 27038416	男性 (22)	若い男性	8 週間	スクワット	VL20 VL40	CSA CMJ 20m スプリント 1RM
Pareja-Blanco (2017) PMID: 27618386	男性 (16)	サッカー選手	6 週間	スクワット	VL15 VL30	1RM CMJ 30m スプリント
Pérez-Castilla (2018) PMID: 28892463	男性 (20)	運動歴のある 学生	4 週間	スクワット ジャンプ	VL10 VL20	15m スプリント CMJ
Pareja-Blanco (2020) PMID: 32681665	男性 (64)	TR 経験者	8 週間	ベンチプレス	VL0 VL15 VL25 VL50	CSA MVC 漸増負荷テスト
Marques (2020) PMID: 33080817	男女 (19)	高齢者	10 週間	レッグプレス チェストプレス	VL20	1RM MBT 歩行速度
Rodiles-Guerrero (2020) PMID: 32668476	男性 (45)	-	5 週間	ベンチプレス	VL10 VL30 VL50	1RM
Pareja-Blanco (2020) PMID: 32049887	男性 (64)	TR 経験者	8 週間	フルスクワット	VL0 VL10 VL20 VL40	CSA 20m スプリント 垂直飛び MVC 漸増負荷テスト
Rodríguez-Rosell (2020) PMID: 32017598	男性 (25)	健康	8 週間	フルスクワット	VL10 VL30	20m スプリント CMJ 1RM
Sánchez-Moreno (2020) PMID: 32213783	男性 (29)	TR 経験者	8 週間	プル	VL25 VL50	1RM 平均パワー
Weakley (2020) PMID: 31094251	男性 (16)	TR 経験者	12 週間	スクワット	VL10 VL20 VL30	平均パワー ピークパワー
Dorrell (2020) PMID: 30946276	男性 (16)	TR 経験者	6 週間	スクワット デッドリフト ベンチプレス	VL20	1RM CMJ
Alcazar (2021) PMID: 34044366	男性 (16)	TR 経験者	8 週間	スクワット	VL0 VL10 VL20 VL40	最大パワー

CSA:筋横断面積、CMJ:カウンタームーブメントジャンプ、1RM:最大挙上重量、MVC: 等尺性筋力、MBT:メディシングボールスロー、TR 経験者:トレーニング経験あり

表 7: Velocity loss を用いた先行研究一覧(長期的)

先行研究	性別 (n)	トレーニング レベル	介入 期間	エクササイズ	VL	測定項目
Kilgallon (2021) PMID: 34039769	男性 (12)	フットボール 選手	3 週間	フロアプレス	VL20	1RM
Rodríguez-Rosell (2021) PMID: 33829679	男性 (33)	-	8 週間	スクワット	VL10 VL30 VL45	20m スプリント CMJ 1RM
Andersen (2021) PMID: 34100789	男性 (3) 女性 (7)	TR 経験者	9 週間	レッグプレス レッグエク テンション	VL15 VL30	1RM MVC パワー
Sánchez-Moreno (2021) PMID: 34010546	男性 (22)	TR 経験者	8 週間	スクワット	VL15 VL45	スプリント 垂直跳び 漸増負荷テスト
Held (2022) PMID: 33547265	男性 (17) 女性 (4)	健康	8 週間	スクワット デッドリフト ベンチロー ベンチプレス	VL10	1RM
Riscart-López (2021) PMID: 33394894	男性 (43)	TR 経験者	8 週間	スクワット	VL20	CMJ 20m スプリント 1RM
Walker (2022) PMID: 35930559	男性 (20) 女性 (17)	健康	8 週間	スクワット	VL20 VL40	CMJ レッグプレス
Rodiles-Guerrero (2022) PMID: 35728808	男性 (15)	TR 経験者	8 週間	ベンチプレス	VL0 VL15 VL25 VL50	CSA MVC 漸増負荷テスト
Galiano (2022) PMID: 31904715	男性 (28)	アクティブ	7 週間	スクワット	VL5 VL20	1RM CMJ T20
Rissanen (2022) PMCID: 35258681	男性 (24) 女性 (25)	若い男女	8 週間	スクワット ベンチプレス	VL20 VL40	1RM CMJ CSA
García-Orea (2023) PMID: 36846453	男性 (9)	TR 経験者	6 週間	スクワット ベンチプレス	VL10 VL15	CMJ T20
Costilla (2023) PMID: 36727700	男性 (8)	-	6 週間	スクワット	VL20 VL40	1RM
Myrholm (2023) PMID: 36754062	男性 (9) 女性 (7)	TR 経験者	6 週間	スクワット ベンチプレス	VL20 VL40	1RM 垂直跳び レッグパワー

CSA:筋横断面積、CMJ:カウタームーブメントジャンプ、1RM:最大挙上重量、MVC: 等尺性筋力、TR 経験者:トレーニング経験あり

### 1-4-3 エクササイズ中の挙上速度のフィードバックおよび観察

VL トレーニングを含む VBT と従来のトレーニングとの違いは、エクササイズ中における挙上局面(コンセントリック局面)を最大努力で実施するか、否かである。最大努力によるトレーニング効果については、最大努力で挙上する群と最大努力の 50%の速度で挙上する群に分けて検討した結果、最大努力で挙上する群においてスプリント、ジャンプの結果が改善したことが報告されている(Pareja-Blanco et al., 2014, Gonzalez-Badillo et al., 2014)。したがって、トレーニング効果の最適化には、挙上局面の意識が重要な要素となりうる。

さらに、VBT は専用のデバイスを用いることによって、リアルタイムで速度を観察することができる(図 3)。リアルタイムで画面上に表示される速度をフィードバックするという外的な注意の集中は、パフォーマンスの向上に寄与することが報告されている(Wulf et al., 1998)。Hirsch ら(2021)は、「A 群: 挙上速度が 1.0m/s に到達するように意識をし、タブレットを用いて 1 回ごと挙上速度をフィードバックする群」と「B 群: 挙上速度のフィードバックはなく、全力で挙上する意識のみの群」の異なる指示の 2 群に分けてトレーニングを実施した結果、A 群の方が発揮できる挙上速度が速くなることを報告した。これらの結果より、レジスタンストレーニングにおいて速度の表示と即時フィードバックは、目的とするトレーニング効果を高める上で有効であることが考えられる。

また挙上速度はセッションごとのコンディションを評価するための手段となり得る。先行研究では、エクササイズの前後に V1-Load と呼ばれる方法を使用した測定が行われている(Cornejo-Daza et al., 2023)。V1-Load は、あらかじめ定められた速度(1.0m/s)に対する負荷を最大努力で挙上し、その速度の変化をエクササイズ前後で観察する手法である。Cornejo-Daza ら(2023)が行った研究では、速度低下が大きく、反復回数が多いプロトコルは、24 時間後においても V1-Load がベースラインの値まで回復しないこと報告し、エクササイズ前後の疲労やその後の回復過程を観察する手法として用いることができることを明らかとした。したがって、挙上速度は、エクササイズ中およびエクササイズ後のフィードバック方法として活用することができる。

一般的に、エクササイズ中の仕事量は負荷と反復回数を掛けたものである。したがって、図 4 のように異なる対象者であっても、同じ負荷と反復回数でエクササイズを実施した場合、それぞれの仕事量は、同等となる(負荷×仕事=仕事量: 80kg×5 回=400kg)。しかし、対象者のコンディションや身体特性によって、エクササイズ中の速度が異なることが予測される。例に挙げると、エクササイズ中の初速が、対象者 A は 0.8m/s、対象者 B は 0.6 m/s となったとする。初速が速いおよび遅いでは、その後の挙上速度にも影響する。現状、仕事量には速度の要素は含まれていないが、エクササイズ中の速度が異なると、対象者 A と B ではエクササイズ中におけるパワーが異なる(パワ

ー＝速度×負荷)。このエクササイズ中における速度およびパワーの違いを観察することで、その負荷に相当する速度から負荷の調整 (Ortega et al., 2022)、コンディションのチェック、反復回数の調整をすることができる。したがって、エクササイズ中の挙上速度という新たな視点を追加することでセッション内の質を高め、より個人に適したトレーニングプロトコルの処方に役立つ可能性がある。

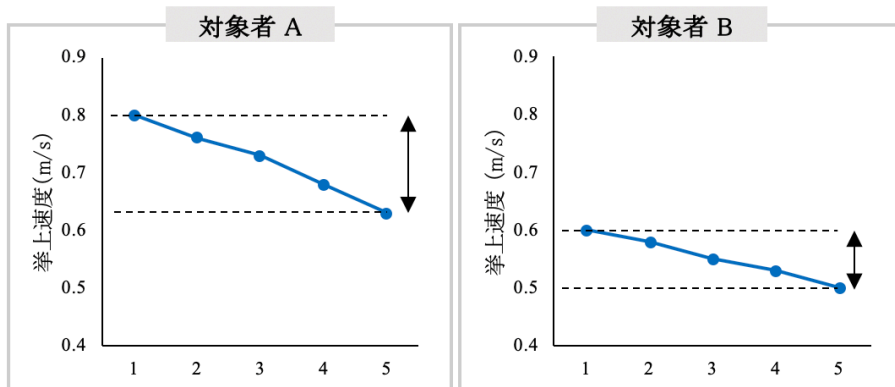




図 3: リアルタイムフィードバックが可能なトランスデューサーにおけるデータ取得イメージ  
 (GymAware; Kinetic Performance Technologies, Australia)

	負荷	×	回数	=	仕事量	初速
対象者A	80kg	×	5	=	400kg	0.8m/s
対象者B	80kg	×	5	=	400kg	0.6m/s

同じ仕事量のエクササイズであっても  
初速が異なる



**初速の違いによって、エクササイズ中の速度(パワー)が異なる**

図 4: 異なる対象者におけるエクササイズ中の挙上速度の観察例

同じトレーニングメニューを実施しても、初速が異なるとエクササイズ中のパワーが異なる？

## 1-5 挙上速度を用いたレジスタンストレーニングにおける課題

近年、挙上速度をリアルタイムにフィードバックする手法の発達により、現場で挙上速度を用いたトレーニング方法の開発がおこなわれるようになった。しかし、いくつかの課題があげられる。

### 1-5-1 休息时间

トレーニング効果を最適化するためには、休息时间の調整は重要な要素となる。一方、VBT ではセット間の休息时间の考慮がなされていない。休息时间の長さで筋力向上の効果について検討したメタ分析では、短い休息时间(60 秒以下)と長い休息时间(3 分以上)では、長い休息时间の方が筋力向上の効果が高くなることが報告されている(Grgic et al., 2018)。さらに、一過性の先行研究では、75%1RMを4セットというプロトコルにおいて異なる休息时间(1分、5分)を用いた場合における反復回数(レップ)の差を検証した結果、休息时间1分は、3セット目から反復回数が有意に減少するが、休息时间5分では、反復回数が減少しないことが明らかとなった (McKendry et al., 2016)。パワーの向上を目的としたレジスタンストレーニングは、高い力を発揮し続ける必要がある。したがって、休息の間に神経筋系の疲労を回復させ、次のセットでも高い力を発揮するための長い休息时间(2-5分)を設けることが推奨されている (Haff, 2018)。

また、パワーの向上には、エクササイズ中のパワーの維持が重要な要素であるとされている (Abdessemed et al., 1999)。Abdessemedら(1999)は、70%1RMで10回3セット、休息时间を1分、3分、5分の3つのグループに分けた結果、3分と5分の休息时间を用いたプロトコルにおいてエクササイズ中の平均パワーが高くなることを明らかにした。さらに、休息时间の違いによるエクササイズ中の発揮パワーについては、Robinsonら(1995)の研究によって明らかとなっており、エクササイズ間の休息时间を30秒、90秒、180秒の3つのグループに分け、週4回のレジスタンストレーニングを5週間実施した結果、休息时间が長い180秒のグループで最も筋力が向上したことが報告されている。したがって、休息时间の違いによって実施できる反復回数(レップ)の違いや、エクササイズ中の疲労の度合いによってトレーニング効果が異なる可能性があり、休息时间の長さはトレーニング効果を決定する要因となる。

パワー向上に焦点を当てたクラスターセットというプロトコルは、エクササイズ中におけるパワー、速度低下を抑えるプロトコルとなっている。Merriganら(2020)は、従来のプロトコル(70%1RMで10回4セット、セット間の休息时间120秒)とクラスターセット(70%1RMで10回4セット、セット内の休息时间30秒、セット間の休息时间90秒)における、エクササイズ中のパワーを比較した。その結果、クラスターセットはエクササイズ中のピークパワーが高く、挙上速度の低下率が少なくなることが

明らかとなった。よって、短い休息時間はセット内の平均速度または、初めのレップの速度(初速)を低下させる可能性がある。VL トレーニングにおいては、セット内での速度低下を基準とするため、セット間での変化は考慮されていない。そのため、異なる休息時間でのセット内での速度低下およびセット間での速度低下を合わせて検証する必要がある。

### 1-5-2 トレーニングボリュームの差

VL トレーニングの効果は、メタ分析によって明らかとなっているもの(Hickmott et al., 2022、Jukic et al., 2023a)、VL トレーニングの効果に影響している要因については明らかとなっていない。Hickmott ら(2022)は、 $\leq$ VL25 と  $>$ VL25 で比較した場合における筋力と筋肥大の効果量の差について、メタ分析を用いて検討している。しかし、VL の大きさによって反復回数が有意に異なることが報告されており(Rodriguez-Rosell et al., 2021)、フルスクワットの場合、セット内でできる反復回数は VL 10 は  $3.8 \pm 1.3$  回、VL30 は  $7.2 \pm 2.8$  回、VL40 は  $10.4 \pm 3.9$  回と VL 間で差がみられた。したがって、低 VL(例:  $\leq$ VL25)、高 VL(例:  $>$ VL25)におけるトレーニング効果を比較した結果には、反復回数の違いが影響している可能性が考えられる。

さらに、VL トレーニングは最大努力でできるだけ速度が低下しないような意識で挙上を繰り返す。しかし、VL の大きさによって最大努力で挙上する回数が異なる。さらに、挙上速度は反復回数を重ねるごとに低下するため(Mochizuki et al., 2023)、VL の違いによって実施する速度帯は、低い VL は高速度帯のみ、高い VL は高速度帯から低速度帯となる可能性がある(図 5)。先行研究では、VL10、VL30、VL45 のプロトコル間において中-低速(0.9m/s 以下)の反復回数が有意に異なることを報告しており(Rodriguez-Rosell et al., 2021)、VL の大きさによってエクササイズ中で実施する挙上速度が異なることを明らかとなった。したがって、VL トレーニングにおけるエクササイズ中の実施速度の違いもトレーニング効果に影響する可能性がある。

これらをまとめると、ボリュームが統一されていない VL トレーニングの効果については、「反復回数の違い」「実施速度の違い」のどちらがトレーニング効果に影響しているかは不明である。したがって、挙上速度を観察する重要性について明らかにするためには、異なる VL プロトコルにおいてボリュームを合わせた検討をする必要がある。

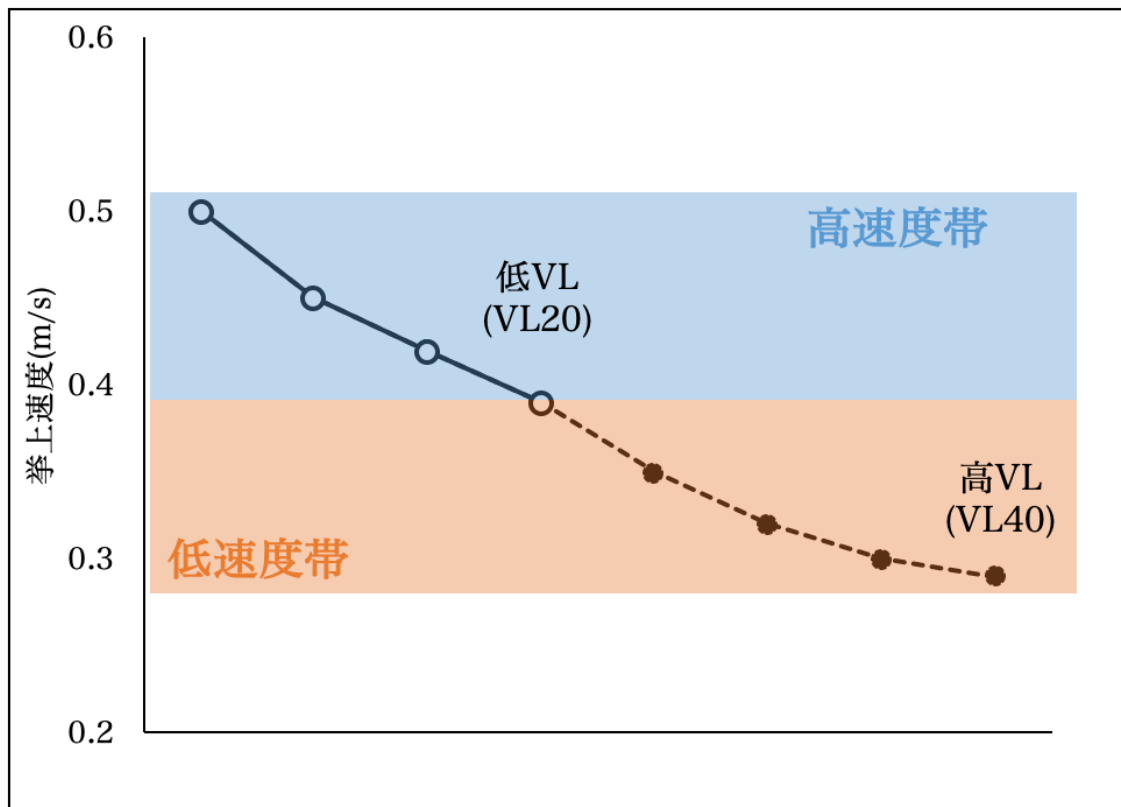


図 5: 異なる VL プロトコルにおける発揮速度帯の違い

低 VL(例:VL20)は、挙上速度が初速から 20%低下した時点でセットが終了するが、高 VL(例:VL40)は、さらにその低下率が大きくなる。Rodríguez-Rosellら(2021)の研究では、低 VLと高 VLでは、中一高速度(0.9m/s 以下)の挙上速度が有意に異なることを報告しており、図を例にすると、低 VLと高 VL では低速度帯(オレンジ)で実施する反復回数が異なることを示している。

## 1-6 本論文の目的

これまで、挙上速度を用いたレジスタンストレーニングにおける筋力、パワーの効果についての研究報告はなされているものの、近年報告された新しい論文を追加して検討する必要がある。また、VL トレーニングにおける適切な休息時間は明らかになっておらず、休息時間の違いがエクササイズ中のセット内の速度低下やセット間の挙上速度の変化は検討はなされていない。また、前述したように VL トレーニングの先行研究では、ボリュームが統一されていないものが多く、トレーニング効果に対して「反復回数の違い」と「実施速度の違い」のどちらが影響しているかは明らかとなっていない。

本博士論文では、レジスタンスエクササイズ中の挙上速度が筋力、パワー向上などのトレーニング効果に与える影響について明らかにすることを目的とした。まず、新たな先行研究を追加し、VL を用いたレジスタンストレーニングのトレーニング効果についてメタ分析およびシステマティックレビューを用いて検討した(研究 1)。VL トレーニングの課題として、休息時間の違いによるセット内、セット間の挙上速度の変化が検討できていないことやボリューム違いによりトレーニング効果に影響している要因が不明であることが挙げられる。これらを解決するために、休息時間と挙上速度の関係性について検討するために、異なる休息時間におけるエクササイズ中の挙上速度の変化について検討した(研究 2)。そして、エクササイズ中における実施速度が異なるプロトコルのボリュームを合わせて、エクササイズ中の実施速度がトレーニング効果に与える影響について検討した(研究 3)。最後に、エクササイズ中の挙上速度の低下を最小限に抑え、複数の負荷を用いた新しいレジスタンストレーニングがパワー向上に与える影響について検証した(研究 4)。

## 研究 1

### 挙上速度を用いた

Velocity Loss cut-offトレーニングのトレーニング効果

: システマティックレビューおよびメタ分析

## 背景

従来のレジスタンストレーニングは、目的に応じた強度、反復回数、および休息時間を組み合わせてトレーニングプログラムを作成する(Haff, 2018)。しかし、エクササイズ中の挙上速度についての考慮はされていない。近年注目されているVBTは、挙上速度を活用することで、その日のコンディションに合わせた負荷や反復回数の調整をすることが可能となり (Gonzalez-Badillo and Sanchez-Medina, 2010、Greig et al., 2023)、トレーニングの効果を最適化することが期待されている。挙上速度を用いた反復回数の調整は、VL という手法を用いる。VL は、目的によって定められた速度低下率まで反復を繰り返すといった方法である (Gonzalez-Badillo et al., 2017)。

VL トレーニングの効果については、メタ分析やレビューによって明らかとなっている (Hickmott et al., 2022、Held et al., 2022、Jukic et al., 2023a、Zhang et al., 2022)。最初に VL トレーニングの効果をメタ分析した研究は Hickmott ら(2022)である。彼らは 15 本の先行研究を用いて、 $\leq$ VL25 と  $>$ VL25 で分類し、それぞれの VL におけるトレーニング効果を検証した。結果として、 $\leq$ VL25 は、筋力(1RM)が有意に変化し、 $>$ VL25 では筋肥大の変化が有意に大きくなることを報告した。しかし、2023 年に発表された Jukic ら(2023a)のメタ分析では、筋力は全ての VL で効果があることを示し、筋肥大は高い VL のみ、CMJ とスプリントは低-中の VL において効果量が高くなることを報告した。

Jukic ら(2023a)の研究により、VL トレーニングの効果に関する新たな知見が得られたが、近年さらに新しい VL トレーニングに関する研究が報告されている。したがって、研究1では最新の情報を反映するために、新たに報告された VL を用いた先行研究を加えて、VL トレーニングの効果についてメタ分析およびシステマティックレビューを用いて、再検討することとした。



## 方法

PubMed と SPORTDiscus を用いて、2023 年 5 月までに投稿された論文の検索を行った。以下の用語の組み合わせを各データベースに適合させ、タイトル、抄録、キーワード検索に適用した：“velocity loss” OR “speed reduction” OR “effort level” OR “effort index”) AND (“resistance training” OR “resistance exercise” OR “strength training” OR “strength exercise” OR “weight training” OR “weight exercise”) AND (neuromuscular OR function OR strength OR adaptation OR performance OR jump OR sprint OR “change of direction”).

## 採用基準

論文を採用した基準は、1) VL トレーニングを対象とした研究であること、2) VL の%が記述されていること(例:グループ A=VL10(10%) vs. グループ B=VL30(30%))、3) エクササイズ中において挙上速度が測定されていること、4) アウトカムに対する結果が記載されていること、5) 一過性ではなくトレーニング介入をしている研究であることとした。

各論文におけるアウトカム指標は、(1) 最大挙上重量 (One-repetition maximum: 1RM)、最大随意筋力 (Maximal voluntary contraction: MVC)、等尺性筋力 (Maximum isometric force: MIF)、(2) 筋肥大 (cross-sectional area: CSA、Thickness rectus femoris (RF)、Thickness vastus lateralis (VL))、(3) カウンタームーブメントジャンプ (CMJ)、垂直跳び、(4) スプリント(T10、T20、20m スプリント、30m スプリント)で評価された項目を対象とした。

## 統計処理

バイアスリスクの評価は、Review Manager 5 を用いて解析をした。評価に用いた項目は、Random sequence generation: グループ分け (ランダム) について方法の記載の有無、Allocation concealment (selection bias): 対象者に対するグループのブラインドの有無、Blinding participant and personnel (detection bias): 指導、測定者に対して、対象者のグループのブラインドの有無、Binding of outcome assessment (detection bias): アウトカムのフィードバックの有無、Incomplete outcome data: 不適切な理由でデータが除外されていないか、Selective reporting: プロトコルに記載されている方法や解析通りに行っているか、Other bias: 不適切な共変量を入れていないか、利益相反の有無、であった。評価方法は、Low risk of bias: 記載がある、適切な方法を用いている、Unclear risk of bias: 記載なし、High risk of bias: 不適切な内容であった。評価項目は、効果量 (ES) であった。採用された研究から、各測定結果の前後の平均と分散を抽出した。

## サブ解析

分析 1(異なる VL におけるトレーニング効果):120 の各測定値の平均、分散、トレーニング効果の ES として Cohen's d とその分散を算出した。グループ分けは、低 VL(VL0-10)、中 VL(VL15-25)、高 VL(VL30-50)の 3 群、低 VL(VL0-20:  $\leq$  VL20)、高 VL(VL25-50:  $\geq$  VL25)の 2 群とした。平均 ES の算出には、DerSimonian and Laird random-effects model を使用した (DerSimonian and Laird, 1986)。すべての解析は、R (<https://www.R-project.org/>) パッケージ「metafor」を用いて実施した。結果は  $p < 0.05$  で統計的に有意とみなされた。ES が 0.20-0.49、0.50-0.79、0.80 以上の場合は、それぞれの効果を小、中、大とした(Cohen, 1992)。研究間の異質性は I<sup>2</sup> 統計量を用いて評価した (Higgins and Thompson, 2002)。出版バイアスを評価するために、Egger の回帰非対称性検定を行った (Egger et al., 1997)。

分析 2(1 セット内の反復回数が多いと少ない及び異なる VL におけるトレーニング効果):VL は VL20 以下 ( $\leq$  VL20)と VL25 以上 ( $\geq$  VL25)の 2 群、セット内の反復回数が 5 回未満 (< 5 回)と 5 回以上 ( $\geq$  5 回)の 2 群を組み合わせた、4 群であった。反復回数は、各先行研究のトレーニング介入期間に実施した 1 セットあたりの平均反復回数を用いた。メタ分析は、R の metafor パッケージを用いて行った。各研究からの効果量は Cohen's d で計算され、その分散も算出された。データは、VL×rep と Phenotype のカテゴリ(Hypertrophy, Jump, Sprint, Strength)に基づいてグループ化された。各 Phenotype カテゴリにおいて、VL×rep 間の効果量の差の評価は、Cohen's d および 95%信頼区間を用いた。本研究では、< 5 回を「少ない」、 $\geq$  5 回を「多い」と定義した。

## フローチャート

PubMed と SPORTDiscus を用いて、2023 年 5 月までの検索を行った結果、120 本の論文が該当された。スクリーニングの結果、本研究のシステマティックレビューで用いた論文は 18 本、メタ分析で用いた論文は 11 本となった(図 1-1)。

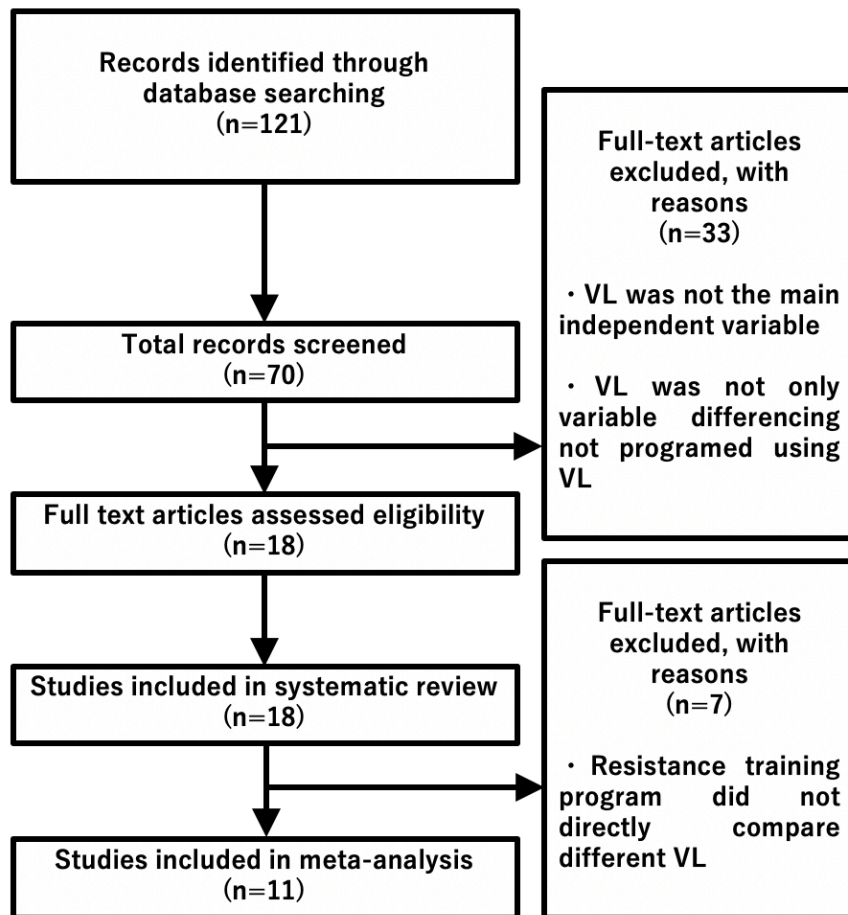


図 1-1: 本研究で用いた先行研究のフローチャート

表 1-1: 本研究で用いた先行研究一覧

先行研究	トレーニング プロトコル (週、週/日、 強度、休息時間 エクササイズ)	性別 (詳細)	VL (平均 反復回數)	測定項目	結果		
					Pre	Post	変化率 (%)
1, Pareja-Blanco ら (2017a) PMID:27038416	8週間, 週2日, 70-85%1RM, 4分, SQ (スミスマシン)	男性  (経験者)	VL20; n=10  (3.9±0.5)	1RM (kg)	105.5 ± 12.2	125.2 ± 12.3***	14.9
				CMJ (cm)	40.5 ± 6.0	44.2 ± 6.0***	8.4
			VL40; n=12  (6.5±0.9)	Fiber CSA(μm <sup>2</sup> )	4800.0 ± 691.0	5217.0 ± 701.0	8.0
				20mスプリント(秒)	3.0 ± 0.1	2.99 ± 0.1	-0.3
				1RM (kg)	104.5 ± 05.1	118.6 ± 20.4***	11.9
				CMJ (cm)	41.0 ± 4.3	42.5 ± 5.8***	3.5
2, Pareja-Blanco ら (2017b) PMID:27618386	6週間, 週3日, 50-70%1RM, 4分, SQ (スミスマシン)	男性  (経験者)	VL15; n=8  (6.0±0.9)	1RM (kg)	101.3 ± 18.8	110.3 ± 14.3***	8.2
				CMJ (cm)	33.7 ± 3.6	35.5 ± 5.1**	5.1
			VL30; n=8  (10.5±1.9)	30mスプリント(秒)	4.32 ± 0.19	4.3 ± 0.2	-0.5
				1RM (kg)	100.2 ± 20.3	106.5 ± 28.5	5.9
				CMJ (cm)	34.4 ± 3.5	33.5 ± 5.1	-2.7
				30mスプリント(秒)	4.2 ± 0.1	4.2 ± 0.1	-0.2
3, Pareja-Blanco ら (2020a) PMID: 32049887	8週間, 週2日, 70-85%1RM, 4分, SQ (スミスマシン)	男性  (経験者)	VL0; n=14  (1.0±0.0)	1RM (kg)	99.9 ± 19.1	112.9 ± 19.9***	11.5
				CSA (cm <sup>2</sup> )	26.6 ± 3.2	27.1 ± 2.6	1.8
				CMJ (cm)	37.3±6.4	39.0±6.6**	4.5
				20mスプリント(秒)	3.05±0.14	3.08±1.16	0.9
			VL10; n=14  (3.0±0.8)	1RM (kg)	96.7 ± 15.3	113.6 ± 15.6***	14.9
				CSA (cm <sup>2</sup> )	26.8±5.1	27.4 ± 5.2	2.0
				CMJ (cm)	36.4±4.7	39.6±5.6**	8.7
				20mスプリント(秒)	3.06±0.17	3.03±0.1**	-0.9
			VL20; n=13  (3.5±1.0)	1RM (kg)	97.8±23.2	110.9 ± 19.6***	11.8
				CSA (cm <sup>2</sup> )	24.7±4.6	26.3 ± 4.9***	6.1
				CMJ (cm)	38.1±5.4	40.5 ± 5.6**	5.9
				20mスプリント(秒)	3.04 ± 0.1	3.03 ± 0.2**	-0.3
VL40; n=14  (6.4±1.7)	1RM (kg)	94.5 ± 17.5	105.6 ± 18.5***	10.5			
	CSA (cm <sup>2</sup> )	26.2 ± 3.4	27.5 ± 4.0***	4.9			
	CMJ (cm)	35.3 ± 5.5	38.4 ± 7.3**	8.1			
	20mスプリント(秒)	3.12 ± 0.2	3.11 ± 0.1**	-0.3			

1RM:最大挙上重量, CSA:筋横断面積, CMJ:カウンタームーブメントジャンプ, VL(vastus lateralis):外側広筋, RF(rectus femoris):大腿直筋, BP(ベンチプレス), SQ(スクワット), DL(デッドリフト), 経験者(レジスタンストレーニング経験者), \*p<0.05(vs. pre), \*\*p<0.01 (vs. pre), \*\*\*p<0.001 (vs. pre)

表 1-1: 本研究で用いた先行研究一覧(つづき)

先行研究	トレーニング プロトコル (週、週/日、 強度、休憩時間 エクササイズ)	性別 (群細)	VL (平均 反復回動)	測定項目	結果		
					Pre	Post	変化率 (%)
4. Pareja-Blanco ら (2020b) PMID: 32681665	8週間, 週2日, 70-85%1RM, 4分, BP (スミスマシン)	男性 (健康)	VL0; n=15	1RM (kg)	65.5 ± 9.6	73.1 ± 11.5***	10.4
			(1.0±0.0)	CSA (cm2)	23.17	25.1**	8.0
			VL15; n=16	1RM (kg)	64.5 ± 17.4	74.0 ± 14.2***	12.8
			(2.9±0.4)	CSA (cm2)	22.8	25.4***	10.3
			VL25; n=15	1RM (kg)	68.4 ± 18.5	80.8 ± 17.1***	15.3
			(4.0±0.7)	CSA (cm2)	23.7	28.3***	16.3
5. Rodiles-Guerrero ら (2020) PMID: 32668476	5週間, 週3日, 65-85%1RM, 3分, BP (スタックマシン)	男性 (活動的)	VL10; n=15	1RM (kg)	73.7 ± 12.0	80.1 ± 13.0***	8.0
			(3.6±0.6)	1RM (kg)	80.4 ± 16.1	87.7 ± 16.6***	8.3
			VL50; n=15	1RM (kg)	76.9 ± 16.3	83.7 ± 15.4***	8.1
(7.8±1.8)							
6. Rodríguez-Rosell ら (2020) PMID: 32017598	8週間, 週2日, 70-85%1RM, 4分 SQ (スミスマシン)	男性 (健康)	VL10; n=12	1RM (kg)	100.8 ± 24.6	116.6 ± 20.7***	13.6
			(2.3±0.2)	CMJ (cm)	37.7 ± 5.6	41.2 ± 6.1***	8.5
				10mスプリング(秒)	1.79 ± 0.1	1.76 ± 0.1*	-1.7
				20mスプリング(秒)	3.08 ± 0.1	3.04 ± 0.1*	-1.3
			VL30; n=13	1RM (kg)	96.6 ± 14.7	110.5 ± 15.2***	12.6
			(4.8±1.7)	CMJ (cm)	38.4 ± 5.0	40.6 ± 6.6*	5.4
				10mスプリング(秒)	1.75 ± 0.1	1.76 ± 0.1	0.6
				20mスプリング(秒)	3.06 ± 0.1	3.07 ± 0.1	0.3
7. Sánchez-Moreno ら (2020) PMID: 32213783	8週, 週2日, 強度記載なし, SQ	男性 (経験者)	VL25; n=15	1RM (kg)	108.4 ± 10.4	114.3 ± 8.9***	5.4
			(7.3±2.2)	1RM (kg)	114.4 ± 20.8	115.2 ± 19.8	0.7
8. Dorrell ら (2020) PMID: 30946276	6週, 週2日, 70-95%1RM, SQ, BP, DL, SQ&DL 3分	男性 (経験者)	VL20; N=16	SQ 1RM (kg)	110.8±15.2	118.9±14.6*	7.3
				BP 1RM (kg)	147.8±25.0	161.6±27.1*	9.3
				DL 1RM (kg)	176.4±31.4	187.6±30.0*	6.3
				SQ, DL CMJ (cm)	48.2±10.2	50.6±11.9*	4.9
9. Andersen ら (2021) PMID: 34100789	9週間, 週2日, レッグプレス (75%1RM), レッグエクステン ション (80%1RM), 2.5分	男性 (3)	VL15; n=10	1RM (kg)	86.7 ± 17.0	119.6 ± 20.5***	27.5
		女性 (7)	(5-7)	Thickness VL(mm)	20.6 ± 2.6	21.9 ± 2.2**	5.9
		(経験者)		Thickness RF (mm)	20.8 ± 2.0	22.2 ± 1.9**	6.3
			VL30; n=10	1RM (kg)	84.2 ± 11.8	118.9 ± 15.2***	29.2
			(12-14)	Thickness VL(mm)	21.0 ± 2.9	22.1 ± 3.0**	5.0
			Thickness RF (mm)	21.8 ± 2.7	22.6 ± 2.0**	3.5	

1RM:最大挙上重量, CSA:筋横断面積, CMJ:カウンタームーブメントジャンプ, VL(vastus lateralis):外側広筋, RF(rectus femoris):大腿直筋, BP(ベンチプレス), SQ(スクワット), DL(デッドリフト), 経験者(レジスタンストレーニング経験者), \*p<0.05(vs. pre), \*\*p<0.01 (vs. pre), \*\*\*p<0.001 (vs. pre)

表 1-1: 本研究で用いた先行研究一覧(つづき)

先行研究	トレーニング プロトコル (週、週/日、 強度、休息時間 エクササイズ)	性別 (詳細)	VL (平均 反復回数)	測定項目	結果		変化率 (%)	
					Pre	Post		
10, Heledら(2021) PMID: 33547265	8週間, 週2日, (80%1RM), BP, SQ, DL 2-3分	男女  (経験者)	VL10; n=11  (BP=3.9)  (SQ&DL=7.7±21)	1RM (kg)	93.5±18.3	106.1±20.3***	13.4	
				1RM (kg)	108.1±13.3	117.4±14.1***	8.6	
				SQ 1RM (kg)	123.3±8.6	153.8±26.5***	24.7	
				DL 1RM (kg)	160.3±28.8	192.4±27.5***	20.0	
11, Rodriguez-Rosell ら (2021) PMID: 33829679	8 週間, 週2日, 55-70%1RM, 4分 SQ (スマスマシン)	男性  (経験者)	VL10; n=11  (3.8±1.3)	1RM (kg)	96.1 ± 13.9	117.4 ± 17.7***	18.1	
				CMJ (cm)	39.1 ± 5.7	43.8 ± 6.6***	10.7	
				10mスプリント(秒)	1.77 ± 0.1	1.71 ± 0.1*	-3.5	
				20mスプリント(秒)	3.06 ± 0.1	2.99 ± 0.1**	-2.3	
				VL30; n=11	1RM (kg)	97.4 ± 19.2	118.9 ± 22.6***	18.1
				(7.2±2.8)	CMJ (cm)	39.8 ± 4.7	41.8 ± 4.5**	4.8
				10mスプリント(秒)	1.75 ± 0.1	1.73 ± 0.1	-1.2	
				20mスプリント(秒)	3.04 ± 0.2	2.98 ± 0.1*	-2.0	
				VL45; n=11	1RM (kg)	96.8 ± 15.1	111.7 ± 19.2***	13.3
				(10.4±3.9)	CMJ (cm)	39.0 ± 6.3	40.8 ± 6.4*	4.4
10mスプリント(秒)	1.75 ± 0.1	1.75 ± 0.1	0.0					
20mスプリント(秒)	3.05 ± 0.1	3.03 ± 0.1	-0.7					
12, Rodiles-Guerra ら (2022) PMID: 35728808	8週間, 週2日, 65-75%1RM, 4分 BP (スタックマシン)	男性  (経験者)	VL0; n=12 (1.0±0.0) VL15; n=13 (4.0±0.4) VL25; n=12 (6.5±0.9) VL50; n=13 (10.2±1.5)	1RM (kg)	67.3 ± 10.5	70.3 ± 9.4	4.3	
				1RM (kg)	69.1 ± 18.0	75.1 ± 17.7***	8.0	
				1RM (kg)	68.0 ± 9.7	78.8 ± 14.3***	13.7	
				1RM (kg)	68.3 ± 13.6	76.5 ± 15.1***	10.7	
13, Kigallon ら (2021) PMID: 34039769	3週間, 週2日, 85%1RM, 3-4分 フロアプレス (フリーウエイト)	男性  (経験者)	VL20; n=13	1RM (kg)	107.5±5.7	109.2±5.8	1.2	

1RM: 最大挙上重量, CSA: 筋横断面積, CMJ: カウンタームーブメントジャンプ, VL(vastus lateralis): 外側広筋, RF(rectus femoris): 大腿直筋, BP (ベンチプレス), SQ(スクワット), DL (デッドリフト), 経験者(レジスタンストレーニング経験者), \*p<0.05(vs. pre), \*\*p<0.01 (vs. pre), \*\*\*p<0.001 (vs. pre)

表 1-1: 本研究で用いた先行研究一覧(つづき)

先行研究	トレーニング プロトコル (週、週/日、 強度、休息時間 エクササイズ)	性別 (詳細)	VL (平均 反復回数)	測定項目	結果		
					Pre	Post	変化率 (%)
14, Riscart-Lopezら (2021) PMID: 33394894	8週間, 週2日, 50-85%1RM, 3分 SQ (スミスマシン)	男性  (経験者)	VL20; n=11	1RM (kg)	94.8±26.4	109.3±27.7***	15.3
			(4.8±1.6)	CMJ (cm)	37.2±7.5	39.9±7.1**	7.2
				20mスプリント(秒)	3.02±0.16	2.97±0.14**	-1.6
			VL20; n=10	1RM (kg)	93.3±17.4	103.5±21.7***	10.9
			(5.5±2.4)	CMJ (cm)	37.2±5.2	40.2±5.0***	8.0
				20mスプリント(秒)	3.03±0.11	2.99±0.14*	-1.3
			VL20; n=11	1RM (kg)	94.9±25.3	112±25.2***	18.0
			(6.6±3.1)	CMJ (cm)	38.8±7.2	43±8.7***	10.8
				20mスプリント(秒)	2.99±0.14	2.93±0.11*	-2.0
			VL20; n=11	1RM (kg)	94.4±17.1	110.7±15.7***	17.2
			(6.7±3.1)	CMJ (cm)	38.3±5.2	40.3±4.7*	5.2
				20mスプリント(秒)	3.00±0.14	2.94±0.11*	-2.0
15, Krzysztofikら (2021) PMID: 34770042	3週間, 週2日, 80%1RM, 2分 SQ	男性  (経験者)	VL10; n=16	CMJ (cm)	34.7±5.4	38.7±7.1**	11.5
			(4.1±1.3)				
16, Galianoら (2022) PMID: 31904715	7週間, 週2日, 50%1RM, 3分 SQ (スミスマシン)	男性  (経験者)	VL5; n=15	1RM (kg)	97.7 ± 13.7	108.2 ± 14.5***	9.7
			(3.7)	CMJ (cm)	34.3 ± 6.7	37.5 ± 6.9***	8.5
				20mスプリント(秒)	3.09 ± 0.2	2.94 ± 0.1***	-5.1
			VL20; n=13	1RM (kg)	97.0 ± 13.9	110.2 ± 18.4***	12.0
			(11.4)	CMJ (cm)	33.9 ± 4.9	36.9 ± 4.6***	8.1
				20mスプリント(秒)	3.07 ± 0.2	2.96 ± 0.1***	-3.7
17, Costillaら (2023) PMID: 36846453	6週間, 週2日, 70-80%1RM, 4分 SQ	男性  (記載なし)	VL20; n=8	1RM (kg)	98.3 ± 6.6	96.7 ± 12.5	-1.7
			(-)	1RM (kg)	100.3 ± 16.3	108.6 ± 16.7	8.3
			VL40; n=7				
18, Garcia-Oleaら (2023) PMID: 36846453	6週間, 週2日, 55-70%1RM, 3分 SQ, BP	男性  (経験者)	VL15 (SQ)	SQ 1RM (kg)	89±10.39	95.88±11.36**	7.7
			(11.3±10.9)	CMJ (cm)	37.48±6.22	38.61±5.93	3.0
			VL20 (BP)	BP 1RM (kg)	71±13.19	76±13.06*	7.0
			(6.7±2.2)				

1RM:最大挙上重量, CSA:筋横断面積, CMJ:カウンタームーブメントジャンプ, VL(vastus lateralis):外側広筋, RF(rectus femoris):大腿直筋, BP(ベンチプレス), SQ(スクワット), DL(デッドリフト), 経験者(レジスタンストレーニング経験者), \*p<0.05(vs. pre), \*\*p<0.01(vs. pre), \*\*\*p<0.001(vs. pre)

## 結果

バイアスリスクの検討では、18本の論文が使用され、高リスク(High risk of bias)を示すものはなかった(図 1-2、表 1-2)。

上肢筋力の検討に使用した論文は3本で、アウトカム指標は1RM、MIFであった。 $\leq$ VL20と $\geq$ VL25での比較では、 $\geq$ VL25において有意に高い効果量が示された(標準化平均差(SMD):-0.65、95%信頼区間(CI):-1.00 - -0.31、 $p=0.0002$ 、図 1-3)。

下肢筋力の検討に使用した論文は7本で、アウトカム指標は1RM、MVC、MIFであった。 $\leq$ VL20と $\geq$ VL25での比較では、有意差は認められなかった(図 1-4)。

筋肥大(上肢と下肢)の検討に使用した論文は4本で、アウトカム指標はCSA、Muscle thickness RF、Muscle thickness VLであった。 $\leq$ VL20と $\geq$ VL25での比較では、 $\geq$ VL25において有意に高い効果が示された(標準化平均差(SMD):-0.53、95%信頼区間(CI):-0.97 - -0.10、 $p=0.01$ 、図 1-5)。

筋肥大(下肢)の検討に使用した論文は3本で、アウトカム指標はCSA、Muscle thickness RF、Muscle thickness VLであった。 $\leq$ VL20と $\geq$ VL25での比較では、有意差は認められなかった(図 1-6)。

スプリントの検討に使用した論文は6本で、アウトカム指標は30mスプリント、20mスプリント、T20、T10であった。スプリントの効果を $\leq$ VL20と $\geq$ VL25で比較した場合、 $\leq$ VL20において有意に高い効果量を示した(標準化平均差(SMD):-0.73、95%信頼区間(CI):-1.19 - -0.27、 $p=0.002$ 、図 1-7)。スプリントの結果は、タイムが縮んだ方が良い結果を示すため、効果量(菱形)が示した逆のVLにおいて効果があることを示している。

ジャンプの検討に使用した論文は5本であり、アウトカム指標はCMJであった。ジャンプの効果を $\leq$ VL20と $\geq$ VL25で比較した場合、 $\leq$ VL20において有意に高い効果を示した(標準化平均差(SMD):-0.44、95%信頼区間(CI):0.04 - 0.84、 $p=0.03$ 、図 1-8)。



表 1-2: システマティックレビュー全体のバイアスリスクの表

	Random sequence generation (selection bias)	Allocation concealment (selection bias)	Blinding of participants and personnel (performance bias)	Blinding of outcome assessment (detection bias)	Incomplete outcome data (attrition bias)	Selective reporting (reporting bias)	Other bias
Carlos Galiano et al. 2022	?	?	?	+	?	?	+
David Rodríguez-Rosell et al. 2020	?	?	?	+	+	?	+
David Rodríguez-Rosell et al. 2021	?	?	?	+	+	?	?
F Pareja-Blanco et al. 2017a	?	?	?	+	+	?	+
F Pareja-Blanco et al. 2017b	?	?	?	+	+	?	?
F Pareja-Blanco et al. 2020a	?	?	?	+	+	?	+
F Pareja-Blanco et al. 2020b	?	?	?	+	+	?	+
Guillermo Peña García-Orea et al. 2023	?	?	?	+	?	?	?
Harry F Dorrell et al. 2020	?	?	?	+	+	?	?
Javier Riscart-Lopez et al. 2021	?	?	?	+	+	?	?
Luis Rodiles-Guerrero et al. 2020	?	?	?	+	?	?	+
Luis Rodiles-Guerrero et al. 2022	?	?	?	+	?	?	?
ManualCostilla et al. 2023	?	?	?	+	?	?	?
Mark J Kilgallon et al. 2021	?	?	?	+	+	?	?
Michal Krzysztofik et al. 2021	?	?	?	+	+	?	+
Miguel Sánchez-Moreno et al. 2020	?	?	?	+	+	?	?
Steffen Held et al. 2021	?	?	?	+	+	?	?
Vidar Andersen et al. 2021	?	?	?	+	+	?	?

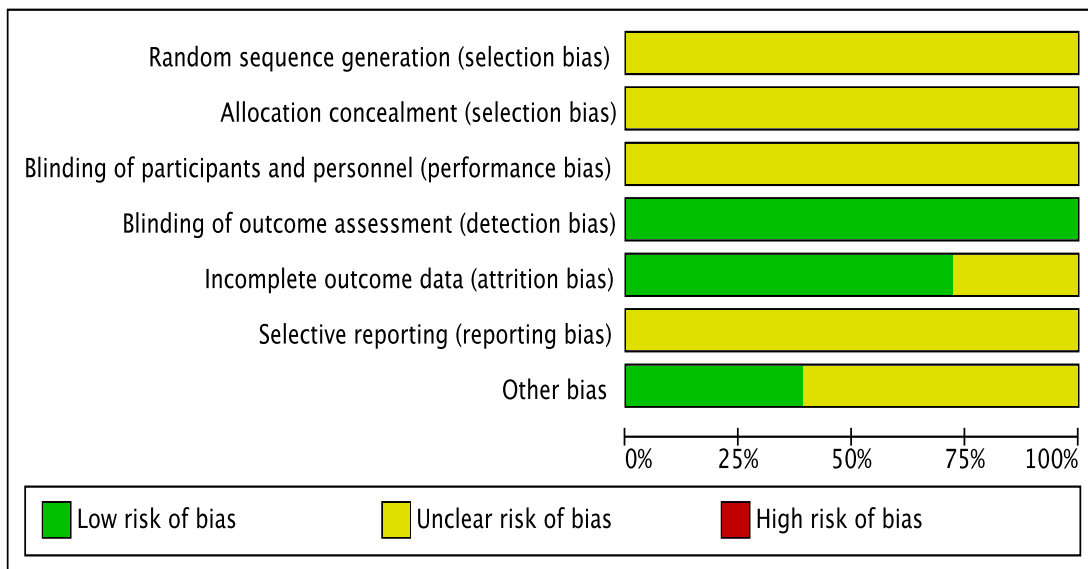


図 1-2: システマティックレビュー全体のバイアスリスク

### 上肢筋力

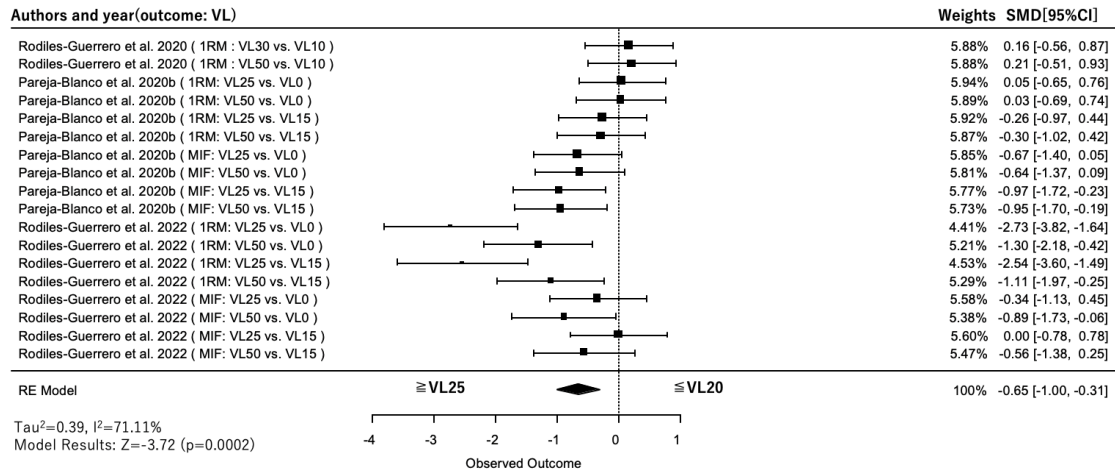


図 1-3: メタ分析を用いた上肢筋力における高 VL(≥VL25)、低い VL(≤VL20)の比較

### 下肢筋力

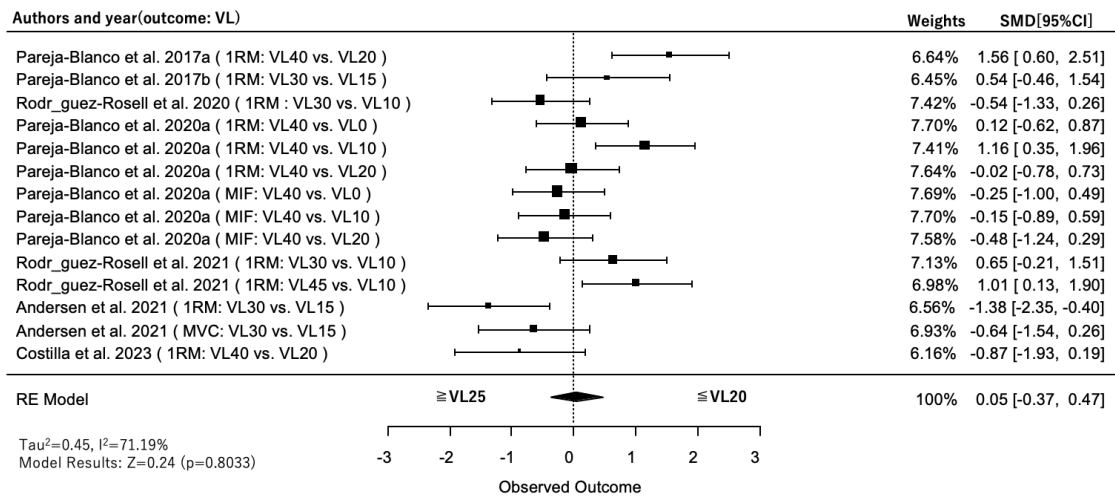


図 1-4: メタ分析を用いた下肢筋力における高 VL(≥VL25)、低い VL(≤VL20)の比較

筋肥大(上肢+下肢)

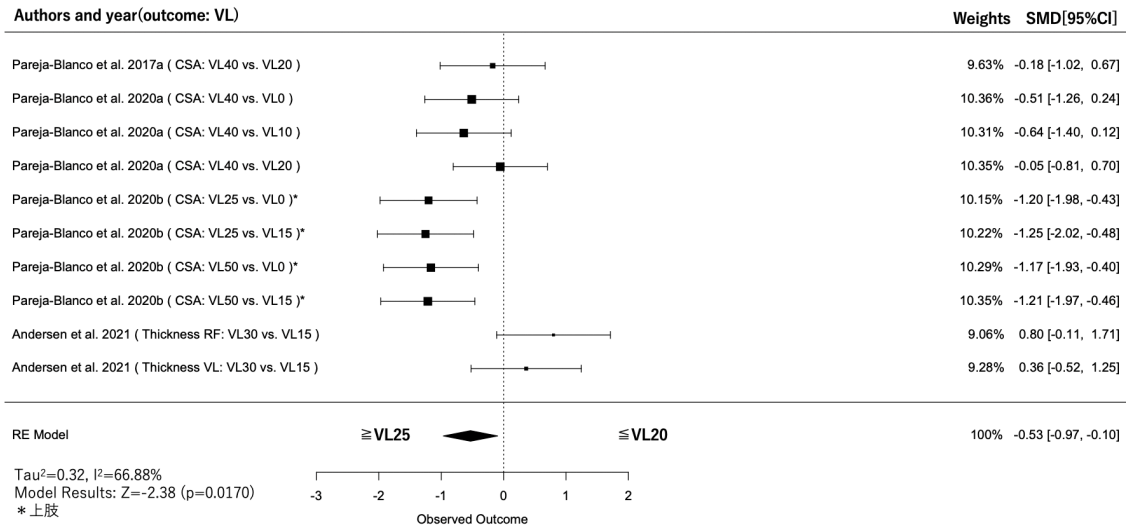


図 1-5: メタ分析を用いた筋肥大(上肢と下肢)における高 VL(≥VL25)、低い VL(≤VL20)の比較

筋肥大(下肢)

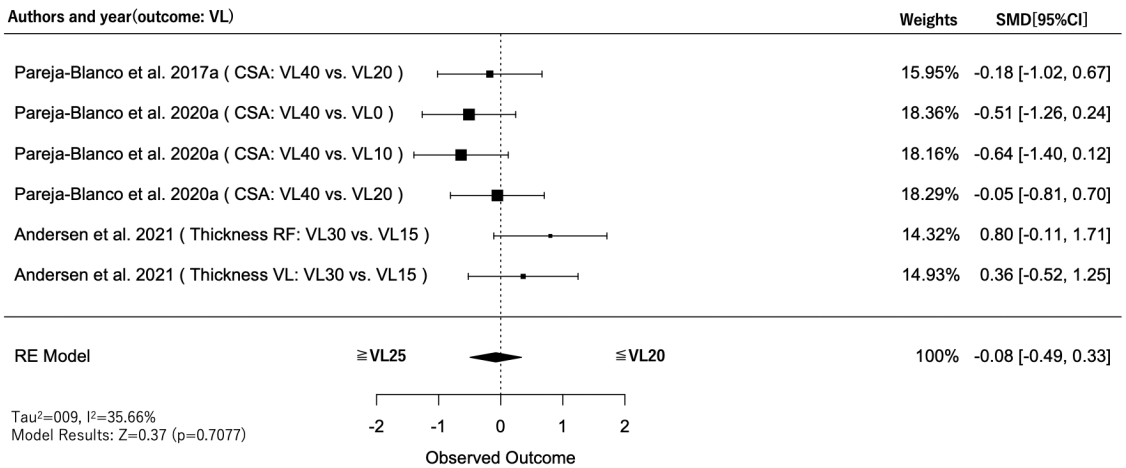


図 1-6: メタ分析を用いた筋肥大(下肢)における高 VL(≥VL25)、低い VL(≤VL20)の比較

### スプリント

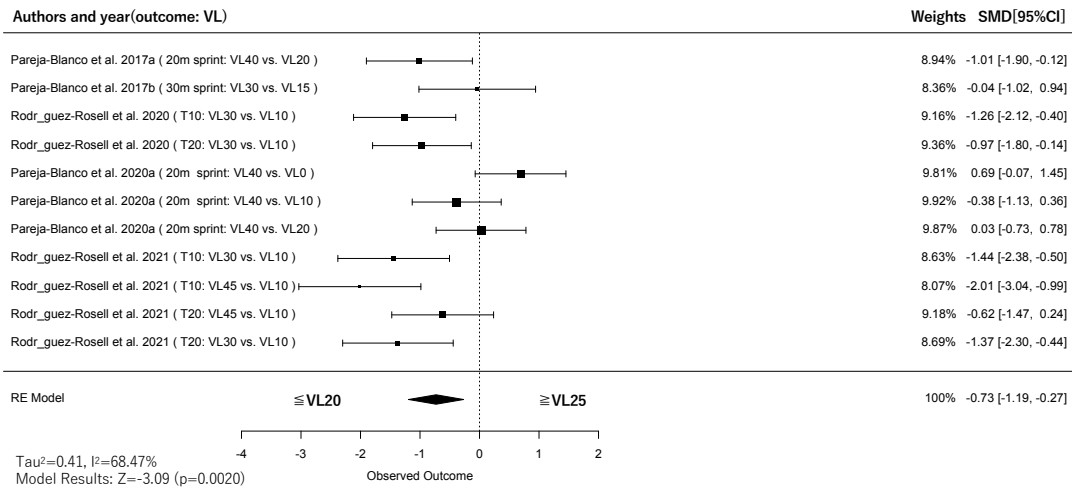


図 1-7: メタ分析を用いたスプリントにおける高 VL(≧VL25)、低い VL(≦VL20)の比較

スプリントは、マイナスの結果において改善する(タイムが縮まるため)。

### ジャンプ

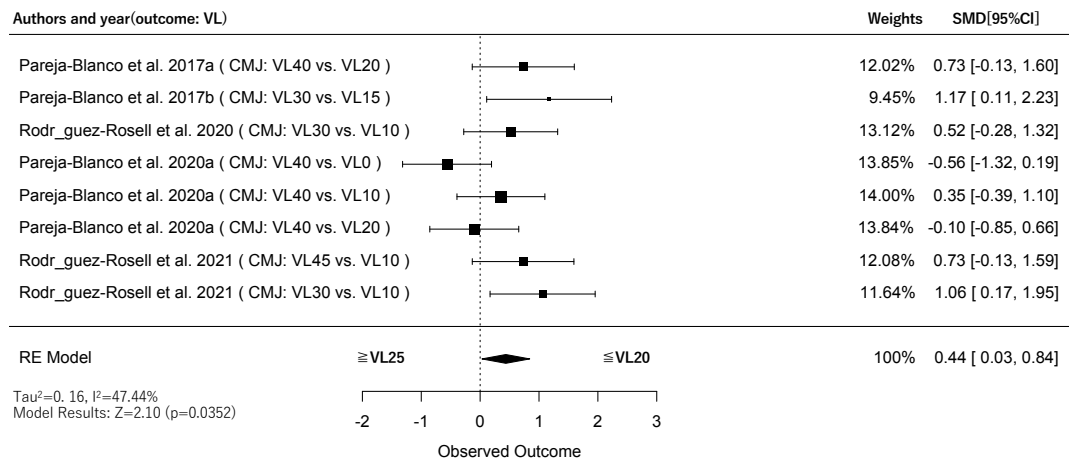


図 1-8: タ分析を用いたジャンプにおける高 VL(≧VL25)、低い VL(≦VL20)の比較

## サブ解析

分析 1:各 VL における筋力、筋肥大、スプリント、ジャンプの効果量を表 1-3、図 1-9 に示す。用いた論文の本数は、筋力が 18 本、筋肥大 4 本、スプリント 8 本、ジャンプ 11 本であった。筋力は、VL0-10 が  $ES=0.67$ 、VL15-25 が  $ES=0.69$ 、VL30-50 が  $ES=0.72$  と全ての範囲において有意に高い効果量を示した(すべての群:  $p < 0.01$ )。筋肥大は、VL0-10 が  $ES=0.13$ 、VL15-25 が  $ES=0.51$ 、VL30-50 が  $ES=0.42$  となり、VL15-25、VL30-50 において有意に高い効果量を示した(VL15-25:  $p < 0.01$ 、VL30-50:  $p=0.04$ )。スプリントは、VL0-10 が  $ES=0.46$ 、VL15-25 が  $ES=0.27$ 、VL30-50 が  $ES=0.04$  となり、VL0-10 のみにおいて有意に高い効果量を示した(VL0-15:  $p < 0.01$ )。ジャンプは、VL0-10 が  $ES=0.48$ 、VL15-25 が  $ES=0.39$ 、VL30-50 が  $ES=0.15$  となり、VL0-10、VL15-25 において有意に高い効果を示した(VL0-15:  $p < 0.01$ 、VL15-25:  $p < 0.01$ )。

分析 2:用いた論文の本数は、筋力が 16 本、筋肥大 4 本、ジャンプ 10 本、スプリント 7 本であった。VL と回数を 5 回未満と 5 回以上で分類し 4 群に分けて検討した結果、スプリントは  $\leq VL20$  の  $< 5$  回は、 $\geq VL25$  のプロトコルと比較して有意に低い効果を示した(図 1-10、 $p < 0.05$ )。また、ジャンプは  $< 5$  回の  $\leq VL20$ 、 $\geq 5$  回の  $\leq VL20$ 、 $< 5$  回の  $\geq VL25$ 、 $\geq 5$  回の  $\geq VL25$  の順で効果量が高くなる傾向を示したが、有意差は認められなかった。

表 1-3:各アウトカムにおけるプール解析の結果

**筋力**

VL	k	$I^2$	ES (d)	SE	P
0-10	10	0	0.67	0.12	<0.01
15-25	13	0	0.69	0.11	<0.01
30-50	13	0	0.72	0.11	<0.01

**筋肥大**

VL	k	$I^2$	ES (d)	SE	P
0-10	2	0	0.13	0.27	0.62
15-25	4	0	0.51	0.22	<0.01
30-50	4	0	0.42	0.21	0.04

**ジャンプ**

VL	k	$I^2$	ES (d)	SE	P
0-10	12	0	0.48	0.12	<0.01
15-25	8	0	0.39	0.15	<0.01
30-50	15	0	0.15	0.11	0.17

**スプリント**

VL	k	$I^2$	ES (d)	SE	P
0-10	7	19	0.46	0.17	<0.01
15-25	4	0	0.27	0.22	0.21
30-50	9	0	0.04	0.14	0.75

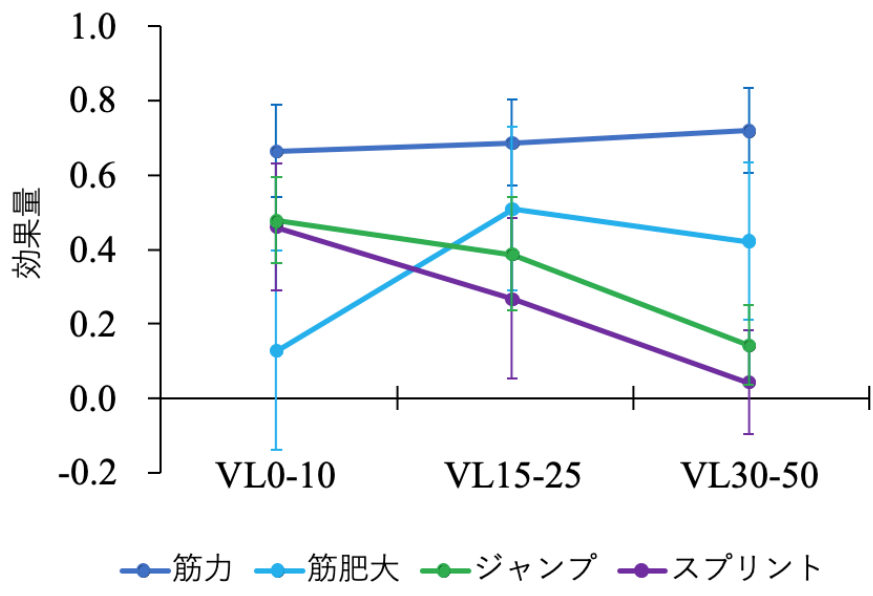


図 1-9: 各アウトカムにおけるプール解析



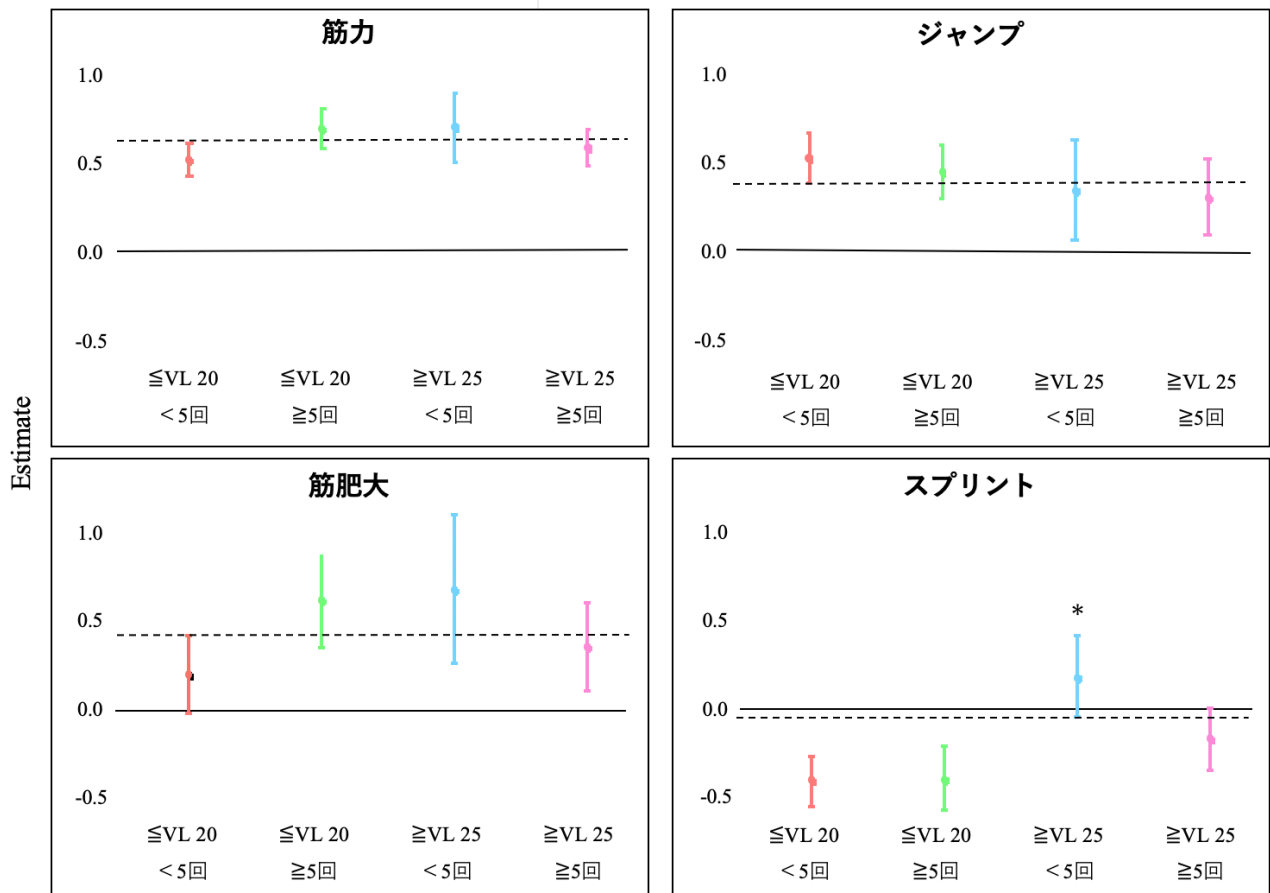


図 1-10: VL と反復回数を 5 回未満と 5 回以上で分類し 4 群に分けて検討した結果

左から ≤VL20 の <5 回、≤VL20 の ≥5 回、≥VL25 の <5 回、≥VL25 の ≥5 回

\*p<0.05(vs. ≤VL20)

## 考察

本研究では、新たに報告された VL を用いた先行研究を加えて、VL トレーニングの効果についてメタ分析およびシステマティックレビューを用いて、再検討することを目的とした。以前 Hickmott ら(2022)の研究において、 $\leq$ VL25 と  $>$ VL25 で分類した場合における VL トレーニングの効果について検討が行われているが、本研究では、さらに論文数を増やし、スプリントとジャンプのアウトカムを追加して再検討した。さらに、システマティックレビューでは、VL と反復回数の 4 つの群に分類し( $\leq$ VL20 の  $<$ 5 回、 $\leq$ VL20 の  $\geq$ 5 回、 $\geq$ VL25 の  $<$ 5 回、 $\geq$ VL25 の  $\geq$ 5 回)、先行研究とは異なる新たな視点を追加して効果量を比較した。本研究の結果は、下肢筋力の効果量には差が認められなかったものの、上肢筋力は  $\geq$ VL25 において有意に高い効果量を示した。また、筋肥大の効果量は上肢と下肢を分類せず、効果量を比較した結果、 $\geq$ VL25 において有意に高い効果量を示したが、下肢のみの検討した結果、効果量に有意差は認められなかった。さらに、VL と反復回数で 4 つの群に分類した結果( $\leq$ VL20 の  $<$ 5 回、 $\leq$ VL20 の  $\geq$ 5 回、 $\geq$ VL25 の  $<$ 5 回、 $\geq$ VL25 の  $\geq$ 5 回)、スプリントにおいて  $\leq$ VL20 は、 $\geq$ VL25 の  $<$ 5 回と比較して、有意に高い効果量を示した。

筋力を上肢と下肢で分類した結果、上肢は  $\geq$ VL25 で有意に高い効果量を示したが、 $\leq$ VL20 では有意差は認められなかった。つまり、筋力における VL の効果は上肢と下肢で異なる結果を示された。Jukic ら(2023a)のメタ分析の結果では、筋力はすべての VL で高い効果を示すことが報告されている。本研究のプール解析の結果においても、すべての VL において有意に高い効果量が示されたことから、下肢筋力のメタ分析の結果が  $\leq$ VL20 と  $\geq$ VL25 で有意差がみられなかった結果に対して、下肢筋力には VL の範囲が影響しない可能性があることが考えられる。さらに、上肢筋力の結果において、VL0 の効果量の違いが影響を与えている可能性がある。Pareja-Blanco ら(2020b)は、健康な男性を対象として 8 週間のレジスタンストレーニング(ベンチプレス)を行った結果、1RM および MIF は VL0、VL 15、VL 25、VL 50 で同等の変化を示したが、VL0 の効果量が最も低い値を示した(1RM: VL0  $<$  VL15  $<$  VL25, 50, MIF: VL0  $<$  VL15  $<$  VL25  $<$  VL 50)。そして、Rodiles-Guerrero ら(2022)は、トレーニング経験のある男性を対象として、同様に 8 週間のレジスタンストレーニング(ベンチプレス)を行った結果、VL0 以外の VL15、VL25、VL50 では 1RM が有意に変化し、MIF は全ての VL で有意に変化する結果を示したが、VL0 の効果量は最も低い値を示した(効果量: VL0  $<$  VL25  $<$  VL15  $<$  VL50)。したがって、上肢筋力は VL0 での効果が少なる傾向がみられた。しかしながら、下肢筋力において VL0 を用いた先行研究では、VL0、VL10、VL20、VL50 において筋力向上の変化に交互作用が認められなかったことを報告している (Pareja-

Blanco et al., 2020a)。したがって、下肢と下肢では VL0 におけるトレーニング効果が異なる可能性が考えられる。

上肢と下肢を合わせて筋肥大について検討した結果、VL25 以上では有意に高い効果量が示された。この結果は、Hickmott ら(2022)の研究と一致する結果となった。レジスタンストレーニングを行うことで起こる代謝的および機械的なストレスは、ボリューム(反復回数×負荷)が増加するにつれて高くなる傾向がある(Kraemer and Ratamess, 2005)。したがって、高い VL ほどボリュームが増加し、筋肥大を促進する可能性が考えられる。さらに、代謝ストレスの増加は、異なる VL のボリュームを同等にした場合でも、高い VL において高い値を示すことから(Rodriguez-Rosell et al., 2020c)、筋肥大の効果には VL の大きさが重要な要素となる可能性がある。しかし、筋肥大の結果において、下肢のみで検討した場合、有意差がみられなかった。上肢のエクササイズを用いて筋肥大の効果を検証した先行研究では、VL0、15、25、50 の全てのプロトコルにおいて有意に変化した。低 VL と高 VL における効果量は高 VL において高値を示した(効果量:VL0、15<VL25、50、Pareja-Blanco et al., 2020b)。しかし、下肢のエクササイズを用いて筋肥大の効果を検証した先行研究では、低 VL と高 VL では有意差がないことを報告している(低 VL=高 VL)(Pareja-Blanco et al., 2020a、Anderasen et al., 2021)。したがって、筋肥大においても上肢と下肢および下肢のみでは、VL の範囲の違いによってトレーニング効果が異なる可能性が考えられる。

筋力と筋肥大の結果において、上肢と下肢で異なる結果が得られた要因として、筋線維組成と疲労の違いが影響した可能性が考えられる。上肢と下肢では、筋線維組成の割合が異なることが報告されている(遅筋線維:上肢>下肢、Klitgaard et al., 1990)。先行研究において、膝関節伸展運動(KE)と肘関節屈曲運動(EF)を 2 分間継続的に実施した結果、エクササイズ中の最大収縮筋力の低下率は、EF よりも KE の方において低下率が有意に大きくなることが報告されている(Vernillo et al., 2018)。さらに、上肢と下肢では、中枢および末梢疲労の大きさが異なることが報告されており、中枢疲労は EF よりも KE で大きくなるが、末梢疲労は KE よりも EF で大きくなることが明らかとなっている(Vernillo et al., 2018)。したがって、上肢と下肢で受ける疲労が異なることがトレーニング効果の違いに影響を与える可能性がある。

筋力向上の結果は、すべての VL で高い効果を示すことが明らかとなっており(Jukic et al, 2023a)、本研究においても上肢と下肢を合わせて検討したシステムティックレビューの結果において、すべての VL で有意に高い効果量を示した。Pareja-Blanco ら(2017a)は、VL トレーニングの介入後における筋線維の変化について検討した結果、VL40 はタイプ IIx 線維の割合が減少したのに対し、VL20 はタイプ IIx 線維の割合が維持されたことを明らかにした。したがって、本研究の結

果と合わせると、筋力向上の効果に影響している要因は筋線維組成の移行以外の要因も影響を与えている可能性があることが示唆された。また、神経筋の適応は、発火頻度、運動単位の動員数の増加、筋線維タイプや筋小胞体カルシウム動態の変化などと関連している (Semmler, 2002、Aagaard, 2002、Gabriel et al., 2006)。最大努力で挙上することが前提である VL トレーニングは、発火頻度や運動単位の増加などに影響を与えた可能性が考えられ、先行研究においても最大努力で挙上したトレーニングプロトコルと、その半分の速度で挙上したプロトコルでは、最大努力で挙上したプロトコルの方が筋力の増加が高いことが報告されている (Pareja-Blanco et al., 2014、Gonzalez-Badillo et al., 2014)。したがって、エクササイズ中において最大努力で挙上することが筋力向上のメカニズムに関与している可能性が考えられる。しかし、これらの要因が直接的に影響を与えているかは定かではない。

本研究では、各 VL プロトコルにおける反復回数を多いと少ない、の 2 つに分類して検討した結果、スプリントにおいて  $\leq$ VL20 は、 $\geq$ VL25 の低回数 (<5 回) の群よりも効果量が有意に高くなることが明らかとなった。これまでの先行研究においても、低 VL は高 VL よりもスプリントのタイムが向上することが報告されている (Rodríguez-Rosell et al., 2021)。Rodríguez-Rosell ら(2021)は、VL10、VL30、VL45 におけるトレーニング効果について検証をしており、VL の増加に伴ってスプリントにおける効果量が徐々に減少していくことを報告した。さらに、VL10 と VL30、VL45 の各プロトコルでは高速 (0.9m/s 以上) で行われた反復回数には有意差がみられなかったものの、VL が大きくなるにつれて中-低速 (0.9m/s 以下) の反復回数に有意な差がみられた。したがって、エクササイズ中に実施する挙上速度が遅くなるようなプロトコル (高 VL) は、スプリントの効果には適していない可能性が考えられる。Rodríguez-Rosell ら(2021)の先行研究では、それぞれのプロトコルにおける反復回数の調整は行われていない。したがって、本研究の結果と合わせると、エクササイズ中の速度低下率を抑え、高速での反復回数が多くなるエクササイズによってスプリントの効果が改善する可能性が示唆された。一過性の VL 研究では、高 VL ほど神経筋系の疲労が増加することが報告されており (Rodríguez-Rosell et al., 2020c)、神経筋系の疲労の蓄積がスプリントの効果に悪影響を及ぼす可能性がある。しかし、本研究では、長期的なトレーニング介入を行っていないため、実施速度の違いがトレーニング効果に直接的に影響するかは不明である。

プール解析におけるジャンプの結果は、VL0-15 および VL15-25 において有意に高い効果量を示したが、反復回数を多いと少ない、の 2 つに分類した場合、効果量に有意差は認められなかった。しかし、 $\leq$ VL20 の <5 回、 $\leq$ VL20 の  $\geq$ 5 回、 $\geq$ VL25 の <5 回、 $\geq$ VL20 の  $\geq$ 5 回の順で高い効果量を示す傾向がみられた。したがって、ジャンプの効果には VL よりも反復回数による影響

が大きい可能性が考えられる。先行研究では、エクササイズ中の挙上局面において最大努力で挙上する群とその半分の挙上速度で挙上する群に分けてトレーニングを実施した結果、最大努力で挙上する群において CMJ が有意に変化したことを報告している (Pareja-Blanco et al., 2014)。また、Muñoz-López ら(2022)は、ジャンプなどのパワーパフォーマンスの効果を向上させる要因には、特異性の原理が関連している可能性があると考えられている。低 VL は挙上速度が低下しないように最大努力で反復を繰り返すため、この高速での動作がジャンプの効果にも影響を与えた可能性がある。

本研究は、反復回数を同等にした場合における VL トレーニングの効果を初めてシステムティックレビューにて検討した研究である。本研究で使用された反復回数は、全てのセッションにおける平均反復回数をもとに解析を行った。ただし、先行研究では 50-85%1RM といった広範囲の強度が扱われ、プロトコルの中には週単位で強度を漸増させていくものが多く存在した。反復回数は強度に依存するが、本研究では強度をコントロールすることはできなかった。

本研究で用いた論文の数は 11 本であり、その内 2 本が女性を対象とした研究であった (Andersen et al., 2021, Held et al., 2021)。Andersen ら(2021)の対象者は 10 人で、男性が 3 名、女性が 7 名であった。一方、Held ら(2021)の対象者は 21 人で、男性が 17 名、女性が 4 名となっており、それぞれの論文では、男女混合して解析を行っていた。本研究のメタ分析には使用しなかったが(データ不足により除外)、VL トレーニングの効果を男女で検討した研究では、トレーニング経験のある男女を対象とし、スクワットとベンチプレスを用いて VL20 と VL40 のトレーニングを 8 週間実施した結果、どちらの VL においても 1RM や CMJ の改善が認められたものの、女性は VL40 を用いた方が高い効果を得ることが明らかとなった。男性と女性では絶対的な挙上重量が異なるため、ベースラインの筋力差が各エクササイズで実施する負荷や反復回数に影響を与え、VL トレーニングにおける効果が異なる可能性が考えられる。そのため、女性を対象とした VL トレーニングの効果について更なる検討が必要である。

現在、VL トレーニングで一般的に使用される休息時間は主に 4 分であり、本研究で用いた先行研究においてもほとんどが 4 分の休息時間を採用していた (Pareja-Blanco et al., 2017a, Rodiles-Guerrero et al., 2020, Rodiles-Guerrero et al., 2022)。しかし、中には短い休息時間(2.5 分)を用いた研究も存在し (Andersen et al., 2021)、扱われている休息時間の幅が広く、VL トレーニングにおける適切な休息時間については、明らかになっていない。Pareja-Blanco ら(2019)は、60%1RM と 80%1RM の負荷を用いて VL20 と VL40 のプロトコルを同じ休息時間(4 分)で実施した結果、60%1RM で VL40 を実施したプロトコルは、48 時間後においてもスプリントや CMJ の値がベースラ

インの値まで戻らないことを報告した。また、70%1RM で 10 回 3 セットを異なる休息时间(休息时间:1 分、3 分、5 分)で行った先行研究では、エクササイズ中の平均パワーは、1 分よりも 3 分と 5 分の休息时间の方が高くなることが報告し、休息时间の長さによって回復の程度が異なることが明らかとなっている (Abdessemed et al., 1999)。そのため、挙上速度と休息时间の関係性を明らかにすることは VL トレーニングの効果を最大限に引き出すためには重要である。

これまでの VL を用いた先行研究では、各 VL におけるボリュームの調整が行われている研究は少ない。先行研究では、フルスクワットを用いて 55-70% 1RM の強度で VL10、VL30、VL45 を実施した場合、セット内でできる反復回数が有意に異なることを報告している (Rodriguez-Rosell et al., 2021)。VL10 では  $3.8 \pm 1.3$  回、VL30 では  $7.2 \pm 2.8$  回、VL40 では  $10.4 \pm 3.9$  回となり、反復回数の違いがトレーニング効果に影響している可能性が考えられる。さらに本研究のスプリントの結果は、低回数の方において効果量が高くなることが明らかとなった。スプリントなどの効果には、最大努力での挙上や低回数による疲労の抑制などの要因が影響している可能性がある。しかし、これまでに報告されている VL トレーニングの先行研究は、比較する VL 間におけるボリュームの調整が行われていない。VL トレーニング効果は「反復回数の違い」「実施速度の違い」のどちらの要因が影響しているかは不明である。したがって、異なる VL においてボリュームを合わせて検討することで、VL トレーニングの効果に影響している要因を明らかにすることができる。また、過去に行われている同ボリュームの異なる VL トレーニングの効果について検討した先行研究は 2 本あるが (Andersen et al., 2021、Myrholt et al., 2023)、低い VL で効果を得ることができるスプリントに着目した検討はされていない。

## 結論

新たに行われた VL トレーニングの効果に関するメタ分析において、 $\leq$ VL25 と  $\geq$ VL25 で比較した場合、下肢筋力には VL 間で有意な差はみられなかったが、上肢筋力では、 $\geq$ VL25 において効果量が有意に高くなった。さらに、筋肥大においても上肢と下肢を合わせて検討した場合は、 $\geq$ VL25 において効果量が有意に高くなったものの、下肢のみで検討した場合、有意差は認められなかった。この結果は、先行研究で行われたメタ分析に加えて新しい結果を示した。さらに、プール解析の結果では、すべての VL において有意に高い効果量が示され、この結果は近年報告された先行研究と一致するものとなった (Jukic et al. 2023a)。本研究によって明らかとなった筋力向上と筋肥大は上肢と下肢で異なるという結果は、新規性のあるものであり、新たな知見となった。

また、本研究では反復回数を分類し、VL トレーニングの効果を検討した。その結果、スプリントにおいては、 $\leq$ VL20 は、 $\geq$ VL25 の  $\geq$ 5 回と比較して、有意に高い効果量を示した。したがって、スプリントの効果には VL の大きさが影響している可能性が考えられ、低 VL がスプリントの効果に適している可能性が示唆された。

さらに、ジャンプにおいては、 $\leq$ VL20 の  $<$ 5 回、 $\leq$ VL20 の  $\geq$ 5 回、 $\geq$ VL25 の  $<$ 5 回、 $\geq$ VL20 の  $\geq$ 5 回といった順で効果量が高くなる傾向が示され、ジャンプの効果には回数の違いが影響している可能性が考えられる。したがって、スプリントやジャンプの改善には、エクササイズ中における速度低下率を抑えることが重要となるため、長い休息時間を設けることが適切であると考えられるが、休息時間とエクササイズ中の速度低下の関係性については明らかになっていない。さらに、VL トレーニングの影響している要因は不明である。

そこで、VL トレーニングの課題を対処するため、研究 2 では休息時間の違いがエクササイズ中の速度低下に与える影響についての検討、研究 3 では同ボリュームの異なる VL におけるトレーニング効果の検証をすることとした。





## 研究 2

休息時間の違いがエクササイズ中の  
挙上速度に与える影響

## 背景

VL トレーニングプロトコルで使用されている休息時間は、2.5 分から 4 分と幅が広く (Pareja-Blanco et al., 2017b、Sanchez-Medina and Gonzalez-Badillo, 2011、Andersen et al., 2021)、VL トレーニングにおける適切な休息時間については明らかになっていない。休息時間を長くすることによって、エクササイズ中の ATP とクレアチンリン酸が回復し、発揮パワーが維持される (McMahon and Jenkins, 2002)。一方で、休息時間を短くすると、代謝ストレスが増加するなどの反応が起こる (Kraemer et al., 1993)。しかしながら、これまでの先行研究では、休息時間に対する評価方法はエクササイズ中の発揮パワーなどが主体であり (McMahon and Jenkins, 2002)、次のセットにおける挙上速度の回復過程について評価した研究はまだ報告されていない。

挙上速度は、神経筋系の疲労と関連しており、速度低下が大きいほど CMJ の高さが低下することが明らかとなっている (Sanchez-Medina and Gonzalez-Badillo, 2011)。したがって、休息時間が十分である場合、次のセットにおける 1 回目の挙上速度 (初速) が 1 セット目の初速と同等の速度まで回復するが、休息時間が十分でない場合、初速は、セットを重ねるごとに低下する可能性がある。VL トレーニングにおいては、セット内での速度低下を基準とするため、セット間での変化は考慮されていない。そのため、異なる休息時間におけるセット内での速度低下およびセット間での速度低下を合わせて検証する必要がある。

さらに、エクササイズ中の持久力やセット後の回復の程度には個人差がある。異なる休息時間 (1 分、2 分、3 分) を用いたレジスタンスエクササイズにおいて実施できる反復回数について検討した結果、女性の反復回数は全ての休息時間において男性より上回る結果を示した (Ratamess et al., 2012)。さらに、同じプロトコルであっても血中乳酸濃度には、個人差があることが報告されており (Szivak et al., 2013)、同じ休息時間のプロトコルではセッション終了後の疲労レベルが個人で異なることが明らかとなっている。また、絶対的筋力が異なる男性と女性では、同じプロトコルを実施した後の回復時間が異なることが報告されており (Gastin et al., 2001)、エクササイズ後における回復時間にも個人差がある。

したがって、個人に合わせた休息時間を調整することで、より目的に適した身体的負荷を調整することができる可能性がある。エクササイズ中の挙上速度の低下やセット間での挙上速度の回復の程度を観察することで、セット内の疲労とセット間の回復をリアルタイムで評価し、適切な休息時間を処方することができる可能性がある。したがって、研究 2 では休息時間の違いがエクササイズ中の挙上速度の低下に与える影響について検討することとした。

## 方法

### 手順

対象者は、日常的にトレーニングを実施している学生 22 名を対象とした。対象者の特性を表 2-1 に示す。対象者の採用基準は、パラレルスクワットが体重の 1.2 kg/kg 以上挙上できる者、スクワットの動作が正しくできる者とした。不採用基準は、大腿が地面と平行になるまでしゃがみ込むことができない者、レジスタンストレーニング歴がない者とした。対象者のベースライン時のパラレルスクワットの最大挙上重量は  $1.5 \pm 3.4 \text{ kg/kg}$  であった。22 名全員が全てのプログラムを完了した。

本研究は 4 日間にわたって実施された。1 日目は、パラレルスクワットの負荷を決定するために 1RM の測定を実施した。パラレルスクワットは、大腿が地面と平行になるまでしゃがみ込むパラレルスクワットとし、全てのエクササイズ時に測定者が深さを確認した。測定では、20kg で 10 回のウォームアップを実施したのち、3-5 回の試技で 1RM に到達するよう重量を設定した。各試技における休息時間は 4 分とした。

エクササイズは、1RM を測定してから 3 日間の間隔をあげ、当日は運動をせず筋痛や疲労がない状態で実施した。エクササイズ前のウォームアップは、20kg で 5 回 (休息時間 2 分)、50%1RM で 5 回 (休息時間 3 分)、60%1RM で 2 回であった。その後、4 分の休息時間を挟み、各エクササイズを実施した。

### 測定項目

#### 血中乳酸濃度

エクササイズが 3 セット終了した後、1 分以内に Lactate Pro2 (アークレイ社、日本) を使用して血中乳酸濃度を測定した。

#### 挙上速度

バーベルの挙上速度を測定するために、トランスデューサーを使用した (GymAware; Kinetic Performance Technologies, Australia)。挙上速度は、パラレルスクワットにおけるコンセントリック局面の平均挙上速度を測定した。先行研究に従い、本研究ではスクワットエクササイズ中における複数の挙上速度をパフォーマンス変数として使用した (Gonzalez-Badillo et al., 2017)。1) スクワット中の平均挙上速度 (MV)、2) 各セット内における 10 回の平均挙上速度、3) 最初の反復から最後の反復までの挙上速度の変化率 (Velocity loss: VL) と定義した。

### エクササイズプロトコル

本研究で実施したエクササイズは、70%1RM で 3 セットとした。セット間の休息時間は、先行研究でも用いられている短い休息時間の 90 秒 (R90)、中程度の休息時間の 150 秒 (R150)、長い休息時間の 240 秒 (R240)を用いて、それぞれクロスオーバーデザインで実施した (Salles et al., 2009)。すべてのエクササイズは室温 (22-25° C) および湿度 (40-50%) の環境で実施した。対象者には本研究の趣旨、測定方法、倫理的配慮についての説明を文章及び口頭にて行い、同意を得た上で実行した。本研究は、日本体育大学倫理審査委員会の承認(承認番号 第 020-H061 号)を得て実施した。

### 統計処理

統計解析は、SPSS ソフトウェアパッケージ SPSS version 27.0 (IBM SPSS、Chicago、IL、USA) を用いて解析した。各プロトコルにおける挙上速度の変化は、二元配置分散分析(セット×グループ)を使用した。有意差がみられた場合、主効果を調べるためにボンフェローニ補正した多重比較検定を行った。血中乳酸濃度の差は、一元配置分散分析および傾向性の検定を用いた(ノンパラメトリック検定)。すべての測定データは平均±標準偏差で示した。p 値が<0.05 の場合、統計的に有意とした。

表 2-1: 対象者の身体特性およびパラレルスクワットの 1RM

	n	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	体脂肪率(%)	1RM(kg)	体重あたりの 1RM(kg/kg)
全体	22	21.9±2.5	165.0±8.1	63.1±9.5	19.0±5.5	95.6±32.0	1.5±3.4
男性	11	22.6±2.9	171.3±4.8	70.8±6.4	15.1±3.3	124.8±16.6	1.8±2.6
女性	11	21.2±1.5	158.7±5.4	55.4±4.7	23.0±4.3	66.4±8.0	1.2±1.7

平均±標準偏差

## 結果

各プロトコルにおける1回目と10回目のMV、セット内のVLを表2-2に示す。VLは、R90において全体の1セット目から3セット目、男性の1セット目から2セット目のみにおいて有意に低下した( $p < 0.05$ )。そのほかのVLにおいては、休息时间、セット関係なく変化しなかった。

図2-1は各プロトコルにおける平均挙上速度の変化を示した。全体と男性の結果において交互作用が認められた[(全体:交互作用  $p < 0.001$ 、グループ  $p < 0.001$ 、セット  $p < 0.001$ )、(男性:交互作用  $p = 0.004$ 、グループ  $p < 0.001$ 、セット  $p < 0.001$ )]。その後の検定において、全体と男性のR90の1セット目と2セット目( $p < 0.05$ )、1セット目と3セット目( $p < 0.05$ )、R150の1セット目と2セット目の間に有意差が認められた( $p < 0.05$ )。

図2-2は各プロトコルにおけるエクササイズ直後の血中乳酸濃度の結果を示した。男女で比較した場合、交互作用は認められなかったもののグループと性別において有意差が認められた(グループ  $p < 0.001$ 、性別  $p = 0.008$ )。

表 2-2: 各プロトコルにおける各セット、反復回数における平均挙上速度と速度低下率

		全体		男性		女性	
		MV (m/s)	VL (%)	MV (m/s)	VL (%)	MV (m/s)	VL (%)
R90	1 セット-1rep	0.55±0.09	17.4±12.2	0.58 ± 0.10	16.3 ± 11.0	0.52±0.07	18.5±13.2
	10rep	0.45±0.09		0.48 ± 0.09		0.43±0.08	
	2 セット-1rep	0.53±0.08	22.4±8.6	0.55 ± 0.08	23.8 ± 8.0*	0.53±0.06	21.0±9.0
	10rep	0.41±0.07		0.42 ± 0.07		0.42±0.07	
	3 セット-1rep	0.52±0.07	25.0±11.4*	0.52 ± 0.07	24.1 ± 13.3	0.53±0.06	25.8±9.2
	10rep	0.39±0.08		0.39 ± 0.08		0.40±0.09	
R150	1 セット-1rep	0.55±0.11	22.0±10.7	0.56 ± 0.11	19.9 ± 12.4	0.55±0.07	24.2±8.2
	10rep	0.42±0.08		0.44 ± 0.08		0.41±0.07	
	2 セット-1rep	0.53±0.09	24.9±12.3	0.54 ± 0.09	22.9 ± 15.5	0.53±0.09	27.0±7.3
	10rep	0.40±0.11		0.42 ± 0.11		0.38±0.07	
	3 セット-1rep	0.53±0.09	23.1±12.6	0.53 ± 0.09	22.3 ± 15.0	0.53±0.08	24.0±9.5
	10rep	0.40±0.06		0.41 ± 0.10		0.40±0.07	
R240	1 セット-1rep	0.54±0.09	20.5±12.3	0.57 ± 0.06	22.3 ± 13.3	0.53±0.06	18.7±10.9
	10rep	0.43±0.06		0.44 ± 0.09		0.43±0.06	
	2 セット-1rep	0.54±0.09	19.9±11.9	0.57 ± 0.06	24.1 ± 11.6	0.525±0.05	15.8±10.8
	10rep	0.43±0.07		0.44 ± 0.09		0.43±0.06	
	3 セット-1rep	0.55±0.07	23.3±12.2	0.55 ± 0.07	23.5 ± 10.6	0.55±0.07	23.0±13.6
	10rep	0.42±0.09		0.42 ± 0.09		0.42±0.06	

MV:各反復回数における平均挙上速度、VL:セット内における初速から最終反復回数までの速度低下率

Mean ± S.D., \*p<0.05 (vs. 1 セット目)

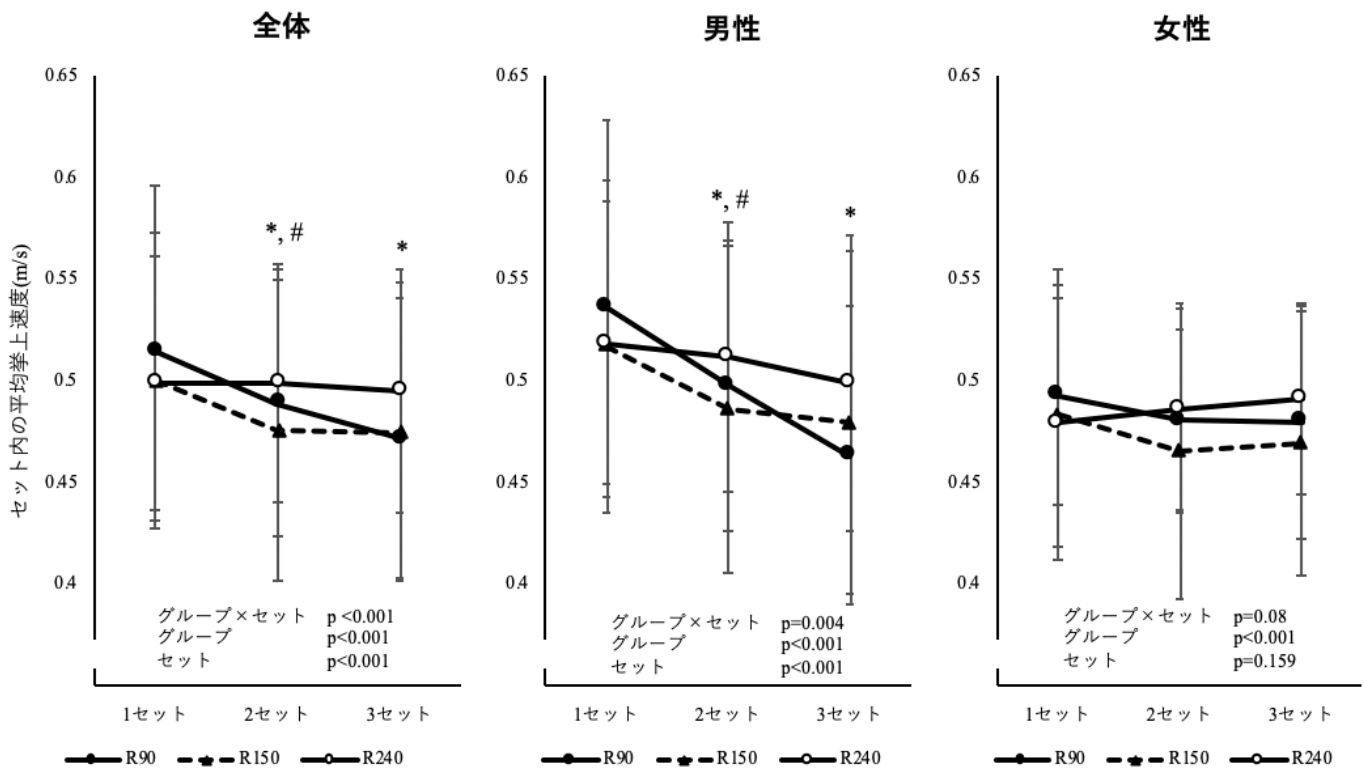


図 2-1: 各プロトコルにおけるセット内の平均挙上速度

●=R90、▲=R150、○=R240、\* $p < 0.05$  (vs. R90 の 1 セット)、# $p < 0.05$  (vs. R150 の 1 セット)



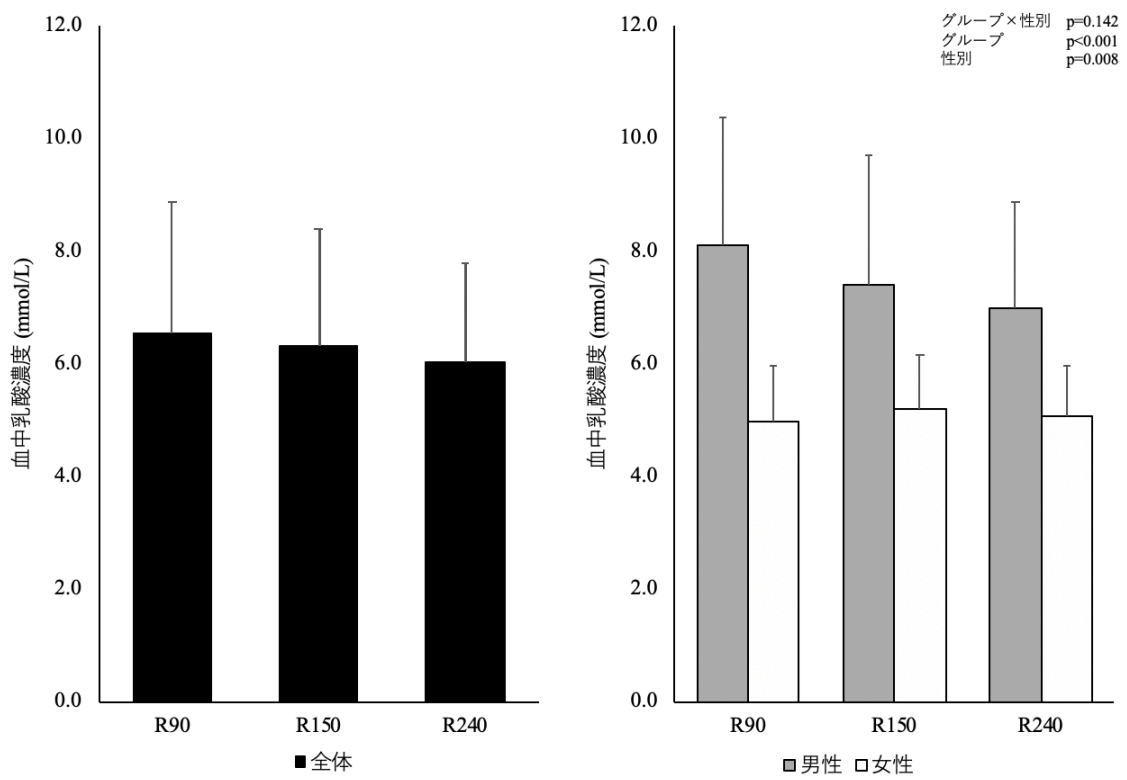


図 2-2: 各プロトコルにおけるエクササイズ直後の血中乳酸濃度

## 考察

本研究では休息時間とエクササイズ中の挙上速度の関係について検討することとした。エクササイズ全体の平均挙上速度は、全体(男性と女性を合わせた結果)と男性において交互作用が認められた。さらに、全体と男性の R90 は 1 セット目と 2 セット目、1 セット目と 3 セット目において有意差がみられ、セットを重ねるごとに平均挙上速度が有意に低下する結果となった。また、R150 においても 1 セット目と 2 セット目において有意差がみられ、休息時間の長さがエクササイズ中の平均挙上速度に影響を与える可能性が示唆された。しかし、エクササイズ中の VL は、全てのプロトコル、セットにおいてほぼ変化しない結果を示した(R90 の全体、男性の一部のみ有意差あり)。さらに、血中乳酸濃度の結果においては、交互作用はなかったもののグループと性別で有意差がみられ、休息時間が短いほど血中乳酸濃度が高値を示す可能性が示された。

短い休息時間における平均挙上速度は、セットを重ねるごとに有意に低下した。休息時間は、疲労物質の除去やエネルギー源、パワーの回復をするために十分な時間を確保する必要がある(Harris et al., 1976, Sahlin and Ren, 1989, Ansdell et al., 2019)。先行研究では、70%1RM で 10 回 3 セット実施した時の平均パワーは、長い休息時間(3 分、5 分)の方が短い休息時間(1 分)よりも高くなることが報告されている(Abdessemed et al., 1999)。そのため、R240 は十分な休息時間となり、エクササイズ中の挙上速度(パワー)が回復した可能性がある。女性はセット間やプロトコル間において有意な差は認められなかった。しかし、女性の平均挙上速度の変化は、男性の結果と類似している傾向を示した(交互作用  $p=0.08$ )。

エクササイズ中の VL は、R90 の全体の 1 セット目から 3 セット目、男性の 1 セット目から 2 セット目のみにおいて有意差がみられたものの、他のセットやプロトコルでは有意差はみられなかった。平均挙上速度は、休息時間が短くなるほど低下したが、エクササイズ中の VL には差がなかった。回復に要する時間が十分であったかどうかは判断できない可能性があることが示唆された。つまり、VL のみの評価では、セット間の回復は反映されない可能性がある。

本研究において、血中乳酸濃度の結果に交互作用は認められなかったが、グループおよび性別の主効果がみられた(グループ  $p < 0.01$ 、性別  $p = 0.008$ )。さらに、傾向性の検定の結果によって、休息時間が短くなるほど代謝ストレスが高くなる傾向がみられた(傾向性の検定  $p = 0.08$ : R90 > R150 > R240)。血中乳酸濃度の増加は、神経筋系の疲労や速度低下率との関連性が報告されている(Jukic et al., 2023a)。したがって、血中乳酸濃度が増加するような短い休息時間は、パワーの向上には悪影響を及ぼす可能性がある。しかし、これらが長期的なトレーニング効果に影響するかは不明であるため、今後更なる検討をする必要がある。

本研究では 70%1RM で 10 回 (VL20 に相当する) の条件でエクササイズが行われたが、他の強度や反復回数において、本研究と同様の結果を示すかは不明である。また、強度や反復回数によってエネルギー供給機構が異なる可能性が考えられる。特に高強度低回数の場合、ホスファゲン機構が主要なエネルギー供給源となり (Fleck et al. 1987、Matuszak et al., 2003、Willardson et al., 2006)、高反復のエクササイズと比較して短い時間で回復することができる可能性がある。そのため、さまざまな強度や反復回数における適切な休息时间について検討する必要がある。

## 結論

研究 2 の結果から、休息時間の長さがエクササイズの平均挙上速度と関連していることが明らかとなった。したがって、目的に合う平均挙上速度になるように休息時間を調整することで、より高いトレーニング効果を得ることができる可能性がある。ただし、本研究は一過性の研究であるため、休息時間の調整による平均挙上速度の違いが長期的なトレーニング効果に影響を与えるかは不明である。さらに、トレーニング効果にはさまざまな要因が影響を与えるため、休息時間以外の要因も考慮する必要がある。特に、エクササイズ中におけるパワーの維持は、パワーの向上に直接的に影響を与えることが報告されており (Abdessemed et al., 1999)、近年ではコンセントリック局面における挙上動作の意識の重要性についても検討されている。したがって、トレーニング効果を最大限に得るためには、これらの要因を含めた総合的なアプローチをする必要がある。

## 研究3

ボリュームを合わせた

Velocity loss cut-offトレーニングの効果の検証

## 背景

VL トレーニングは、エクササイズ中の挙上速度の低下から、反復回数を調整する方法である (Nagata et al., 2020)。さらに、VL トレーニングを導入することで個人差や日々のコンディションの変動を考慮し、疲労を最小限に抑えた反復回数の調整が可能となる。VL トレーニングの効果に関するメタ分析では、低 VL はスプリントやジャンプ、高 VL は筋肥大、すべての VL で筋力が向上するという結果が報告されている (Jukic et al., 2023a)。しかし、Jukic ら (2023a) は、この結果に対して VL トレーニングの Protokol 間において反復回数が異なることを限界点として指摘し、反復回数の違いが VL トレーニング効果に影響する可能性を示唆している。先行研究では、VL によって反復回数が有意に異なることが報告されており (VL0 では 1 セットあたり  $1.0 \pm 0.0$  回、VL15 は  $4.0 \pm 0.4$  回、VL25 は  $6.5 \pm 0.9$  回、VL50 は  $10.2 \pm 1.5$  回、Rodiles-Guerrero et al., 2022)、反復回数の違いが VL トレーニングの効果に影響している可能性がある。

また、エクササイズ中の VL が大きい Protokol では、代謝ストレスや神経筋系の疲労が有意に高くなることが報告されている (Sanchez-Moreno et al., 2023)。Sánchez-Moreno ら (2023) は、同じボリュームで速度低下が異なる Protokol を実施した場合、速度低下率が大きい Protokol (80%1RM を 8 回 3 セット) は、速度低下率が少ない Protokol (80%1RM を 4 回 6 セット) と比較して、血中乳酸濃度が有意に高く、CMJ の低下率が大きくなる結果を示し、セット内の速度低下率の大きさが代謝ストレス、神経筋系の疲労の増加と関連することを報告した。このことから、速度低下率が異なるエクササイズ Protokol は、長期的なトレーニングを実施した場合、トレーニング効果に異なる影響を与える可能性が考えられる。しかし、これまでの VL トレーニングの先行研究では、ボリュームを合わせての検討をしているものが少ないため、VL のトレーニング効果において「反復回数の違い」と「実施速度の違い」のどちらが影響しているかは不明である。

異なる VL におけるボリュームを同等にして検討した先行研究では、Protokol 間におけるトレーニング効果には差がないことを報告している (Andersen et al., 2021、Myrholm et al., 2023)。しかし、これらの先行研究では、VL の影響を強く受けるスプリントパフォーマンスについての検討がなされていない。さらに、VL は反復回数を調整する手法であるため、トレーニング量の調整方法である、テーパリングへの応用の可能性も考えられる。そこで研究 3 では、ボリュームを合わせた実施速度が異なる VL トレーニングにおける筋力、ジャンプやスプリントの効果について検討することとした。

## 方法

### 手順

本研究では、レジスタンストレーニング経験のある男性 20 名(年齢  $19.6 \pm 1.0$  歳、身長  $172.4 \pm 5.0$ cm、体重  $70.5 \pm 6.9$  kg、トレーニング経験  $5.0 \pm 0.8$  年)を対象とした(表 3-1)。対象者の採用条件は、日常的にレジスタンストレーニングを実施しているトレーニングレベルの高い者、スクワットのテクニックが十分で可動域がフルスクワットまでできる者とした。対象者の除外条件は、喫煙者、怪我を有する者、試合等で練習に定期的に参加することができない者とした。中間測定後、対象者がランダムに 2 つのグループに分けられた(VL20:n=10、VL40:n=10)。介入期間中、4 名の対象者は離脱した。2 名は競技練習中の怪我によりレジスタンストレーニングの継続が不可能と判断し離脱、2 名は目的のプロトコルを達成することができず離脱した。したがって、12 セッション実施した対象者は 16 人となった(VL20: n=8、VL40: n=8)。

本研究におけるトレーニング期間は、通常のトレーニング(TR)期間を 3 週間、スクワットのみ VL トレーニング期間を 3 週間、合計 6 週間であった。プロトコルは週 2 回としセッション間は 48 時間以上の間隔をあけておこなった(図 3-1)。VL トレーニングは、速度低下率が異なる 2 種類の VL を用いて、それぞれのボリュームが同等になるようにセット数を調整した(VL20×3 セット、VL40×2 セット)。測定は、TR 期間前の事前測定(pre)、TR 期間と VL 期間の間の中間測定(middle)、VL 期間後の事後測定(post)を実施した。Pre、middle、post 測定は 2 日間で実施された。1 日目は、フルスクワットの 1RM 測定を実施し、2 日目は、CMJ、等速脚伸展性筋力、20m スプリント(T20)であった。それぞれの測定は、筋痛や競技練習のない日に実施した。測定を実施した次の週からトレーニングセッションを始めた。トレーニングは、日本体育大学世田谷キャンパス・トレーニングセンターで実施した。1 日のトレーニング時間は約 2 時間で、室温 22-25°C、湿度 40-50%の環境下で行った。本研究の対象者は学友会に所属しており、本研究を実施した期間は準備期間であったが、練習量の確保が必要なため、スクワットのみを VL プロトコルで行い、その他の種目は TR 期間と同様のプロトコルを行った。対象者は、実験手順と潜在的なリスクについて説明を受けた後、書面によるインフォームドコンセントを提供した。本研究の目的、測定方法、倫理的配慮については、書面および口頭で説明し、同意を得た上で研究を実施した。本研究のプロトコルは、日本体育大学倫理委員会の承認(第 022-H149 号)を得ている。

表 3-1: 対象者の身体特性およびベースラインにおけるフルスクワットの 1RM

	<b>VL20 (n=8)</b>	<b>VL40 (n=8)</b>
年齢 (歳)	19.9 ± 0.9	19.5 ± 1.0
身長 (cm)	171.0 ± 5.8	173.0 ± 4.0
体重 (kg)	71.3 ± 7.6	69.6 ± 6.6
1RM (kg)	118.2 ± 23.1	106.3 ± 25.1
体重あたりの 1RM(kg/kg)	1.7 ± 0.2	1.5 ± 0.3

平均 ± 標準偏差、1RM: フルスクワットの最大挙上重量、群間に有意差はない



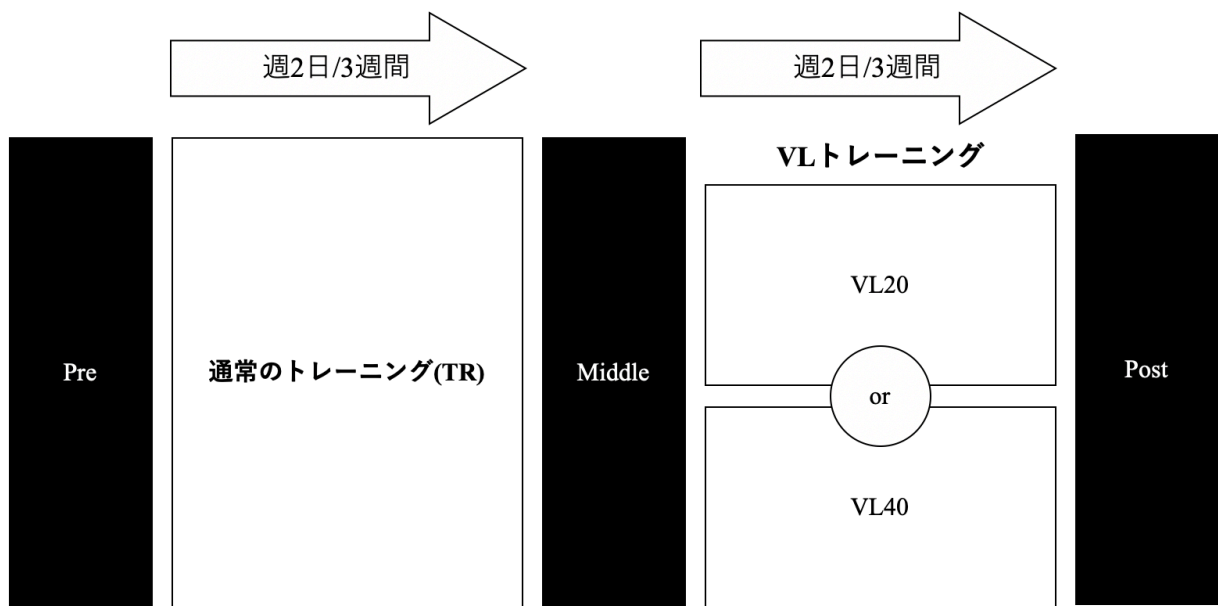


図 3-1: トレーニング期間、測定の流れ

pre:事前測定、middle:中間測定、post:事後測定

## 測定項目

### 負荷-速度直線を用いた最大挙上重量(1RM)の推定

テストは、フリーウェイトでのフルスクワットで実施した。すべての反復は、トランスデューサー (GymAware Power Tool、Kinetic Performance Technologies、Australia)を用いて挙上速度を測定した。測定に使用した負荷は、トレーニング開始 2 ヶ月前に測定した 1RM から算出し、低負荷 (30%1RM)、中負荷 (50%1RM)、高負荷 (90%1RM)の 3 種類の負荷を用いて測定を行った。対象者は、ウォームアップとして 20kg で 5 回の反復練習を行った (休息时间 3 分)。その後、低負荷を 3 回、中負荷を 2 回、高負荷を 1 回、それぞれ休息时间 4 分の間隔で挙上した。対象者には、できるだけ速く挙上するように指示した。それぞれの負荷における最大平均挙上速度から回帰直線を作成し、1RM を算出した (Ramos, 2023)。算出に必要な 1RM を推定する挙上速度は、先行研究を参考にして 0.3m/s とした (Banyard et al., 2017)。Middle 測定と post 測定は、pre 測定と同じ負荷で測定した。

### 20m スプリントテスト(T20)

T20、光電管 (Dashr:Motion Performance System、USA)を用いて測定した。T20 のスタートラインは、対象者の 1m 前方に設置した。テスト前にウォームアップとして 20m のジョギング、最高速度の約 80%で 20m 走を 2 回、最高速度の約 90%で 20m 走を 1 回、最高速度 (100%)で 10m 走を 1 回、それぞれ休息时间 3 分で実施した。測定では、対象者に対してゴールラインを越えるまで全力で走り抜ける様に指示をした。計測は 2 回行い、速いタイムを解析に用いた。

### カウンタームーブメントジャンプ (CMJ)

CMJ は、Jump-MD (武井製作所、日本)を用いて測定した。ウォームアップは、最大努力以下で 3 回のジャンプを行った。測定は最大努力で 2 回行い、2 回の測定値の平均値を解析に用いた。測定の姿勢は、腰に手を当て直立の状態から始まり、ハーフスクワット (膝関節角度が約 90° )となるところまでしゃがみ、垂直方向に跳ぶ様に指示をした。前方や後方に着地がずれた場合や測定値の差が 5%以上ある場合は、3 回目の測定を行った。

## 等速性脚伸展筋力

等速性脚伸展筋力は、Leg press II (武井製作所、日本)を用いて測定した。膝関節の運動範囲は屈曲 90° から伸展 0° とした。ウォームアップを 3 回行った後、速度 0.4m/s にて脚伸展運動を施行した。脚伸展運動を行う際は、できるだけ力強く押す様に指示をした。測定は、2 回実施し、高い値を解析に用いた。2 回の測定値の差が 5%以上ある場合は、3 回目の測定を行った。

## トレーニングセッション

TR 期間と VL 期間に実施したレジスタンストレーニングのプログラムの詳細は表 3-2 に示す。レジスタンスエクササイズは、フルスクワット(SQ)、ベンチプレス(BP)、パワークリーン(PC)、ベントオーバーロー(BL)、ランジ、プルアップで VL 期間中は SQ のみ VL プロトコルを用いた。TR 期間は、80%1RM で 8 回を 3 セット、休息时间 4 分で行った。VL 期間の強度は 80%1RM (ターゲットベロシティ:0.55m/s)で休息时间 4 分であった。本研究では、実施速度が異なり、セット数でボリュームを調整することができる速度低下率 20%(VL20)と 40%(VL40)を採用した。事前に、1セッションでの反復回数が等しくなるように調整した (VL20×3 セット、VL40×2 セット)。ウォームアップは 20kg から開始し、徐々に負荷を増加し、ターゲットベロシティの±0.03m/s 以内で挙上できる負荷をセッションごとに調整した。

## 統計処理

統計解析は、SPSS ソフトウェアパッケージ SPSS version 27.0 (IBM SPSS、Chicago、IL、USA)を用いて解析した。グループ (VL20 vs. VL40)に対するトレーニングの効果は、一元配置分散分析を用いて分析した。各プロトコルについて、トレーニング効果における交互作用を調べるために、二元配置分散分析 (グループ×時間)を用いた。有意差がみられた場合、主効果を調べるためにボンフェローニ補正した多重比較検定を行った。血中乳酸濃度の差は、一元配置分散分析を用いた。各エクササイズ中における挙上速度の割合を調べるためにカイ二乗検定、残差分析を用いた。挙上速度は、<0.4m/s、0.4-0.49m/s、0.5-0.59m/s、 $\geq$ 0.6m/s で分類した。すべての測定データは平均±標準偏差で示した。p 値が<0.05 の場合、統計的に有意とした。コーエンの d の効果量 (ES) は、グループ間およびグループ内の差の大きさとして算出した。ES が 0.20-0.49、0.50-0.79、0.80 以上の場合は、それぞれの効果を小、中、大とした(Cohen, 1992)。

表 3-2: 各トレーニング期間で実施したレジスタンストレーニングプロトコル

TR			VL		
種目	強度 (%1RM)	回数×セット	種目	強度 (%1RM)	回数×セット
					20%×3 (VL20) or 40%×2 (VL40)
SQ	80%1RM	8×3	SQ	80%1RM	
BP	80%1RM	8×3	BP	80%1RM	8×3
PC	80%1RM	3×3	PC	80%1RM	3×3
BL	10-12RM	10-12×3	BL	10-12RM	10-12×3
Lunge	10-12RM	10-12×3	Lunge	10-12RM	10-12×3
Pull-up	-	10×3	Pull-up	-	10×3

SQ のみで VL プロトコルを実施した。そのほかの負荷と反復回数は、TR 期間と変化はない。

TR: 従来のトレーニング期間(3 週間)、VL: VL 期間(3 週間)、SQ: フルスクワット、BP: ベンチプレス、BL: ベントオーバーロウ、PC: パワークリーン、Lunge: ランジ、Pull-up: 懸垂

## 結果

TR および VL プロトコル (VL20、VL40) における総反復回数を図 3-2 に示す。各プロトコルで実施した反復回数は、VL プロトコル間では有意差はみられなかった (VL20:  $119.3 \pm 24.0$  回、VL40:  $105.1 \pm 26.4$  回、 $p=0.30$ )。しかし、VL 期間で実施した各群の総反復回数は、TR 期間で実施した総反復回数と比較して、有意に低い結果を示した (TR:  $144.0 \pm 0$  回、 $p < 0.05$ )。

各 VL における実施した挙上速度の分布を図 3-3 に示す。VL20 と VL40 のプロトコルにおける実施回数の違いは、カイ二乗検定を用いて検討した結果、VL20 と VL40 において実施速度の割合が有意に異なり ( $p < 0.001$ 、図 3-3)、残差分析の結果、VL40 は VL20 と比較して  $< 0.4\text{m/s}$ 、VL20 は VL40 と比較して  $0.51\text{--}0.59\text{m/s}$  の割合が有意に多い結果を示した (それぞれ  $p < 0.001$ )。

各トレーニングセッションにおける VL20 と VL40 のプロトコルの特徴を表 3-3 に示す。平均挙上速度は、セッションの平均 (Overall) において VL40 は VL20 よりも有意に低値を示した ( $p < 0.05$ )。また、VL 期間で使用した  $80\%1\text{RM}(0.55\text{m/s})$  の負荷は、セッション 1 から 6 の間に有意差な変化は認められなかった。

各期間におけるトレーニング効果を表 3-4、図 3-4 に示す。T20 は、時間の主効果はみられたものの ( $p < 0.001$ )、交互作用はみられなかった。また、VL 期間と全体の 6 週間のトレーニングにおいて VL20、VL40 は同等の ES を示した [(mid-post: VL20 ES =  $-0.41$ 、VL40 ES =  $-0.48$ )、(pre-post: VL20 ES =  $-0.74$ 、VL40 ES =  $-0.57$ )]。CMJ は、交互作用が認められなかった。CMJ は VL トレーニング期間において VL20、VL40 は同等の ES を示したが (mid-post: VL20 ES =  $0.2$ 、VL40 ES =  $0.27$ )、pre-post では変化がみられなかった。等速性脚伸展筋力は、時間の主効果はみられたものの ( $p < 0.01$ )、交互作用はみられなかった。TR、VL、6 週間のトレーニングにおいて VL20、VL40 は同等の ES を示した [(pre-mid: VL20 ES =  $0.15$ 、VL40 ES =  $0.19$ )、(mid-post: VL20 ES =  $0.31$ 、VL40 ES =  $0.59$ )、(pre-post: VL20 ES =  $0.50$ 、VL40 ES =  $0.64$ )]。

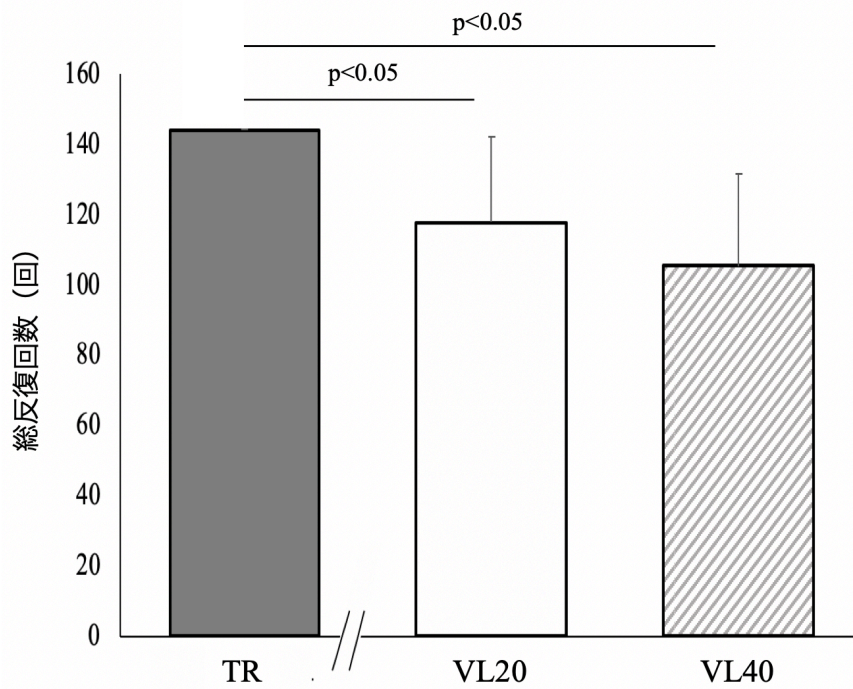


図 3-2: 各トレーニング期間で実施したプロトコルにおける総反復回数

TR:6 週間のうち前半の 3 週間で実施した総反復回数(8 回×3 セット×6 セッション=144 回)

VL:6 週間のうち後半の 3 週間で実施した総反復回数

表 3-3: 各トレーニングセッションにおける VL20 と VL40 のプロトコルの特徴

	Session1	Session2	Session3	Session4	Session5	Session6	Overall
<b>セット × VL (%)</b>							
VL20	20%×3	20%×3	20%×3	20%×3	20%×3	20%×3	
VL40	40%×2	40%×2	40%×2	40%×2	40%×2	40%×2	
Target MV (m/s)	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	
<b>セッション内における VL (%)</b>							
VL20	28.6±5.7*	24.4±5.7*	24.6±3.0*	25.3±2.7	29.1±3.3*	30.4±5.7*	27.0±5.1*
VL40	46.5±2.8	43.8±2.8	39.8±4.4	40.5±6.1	44.3±3.6	44.9±4.3	43.7±4.4
<b>総反復回数 (回)</b>							
VL20	19.1±7.1	18.9±3.6	17.9±3.6	21.0±2.4	19.8±6.9	21.4±5.6	19.6±5.4
VL40	16.7±7.4	19.2±7.6	18.05±8.4	16.2±5.1	18.0±4.2	17.2±5.1	17.5±6.6
<b>セット内の平均反復回数 (回)</b>							
VL20	6.4±2.4*	6.3±1.2	6.0±1.5*	7.0±0.8*	6.6±2.3	7.1±1.9	6.5±1.8*
VL40	10.1±2.5	9.6±3.8	7.7±0.7	8.1±2.6	9.0±2.1	10.1±1.8	9.2±2.7
<b>最大平均挙上速度 (m/s)</b>							
VL20	0.54±0.07	0.59±0.04	0.57±0.04	0.57±0.02	0.57±0.02	0.57±0.03	0.57±0.04
VL40	0.59±0.04	0.56±0.04	0.56±0.03	0.55±0.05	0.57±0.04	0.54±0.09	0.55±0.05
<b>平均挙上速度 (MV) (m/s)</b>							
VL20	0.49±0.03*	0.50±0.04	0.48±0.03	0.48±0.02	0.48±0.04	0.48±0.03	0.48±0.03*
VL40	0.46±0.02	0.47±0.03	0.47±0.03	0.45±0.04	0.47±0.02	0.48±0.04	0.46±0.04

平均±標準偏差、\*p<0.05 (vs. VL20)

VL40 において Failure まで実施した場合はセッション内における VL (%) から除外

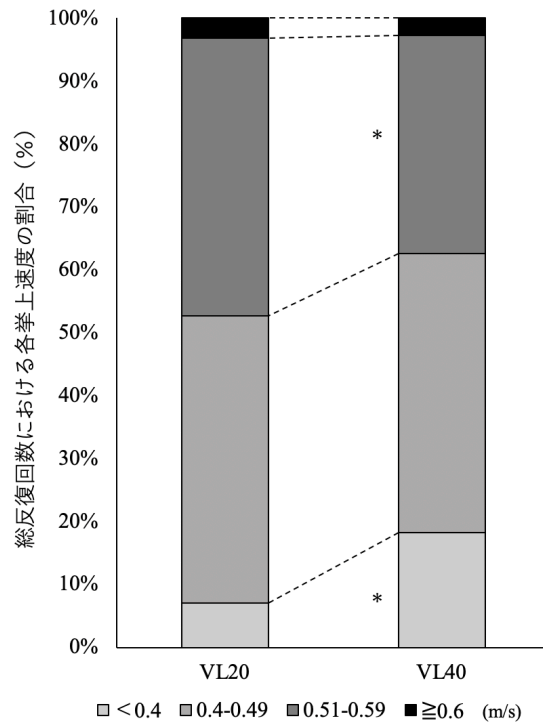


図 3-3: 各 VL プロトコルの総反復回数における各挙上速度の割合

セッション全体で実施した反復回数と各挙上速度範囲の割合を算出した(カイ二乗検定  $p < 0.001$ )。

\* $p < 0.001$  (vs. VL20)



表 3-4: 各測定項目における効果量

測定項目	期間	効果量	
		VL20	VL40
1RM (kg)	pre-mid	0.38*	0.18
	mid-post	0.01	0.05
	pre-post	0.33*	0.15
T20 (秒)	pre-mid	-0.31*	-0.12
	mid-post	-0.41*	-0.48*
	pre-post	-0.74**	-0.57**
CMJ (cm)	pre-mid	0.6**	0.31*
	mid-post	0.2*	0.27*
	pre-post	0.3*	-0.06
等速性脚伸展筋力 (W)	pre-mid	0.15	0.19
	mid-post	0.31*	0.59**
	pre-post	0.5**	0.64**

ES:\*=0.20-0.49、\*\*=0.50-0.79

pre-middle:TR 期間、middle-post:VL 期間、pre-post:6 週間のトレーニング

1RM:スクワットの最大挙上重量、T20:20m スプリント(T20 はタイムが短くなる方が良いので、効果量はマイナスとなる)、CMJ:カウンタームーブメントジャンプ

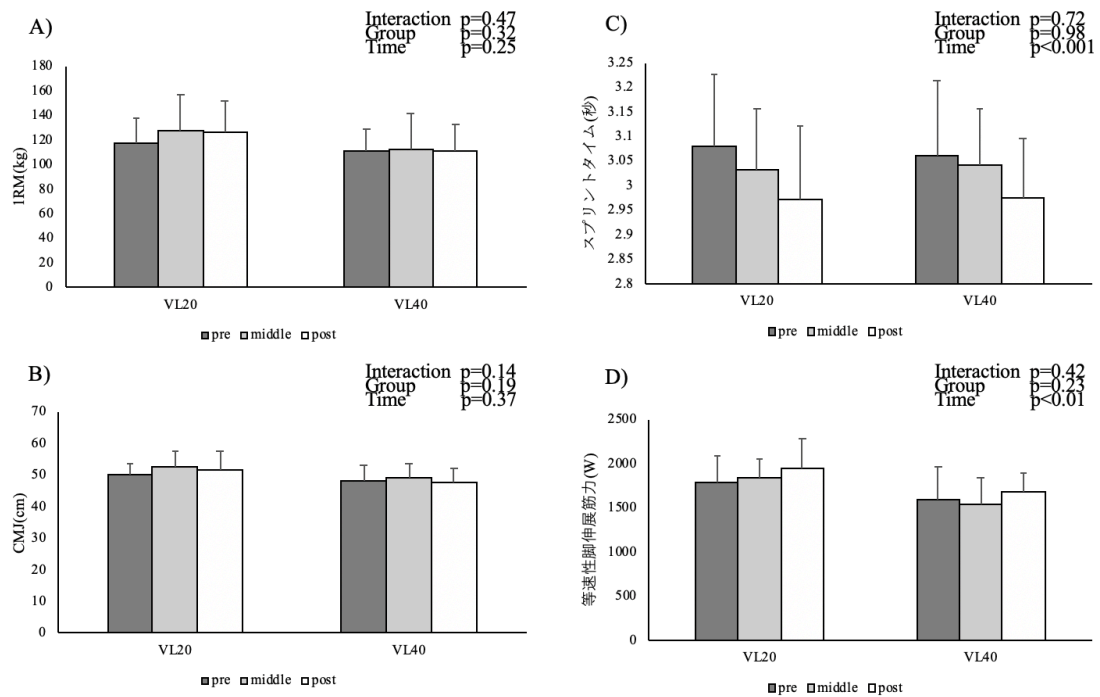


図 3-4: 各プロトコルにおけるトレーニング効果

A) スクワットの最大挙上重量(1RM)、B) カウンタームーブメントジャンプ(CMJ)、C) 20m スプリント(T20)、D) 等速性脚伸展筋力

pre: 事前測定、middle: 中間測定、post: 事後測定

## 考察

本研究は、実施速度が異なるレジスタンストレーニングがトレーニング効果に与える影響について明らかにするために、ボリュームを同等にした異なる VL プロトコルを用いて筋力、スプリント、ジャンプのパフォーマンスへの効果について検討した。その結果、VL20とVL40ではボリュームは同等であるものの、実施速度が有意に異なるプロトコルとなった。しかし、両群において T20、等速性脚伸展筋力の効果は時間の主効果はみられたものの、交互作用は認められず、両群とも同様のトレーニング効果を得ることが明らかとなった。

スプリントと等速性脚伸展筋力は、6週間のトレーニング後において両群で有意に変化した。さらに、スプリントと等速性脚伸展筋力は、VL トレーニング期間において低-中程度の ES を示した [T20:VL20 ES=-0.41、VL40 ES=-0.48)、(等速性脚伸展筋力:VL20 ES=0.31、VL40 ES=0.59)]。しかし、VL 間での効果には、有意差はみられなかった。VL トレーニングは、速度低下率によって反復回数が異なる (VL20:3.9±0.5 回、VL40:6.5±0.9 回、Pareja-Blanco et al., 2017a)。さらに、同ボリュームであっても高い速度低下率は、エクササイズ直後の血中乳酸濃度を高くすることが報告されている (Sanchez-Moreno et al., 2023)。したがって、速度低下率の違いが長期的なトレーニング効果に影響すると考えられたが、本研究において速度低下率の違いがトレーニング効果に影響を与えなかった。Andersen ら(2021)は、同ボリュームの VL トレーニングを実施した結果 (VL15 vs. VL30)、筋力、RFD、筋肥大の効果は両群で同等であったことを報告した。また、Myrholm ら(2023)の研究においても、同ボリュームの VL20とVL40のプロトコルは、両群とも筋力が向上したことを報告しており、本研究の結果を踏まえると、VL トレーニングの効果にはエクササイズ中における実施速度の影響が少ない可能性が示唆された。しかし、速度低下率が高くなるほど代謝ストレスや神経筋系の疲労が増加することが報告されているため (Sanchez-Moreno et al., 2023)、ボリュームを合わせた VL20とVL40のトレーニング効果が同等であっても身体的、代謝的ストレスは VL20の方が少なくなることが予測される。また、ボリュームを合わせた VL トレーニングの先行研究は少なく、スプリントの効果については本研究のみでしか検討されていないため、今後更なる検討が必要である。

これまで報告されているボリュームを合わせていない VL トレーニングについて検討した先行研究では、低 VL は高 VL と比べてスプリントパフォーマンスの向上が高いことが報告されている (Galiano et al., 2022、Pareja-Blanco et al., 2020a)。Galiano ら(2022)は、VL5とVL20のプロトコルにおけるトレーニング効果について検討しており、7週間のトレーニング後において両群ともスプリントタイムが改善したことを報告している。また Pareja-Blanco ら(2020a)は、VL0、VL10、VL20、

VL40 のプロトコルを 8 週間実施した結果、10m-20m のスプリントの結果には時間の主効果がみられたものの、VL10 のみにおいて有意な改善を示した。したがって、スプリントには VL5-20 といった低い VL において効果が高くなる可能性が示唆されている。また、低速でより多くの反復を行うと、疲労回復の時間が遅くなり、最大発揮筋力が低下することが報告されている (Allen et al., 1995)。したがって、低 V は、スプリントの効果をより改善する可能性がある。しかし、本研究におけるスプリントの結果には、群間での差がなかったため実施速度および反復回数以外の要因がトレーニング効果に影響している可能性が考えられる。

VL トレーニングのメタ分析や VL のボリュームを同等にした場合における 1RM の変化は、すべての VL において効果を示すことが報告されている (Andersen et al., 2021, Myrholm et al., 2023, Jukic et al., 2023a)。しかし、本研究では VL 期間における 1RM の変化は両群でみられなかった。この結果に対して、本研究の対象者は、ベースラインにおけるフルスクワットの 1RM が  $112.3 \pm 1.6$ kg、体重あたりの 1RM は  $1.6 \pm 0.3$ kg/kg となり、対象者の筋力レベルが高かった。したがって、本研究の 1RM の結果には、対象者の筋力レベルが影響し、変化がみられなかった可能性がある。また、本研究の対象者は日常のトレーニングの中でスプリントやレッグプレスといった動きは行っていなかった。よって本研究の結果は、普段実施していない項目がより変化した可能性がある。

本研究では、VL 間でトレーニング効果に差はみられなかったものの、TR から VL 期間にかけてボリュームが減少したのにもかかわらず、トレーニング効果は維持された。TR と VL における大きな違いは、「ボリュームの減少」と「挙上局面の意識」である。TR と VL 期間において、ボリュームがそれぞれ VL20 で 18%、VL40 で 27%減少した。ボリュームの減少は、神経筋の適応をもたらし、最大筋力に影響を与える (Ahtiainen et al., 2003)。さらに、ボリュームが減少する期間を設けることで、コルチゾール濃度の低下、テストステロン／性ホルモン結合グロブリン比の上昇、クレアチンキナーゼ濃度の低下など、血清ホルモン濃度の変化がおこる (Hakkinen et al., 1987)。これらの影響によって、VL 期間はボリュームが減少したのにも関わらず、トレーニング効果が維持した可能性がある。このボリュームの減少方法は、テーパリングという手法と類似している。Hermassi ら(2019)は、テーパリングはレジスタンストレーニングによって引き起こされる生理的・心理的ストレスを緩和し、競技パフォーマンスを最適化することを報告しており、アスリートにとってテーパリングは試合前の重要な期間となることを記している。テーパリングは、エクササイズのリズムと頻度を減少させることでパフォーマンスを向上させる (Bosquet et al., 2007)。Gibala ら(1994)は、レジスタンストレーニングを受けたアスリートにおいてトレーニングボリュームを減少させた場合、肘関節屈筋の低速度等

速性筋力が有意に増加することを報告した。さらに、パワーリフターは最大筋力とパワーを維持するために、ボリュームを減少させる手法としてテーパリングを用いており (Izquierdo et al., 2007、Travis et al., 2021)、VL が新たな個人別、ボリュームの調整方法としたテーパリングの手法となりうる可能性が示唆された。本研究では、VL 期間において挙上速度が低下しないような意識で挙上を繰り返すように声掛けを行った。最大努力での挙上は、速筋線維を動員し (Behm and Sale, 1993)、腱-腱膜の硬さを高め (Cutsem et al., 1998)、収縮装置のカルシウム感度を高める (Tupling et al., 2000)。したがって、VL 期間におけるトレーニング効果が維持した結果には、最大努力で挙上する意識が影響した可能性が考えられる。

本研究の限界は、VL 期間ではスクワットのみを VL プロトコルで実施するというものであった。したがって、他のエクササイズや競技練習の考慮はできていない。しかし、スクワット1種目のみ VL プロトコルにした場合でも、VL プロトコルはトレーニング効果に影響を与える可能性が示唆された。また、本研究の介入期間は、TR と VL 期間でそれぞれ 3 週間と短い期間であった。しかし、現場におけるトレーニングプログラムの処方、2-3 週間で異なるプロトコルに変化させることから (Haff, 2018)、本研究で用いたトレーニング期間は妥当なものであったと考える。しかし、VL トレーニングを行わず、ボリュームを減少させるコントロール群を設定することができなかった。したがって、従来のテーパリングとのトレーニング効果の比較はできていない。さらに、本研究では個人の疲労状態を追跡することができなかった。この研究の対象者は、全国レベルで競技を行うアスリートであり、レジスタンストレーニング以外にも競技練習を実践していたが、競技練習の練習量の調整、疲労状態や睡眠、栄養状態などを調査することはできなかった。また、レジスタンスエクササイズ中の挙上速度の低下や休息後における次のセットでの回復(初速)が男女で異なることから (Mochizuki et al., 2023)、女性における VL トレーニングのトレーニング効果も検討する必要がある。

## 結論

研究 3 では、VL トレーニングの課題である「反復回数の違い」「実施速度の違い」のどちらの要因がトレーニング効果に影響しているかを明らかとするために、異なる VL のボリュームを合わせてトレーニング効果を検証した。その結果、VL トレーニング効果は同等であることが明らかとなった。さらに、TR から VL 期間ではボリュームが有意に減少したのにも関わらず、トレーニング効果は維持した。この結果には、ボリュームの減少、最大努力で挙上する意識が影響した可能性が考えられる。

最大努力は、スプリントやジャンプの向上に対して重要な役割を果たす可能性が示唆されたが、研究1で明らかになったようにパワーの向上は、エクササイズ中の速度低下といった疲労を抑えることも重要な要因となる。しかし、従来のパワー向上を目的としたレジスタンストレーニングプロトコルはエクササイズ中の速度低下に着目をしていない。そこで、研究 4 では、エクササイズ中の速度低下を抑えた、パワー向上を目的としたトレーニングプロトコルが筋力およびパワー発揮能力に与える影響について検証する。

## 研究 4

セット内における漸減負荷プロトコルが  
筋力およびパワー発揮能力に与える影響

## 背景

パワーの向上には、バリスティックや爆発的な意識で行うトレーニング方法が用いられる (Haff, 2018)。先行研究においても、エクササイズ中のコンセントリック局面における挙上を最大努力で実施することは、最大努力で実施しないプロトコルと比較して、パワーが向上することが明らかとなっており (Pareja-Blanco et al., 2014)、パワーの向上には最大努力で実施することが重要となる。このパワーは、エクササイズ中の挙上速度の低下が大きいほど、エクササイズ直後の疲労指数や血中乳酸濃度は高値を示す (Sanchez-Moreno et al., 2023)。したがって、パワーの向上にはセット内の疲労を最小限に抑えることも重要となる。

研究1によって、スプリントやジャンプなどのパワー向上を目的とした場合、速度低下率が大きいと、その効果が少なくなることが明らかとなった。パワーを最適化させるためには、力-速度曲線を用いて目的にあった負荷を調整する (Cormie et al., 2010、図 4-1)。競技中のパワーは低-高速の様々な動きと力発揮が必要となる。パワーは負荷特異的に変化をするため (Haff and Nimphius, 2013)、幅広い負荷を用いることにより、パフォーマンスを改善させることができる可能性がある。しかし、パワー向上を目的としたレジスタンストレーニングプロトコルは、セット内における速度低下について考慮はなされておらず、エクササイズ内で扱う負荷も 1 種類のみである。クラスターセットという、パワー向上に特化したプロトコルは、セット内の反復回数を細かく分け、短い休息時間を設ける (例: 2 回-30 秒休息-2 回-30 秒休息-2 回、Tufano et al., 2017)。しかし、セット内で扱う負荷は 1 種類のみであり、セット内で休息時間を設けることからエクササイズの総時間が長くなる。

セット内で複数の負荷を扱うレジスタンストレーニングの方法として Ozaki ら(2018)によって定義された漸減負荷 (SLR) トレーニングがある。このトレーニング方法は、セット内で負荷を段階的に漸減させセット内で複数の負荷を使用することができる手法となっている。Ozaki ら(2018)は、高負荷-failure 群、低負荷-failure 群、高負荷と低負荷を組み合わせた漸減負荷-failure 群の 3 つのプロトコルにおけるトレーニング効果について検証した結果、漸減負荷-failure 群は筋力と筋持久力を同時期に向上させることが明らかとなった。したがって、セット内で複数の負荷を扱うことによって、さまざまな効果を同時に向上させることができる可能性がある。しかし、エクササイズ中の疲労の蓄積は、パワーの向上に悪影響を及ぼす可能性があることから (Sanchez-Medina and Gonzalez-Badillo, 2011、Fonseca et al., 2020)、failure まで反復を繰り返すことは、パワーの向上には適さない可能性がある。そこで、SLR の手法を用いるものの failure まで実施せず、速度が低下をする前に負荷を漸減させ、セット内の疲労の蓄積を抑えるプロトコルを作成することとした。また同時に、セット内で低負荷から高負荷を用いることによって、力-速度曲線全体を向上させることができるかを検証する。



研究4では、エクササイズ中の速度低下を抑え、セット内において様々な負荷を扱う漸減負荷プロトコルが、パワーや筋力へ与える影響を明らかにすることを目的とした。研究4-1として、複数負荷を扱うプロトコルを作成するための一過性の検証、研究4-2として、トレーニング経験のある男性を対象として、ベンチプレスを用いた漸減負荷プロトコルにおけるトレーニング効果の検証をする。

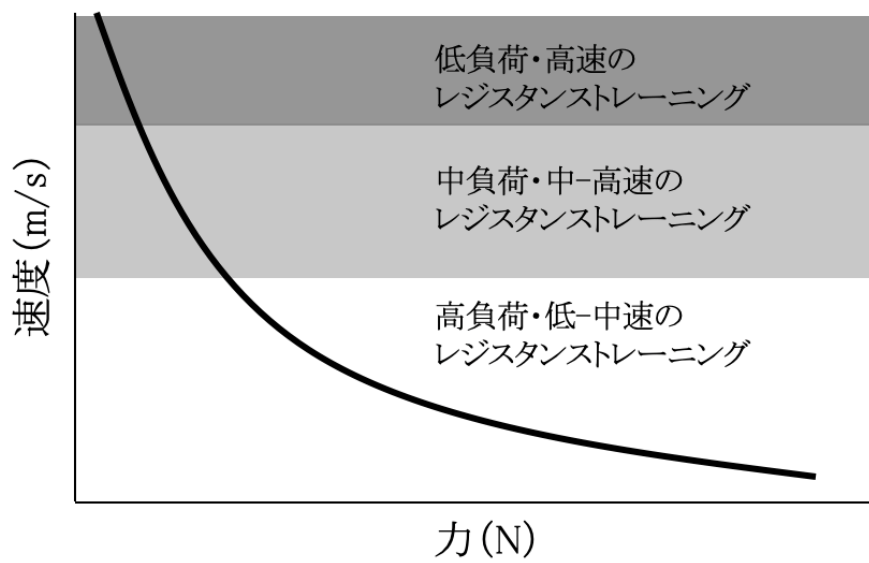


図 4-1: パワー向上を目的とした力-負荷曲線(Cormie et al., 2010)

## 研究 4-1

### 研究デザイン

対象者は、セット間漸減プロトコル、セット間漸増プロトコル、セット内漸減プロトコルの 3 つをクロスオーバーデザインで実施した。実験に入る前に、最大挙上重量の測定を実施したのち、各プロトコルを実施した。プロトコル間は 48 時間以上の間隔を設け、筋痛や疲労がない状態で測定に参加した。セット内漸減プロトコルでは負荷を漸減させる補助者が 2 名おり、実施者が 2 回挙上したのち、補助者が負荷を漸減させた。負荷を下げる際、対象者はレストポーズで待機した(5 秒)。

### 対象者

レジスタンストレーニング経験のある 10 名の男性が参加した(年齢  $24.1 \pm 3.4$  歳、体重  $68.4 \pm 8.2$  kg、ベンチプレスの最大挙上重量  $81.5 \pm 17.7$  kg)。対象者は、定期的にレジスタンストレーニングを実施しているトレーニングレベルの高い対象者であった。対象者の採用条件は、日常的にレジスタンストレーニングを実施している者で、ベンチプレスの 1RM が体重の  $1.0\text{kg/kg}$  以上および正しいフォームで実施できるものとした。対象者は、1RM 測定後に 3 つのレジスタンスエクササイズプロトコルをクロスオーバーデザインで実施した: セット間漸減 ( $n=10$ )、セット間漸増 ( $n=10$ )、セット内漸減 ( $n=10$ )。すべての対象者は、書面で実験手順と潜在的なリスクについて事前に説明された後、同意書にサインをした。研究の目的、計測方法、倫理的考慮事項については、文書および口頭で説明され、同意を得た後に研究が開始された。本研究のプロトコルは、日本体育大学倫理委員会の承認(第 022-H149 号)を得ている。

### 測定項目

#### 最大挙上重量(1RM)

テストは、フリーウエイトを用いたベンチプレスで実施した。対象者には、できるだけ速く挙上するように指示した。対象者は、ウォームアップとして 20kg で 5 回の反復練習を行った(休息时间 3 分)。その後、約 5 回で 1RM に到達するように負荷を調整してテストを実施した。すべての反復は、リニアトランスデューサー(GymAware Power Tool, Kinetic Performance Technologies, Australia)を用いて挙上速度を測定した。測定した 1RM の結果を用いて、エクササイズで使用する負荷を設定した。

## エクササイズセッション

レジスタンスエクササイズはフリーウエイトのベンチプレスで実施した。セット間漸減プロトコルは、1セット目を85%1RMで6回、2セット目を70%1RMで6回、3セット目を55%1RMで6回実施した。セット間漸増プロトコルは、1セット目を55%1RMで6回、2セット目を70%1RMで6回、3セット目を85%1RMで6回実施した。セット内漸減プロトコルは、85%1RMで2回、70%1RMで2回、55%1RMで2回の計6回を1セットとし、3セット実施した(休息时间3分)。それぞれのボリュームは同等とした。ウォームアップは20 kgから始まり、55%1RMで3回、70%1RMで2回、85%1RMで1回とした(休息时间3分)。エクササイズ中のすべての反復回数は、トランスデューサーを用いて挙上速度を測定した(GymAware Power Tool、Kinetic Performance Technologies、Australia)。対象者は、補助者からコンセントリック局面において「できるだけ速く」挙上するように指示された。すべてのエクササイズは室温22-25°C、湿度40-50%で実施した。各セッションは24~48時間の間隔を空けて実施した。

## 統計解析

統計解析は、SPSSソフトウェアパッケージ SPSS version 27.0 (IBM SPSS、Chicago、IL、USA)を用いて解析した。各負荷に対する挙上速度の交互作用を調べるために、二元配置分散分析を用いた(グループ×挙上速度)。有意差がみられた場合、主効果を調べるためにボンフェローニ補正した多重比較検定を行った。すべての測定データは平均±標準偏差で示した。p値が<0.05の場合、統計的に有意とした。

セッション内で実施した負荷に対する挙上速度の平均(6回分)を平均挙上速度、セッション内で実施した負荷に対する挙上速度で最も高い速度を最大挙上速度、最も低い速度を最小挙上速度と定義した。

## 結果

対象者の身体特性を表 4-1 に示す。対象者は体重以上のベンチプレスを挙上できる対象者であった(体重あたりの 1RM:1.25±0.15kg/kg)。

各プロトコルにおけるエクササイズ中の挙上速度の変化を図 4-2 に示す。セット内漸減プロトコルの速度低下率は、1 セット目:85%1RM 12.1±6.7%、70%1RM 5.8±8.3%、55%1RM 6.5±7.5%、2 セット目:85%1RM 15.5±14.8%、70%1RM 1.3±19.6%、55%1RM 6.7±6.4%)、3 セット目:85%1RM 12.9±10.9%、70%1RM 7.2±6.7%、55%1RM 3.3±5.2%となった。セット間漸増プロトコルの速度低下率は、1 セット目:55%1RM 15.8±9.0%、2 セット目:70%1RM 25.7±6.5%、3 セット目:85%1RM 55.1±29.8%となった。セット間漸減プロトコルの速度低下率は、1 セット目:85%1RM 47.4±16.5%、2 セット目:70%1RM 26.8±8.4%、3 セット目:55%1RM 11.7±9.8%となった。

また、各プロトコルで実施したエクササイズ中の平均挙上速度を表 4-2 に示す。85%1RM の平均挙上速度と最小挙上速度において交互作用が認められ( $p < 0.01$ )、セット内漸減負荷プロトコルにおける 85%1RM の挙上速度は他のプロトコルよりも平均挙上速度と最小挙上速度が有意に高い値を示した( $p < 0.05$ )。最大挙上速度は、交互作用は認められなかったものの( $p = 0.06$ )、セット内漸減負荷プロトコルはセット間漸増プロトコルと比較して、85%1RM における最大挙上速度が高くなる傾向がみられた( $p = 0.059$ )。しかし、セット間漸減プロトコルとセット間漸増プロトコルの間には有意差は認められなかった。

表 4-1: 対象者の身体特性およびベンチプレスの 1RM

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	1RM (kg)
n=10	24.1 ± 3.3	168.6 ± 5.0	64.8 ± 8.1	81.5 ± 17.7

1RM: ベンチプレスの最大挙上重量、平均 ± 標準偏差

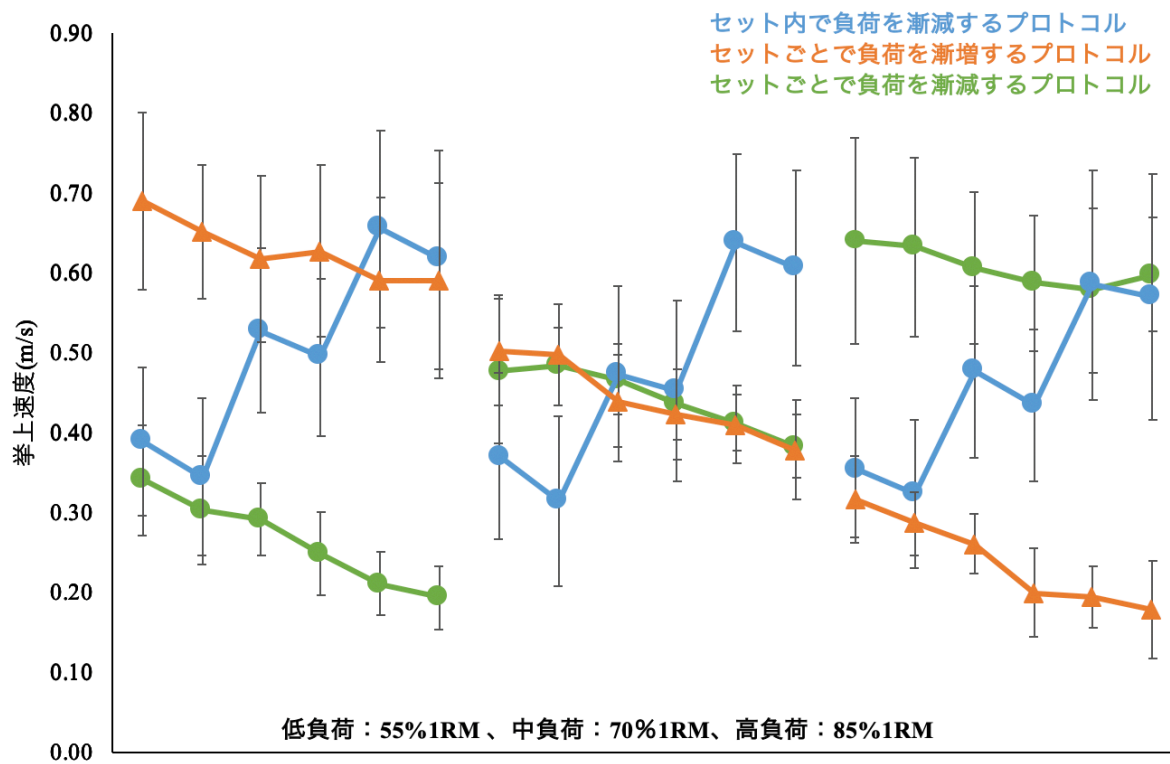


図 4-2: 各プロトコルにおけるエクササイズ中の挙上速度の変化

表 4-2: 各プロトコルで実施したエクササイズ中の挙上速度

		セット内漸減 プロトコル	セット間漸増 プロトコル	セット間漸減 プロトコル
85%1RM	平均(m/s)	0.35 ± 0.09	0.24 ± 0.03*	0.26 ± 0.04*
	最大(m/s)	0.40 ± 0.09	0.32 ± 0.05	0.34 ± 0.07
	最小(m/s)	0.29 ± 0.09	0.16 ± 0.05*	0.18 ± 0.04*
70%1RM	平均(m/s)	0.47 ± 0.09	0.44 ± 0.06	0.42 ± 0.07
	最大(m/s)	0.53 ± 0.10	0.51 ± 0.06	0.48 ± 0.09
	最小(m/s)	0.42 ± 0.10	0.37 ± 0.06	0.35 ± 0.07
55%1RM	平均(m/s)	0.60 ± 0.12	0.62 ± 0.10	0.59 ± 0.10
	最大(m/s)	0.66 ± 0.12	0.70 ± 0.10	0.65 ± 0.11
	最小(m/s)	0.54 ± 0.14	0.57 ± 0.11	0.54 ± 0.10

平均 ± 標準偏差、\*p < 0.01 (vs. セット内漸減プロトコル)

それぞれのプロトコルで、85%1RM、70%1RM、55%1RM を 6 回実施している。

セット間漸増プロトコルは、負荷の順番が他のプロトコルとは異なり、55%1RM、70%1RM、85%1RM の順で実施している。



## まとめ

同じ負荷、ボリュームであっても、セット内漸減プロトコルにおける速度低下率が少ないことが明らかとなった。また、セット内漸減プロトコルは他のプロトコルと比較して高負荷における平均挙上速度、最小挙上速度が有意に高い値を示した。疲労指数や神経筋系の疲労とエクササイズ中の挙上速度の低下率には関連性があることから (Sanchez-Moreno et al., 2023)、最も疲労の蓄積が少なくなると予測されるセット内漸減プロトコルを用いることで、力-速度曲線全体のパワーを改善することができる可能性がある。

したがって、研究 4-2 ではセット内漸減プロトコルを用いて、トレーニング介入実験を行うこととした。

## 研究 4-2

研究 4-1 よりセット内で負荷を漸減させるプロトコルは、速度低下率が低い結果を示した。したがって、セット内漸減負荷プロトコル(以下、漸減負荷プロトコル(SLR))におけるトレーニング効果を検証する。さらに、筋力向上や高負荷におけるパワー向上を目的とした高負荷のみの高負荷群、低負荷のパワー向上を目的とした低負荷のみの低負荷群の 3 群のボリュームを合わせて検証することとした。

## 研究デザイン

対象者は、高負荷(HL)、低負荷(LL)、漸減負荷(SLR)プロトコルの 3 つの群へランダムに割り当てられた。対象者は、介入期間の 2 週間前に慣れのセッションを 2 日行った。慣れセッションでは、等尺性筋力の機器を用いて Maximal voluntary contraction (MVC)と Rate of Force Development (RFD)の測定練習をそれぞれ 2 回行った。その後、測定日を 2 日間設けた。介入期間では、週 2 回を 3 週間、全 6 セッション実施した(48 時間以上の間隔)。実施したエクササイズは、ベンチプレスであった。各トレーニングプロトコルの総ボリューム(反復回数×負荷)は、同等になるように調整した。SLR では負荷を漸減させる補助者が 2 名おり、実施者が 2 回挙上したのち、補助者が負荷を漸減させた。負荷を下げる際、対象者はレストポーズで待機した(5 秒)(図 4-3)。

## 対象者

レジスタンストレーニング経験のある 36 名の男性が参加した(年齢  $22.5 \pm 3.1$  歳、身長  $171.0 \pm 4.9$  cm、体重  $69.9 \pm 9.3$  kg)。対象者は定期的にレジスタンストレーニングを実施しているトレーニングレベルの高い対象者であった(体重あたり 1RM、 $1.14 \pm 0.1$  kg/kg)。対象者の採用基準は日常的にレジスタンストレーニングを実施している者、ベンチプレスが正しいフォームでできる者とした。対象者は、トレーニング前の測定後に 3 つのレジスタンストレーニングプロトコルへランダムに振り分けられた:低負荷(LL:n=12)、高負荷(HL:n=12)、漸減負荷(SLR:n=12)。研究の途中で 1 名の対象者が疾患で脱落し、35 名となった(LL:n=12、HL:n=11、SLR:n=12)。対象者の特性を表 4-3 に示す。すべての対象者は、書面で実験手順と潜在的なリスクについて事前に説明された後、同意書にサインをした。研究の目的、計測方法、倫理的考慮事項については、文書および口頭で説明され、同意を得た後に研究が開始された。本研究のプロトコルは、日本体育大学倫理委員会の承認(第 022-H149 号)を得ている。

## 測定項目

### 最大挙上重量(1RM)

テストは、フリーウエイトでベンチプレスを実施した。対象者には、できるだけ速く挙上するように指示した。対象者は、ウォームアップとして 20kg で 5 回の反復練習を行った(休息时间 3 分)。その後、約 5 回で 1RM に到達するように負荷を調整してテストを実施した。すべての反復は、トランスデューサー(GymAware Power Tool、Kinetic Performance Technologies、Australia)を用いて挙上速度を測定した。測定した 1RM の結果を用いて、エクササイズで使用する負荷を設定した。

### ベンチプレススロー

ベンチプレススローは、スミスマシン(Freemotion EPIC Smith Machine EF2111、FREEMOTION、America)を用いて測定した。最大挙上速度(peak velocity: PV)は、トランスデューサーを用いて測定した(GymAware Power Tool、Kinetic Performance Technologies、Australia)。ウォームアップは、フリーウエイトのベンチプレスで 20 kg で 5 回挙上したのち、55%1RM で 3 回、70%1RM で 2 回、最 85%1RM で 1 回行った。その後、スミスマシンで 10.4kg を最大努力で 3 回挙上した。それぞれの休息時間は 3 分とした。測定した強度と回数は、30%1RM で 3 回、55%1RM で 2 回、70%1RM で 1 回であった(休息时间 3 分)。挙上の際、胸部から反動動作をしないように注意をし、最大努力で行うように指示した。

### 等尺性筋力(ベンチプレス)

等尺性筋力の測定は、自作した機器を使用して測定をした(図 4-4)。図で示したように、シャフトの上部接地面に小型圧力センサー(小型圧縮型 CM085、MISUMI 社、日本)を設置し、上部への圧力を計測した。サンプル周波数は 2000Hz であった。データには、設置したシャフトの重量(20kg)は考慮されていない。データは専用のアプリケーション(NI LabView 2019)を用いて取得した。測定では、肘の角度は 90° で固定された。MVC と RFD の測定では、対象者に合図を出し、最大努力で力を発揮した。力発揮は約 3 秒間維持した。

### 血中乳酸濃度(La)

血中乳酸濃度は Lactate Pro2(アークレイ、日本)を使用して測定した。血中乳酸濃度は 1 回目のセッションで測定した。測定は、エクササイズが終了した 1 分以内に実施した。

## トレーニングセッション

エクササイズはフリーウエイトのベンチプレスで実施した。LLは55%1RMで8回、HLは85%1RMで5回、SLRは、85%1RMで2回、70%1RMで2回、55%1RMで2回の計6回を1セットとし、それぞれ3セット、休息時間は3分で実施した。ボリューム(反復×負荷)は、各群で同等に調整された(LL=440kg、HL=425kg、SLR=420kg)。ウォームアップは20kgから始まり、55%1RMで3回、70%1RMで2回、85%1RMで1回とした(休息時間3分)。エクササイズ中のすべての反復回数はリニアトランスデューサーを用いて挙上速度を測定した(GymAware Power Tool、Kinetic Performance Technologies、Australia)。対象者は、補助者からコンセントリック局面において「できるだけ速く」、最大努力で挙上するように指示された。

1セッションの所要時間は約1時間で、すべてのエクササイズは室温22-25°C、湿度40-50%で実施した。測定は、トレーニング前(pre)、3週間のトレーニング後(post)に行われ、各測定は最後のトレーニングセッションから24~48時間後に実施した。

## 統計解析

統計解析は、SPSSソフトウェアパッケージSPSS version 27.0 (IBM SPSS、Chicago、IL、USA)を用いて解析した。トレーニング効果の交互作用を調べるために、二元配置分散分析を用いた(プロトコル×時間)。有意差がみられた場合、主効果を調べるためにボンフェローニ補正した多重比較検定を行った。血中乳酸濃度の差は、一元配置分散分析を用いた。有意差がみられた場合、多重比較検定を用いてグループ間の差を検討した。自作した等尺性筋力を測定する機器の再現性を検討するために、慣れセッションで行った2回のMVCのデータを用いて、級内相関係数の検定を行った。すべての測定データは平均±標準偏差で示す。p値が<0.05の場合、統計的に有意とみなした。



図 4-3: 漸減負荷プロトコル(SLR)の手順

SLR は、セット内で負荷を漸減させるため、両サイドに補助者を配置した。対象者が 2 回反復したのち、レストポーズをとった状態で補助者がタイミングを合わせて負荷を素早く外した。

表 4-3: 対象者の身体特性

	n	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)
<b>低負荷群 (LL)</b>	12	22.3 ± 3.6	171.3 ± 1.3	71.4 ± 10.2	16.8 ± 6.2
<b>高負荷群 (HL)</b>	11	21.7 ± 2.1	170.5 ± 4.4	70.5 ± 7.3	17.2 ± 4.0
<b>漸減負荷群 (SLR)</b>	12	23.3 ± 3.1	169.3 ± 5.3	68.0 ± 9.7	17.1 ± 5.0

平均±標準偏差、群間に有意差はない



図 4-4: 等尺性筋力(ベンチプレス)の測定機器(自作)

対象者は、胸部にシャフトがくる位置で横になり、シャフトを握った。脇の角度は約  $45^\circ$  とし、拳の下に肘がくるような姿勢をとった。測定では、姿勢を崩さず真上に押すように指示をされた。

## 結果

本研究で用いた自作の等尺性ベンチプレスの試行間信頼性は、 $ICC=0.985$  と高い値を示した。

本研究で用いた LL、HL、SLR プロトコルにおけるエクササイズ中の挙上速度の変化を図 4-5 に示す。各プロトコルにおいて、エクササイズ中の挙上速度の変化が異なる傾向がみられた。

図 4-6 は、各プロトコルにおけるエクササイズ直後の血中乳酸濃度である。血中乳酸濃度は、LL で  $3.5 \pm 0.6 \text{ mmol/L}$ 、HL で  $5.2 \pm 1.4 \text{ mmol/L}$ 、SLR で  $3.7 \pm 0.7 \text{ mmol/L}$  となった。一元配置分散分析の結果、プロトコル間において有意差がみられ ( $p=0.002$ )、多重比較検定の結果 LL と HL ( $p=0.03$ )、SLR と HL ( $p=0.007$ ) の間で有意差が認められた。

図 4-7、図 4-8 はベンチプレススローを用いて測定された PV の結果である。図 4-7 は pre と post における PV の変化を示し、図 4-8 は PV の変化率を示している。PV の変化は、70%1RM は交互作用がみられたが (交互作用  $p=0.04$ 、時間  $p < 0.01$ 、グループ  $p=0.30$ )、30%1RM および 50%1RM は時間の主効果のみであった ( $p < 0.05$ )。PV の変化率は交互作用がみられた (交互作用  $p=0.002$ 、負荷  $p < 0.001$ 、グループ  $p=0.24$ )。多重比較検定の結果、70%1RM において LL と SLR の間に有意差がみられた ( $p=0.02$ )。

等尺性ベンチプレスを用いた RFD の変化を表 4-4 に示す。二元配置分散分析の結果、交互作用は認められなかった。RFD の変化率を一元配置分散分析で検定した結果、150ms において HL は LL、SLR と比較して有意に高い値を示した (HL vs. LL:  $p=0.028$ 、HL vs. SLR:  $p=0.039$ )。

1RM の変化を図 4-9 に示す。1RM の変化には時間の主効果はみられたものの ( $p < 0.001$ )、交互作用はみられなかった。1RM の変化率は LL が 2.9%、HL が 5.4%、SLR が 5.9% で、SLR と HL は同等の変化を示す傾向がみられた。また、MVC は時間の主効果はあったものの、交互作用はみられなかった (時間の主効果:  $p=0.006$ )。



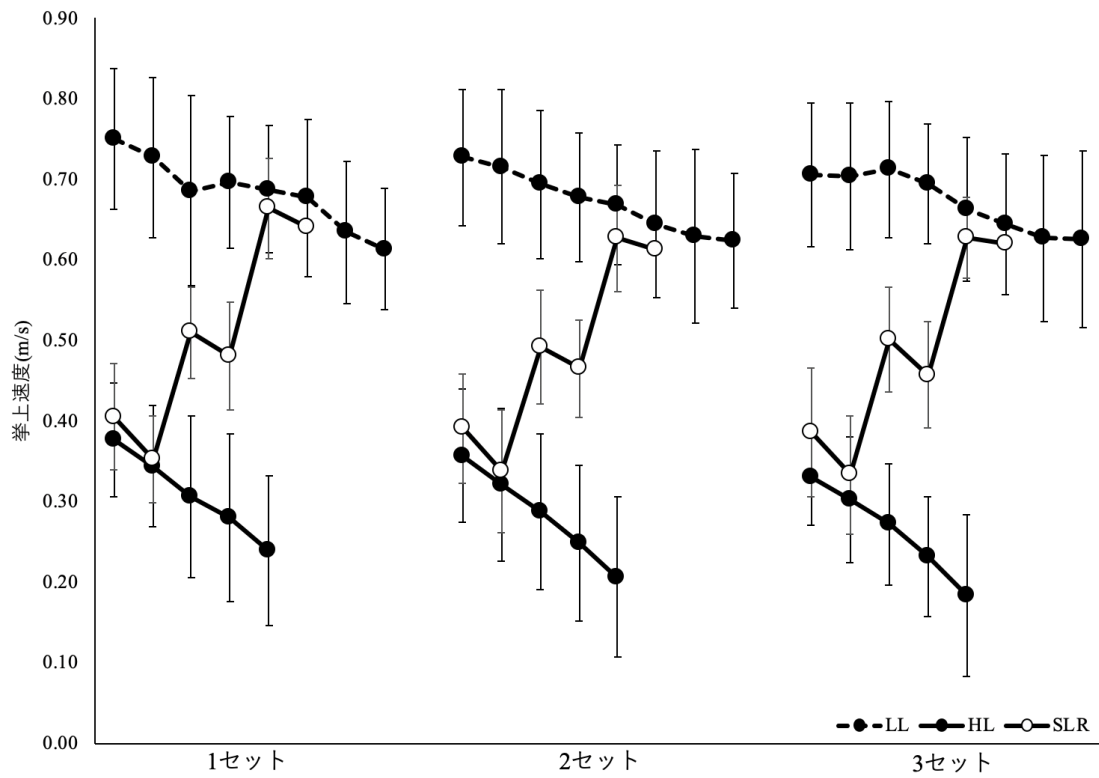


図 4-5: 各プロトコルにおけるエクササイズ中の挙上速度の変化

同じボリュームのプロトコルであるが、エクササイズ中の挙上速度の変化が異なる。

LL: 低負荷群、HL: 高負荷群、SLR: 漸減負荷群

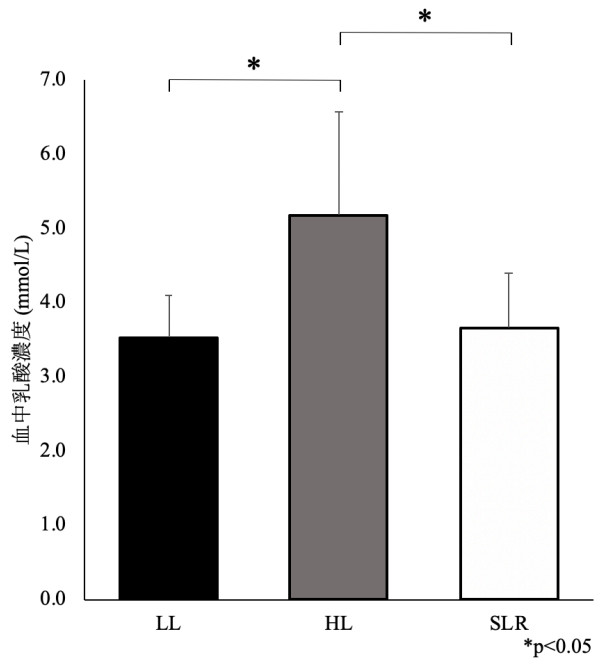


図 4-6:各プロトコルにおける血中乳酸濃度

一元配置分散分析の結果、有意差あり( $p < 0.05$ )、\* 多重比較検定の結果( $p < 0.05$ )

LL:低負荷群、HL:高負荷群、SLR:漸減負荷群

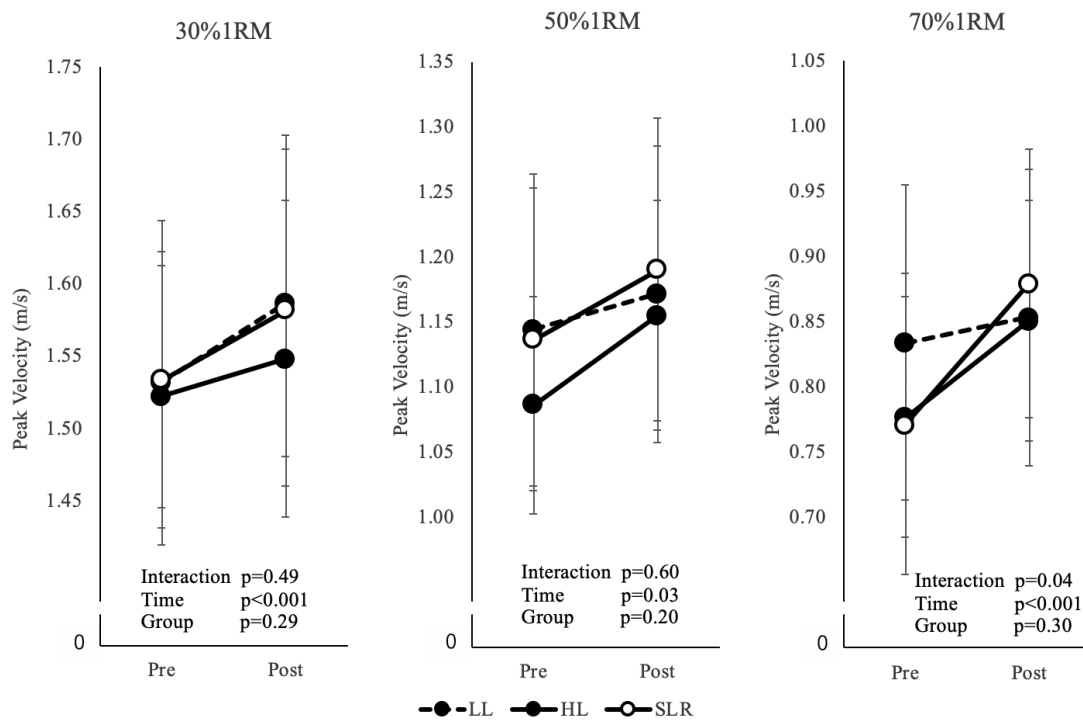


図 4-7:ピークベロシティ(PV)の変化

左から、30%1RM、50%1RM、70%1RM における体重あたりの PV の変化を示す。

LL:低負荷群、HL:高負荷群、SLR:漸減負荷群

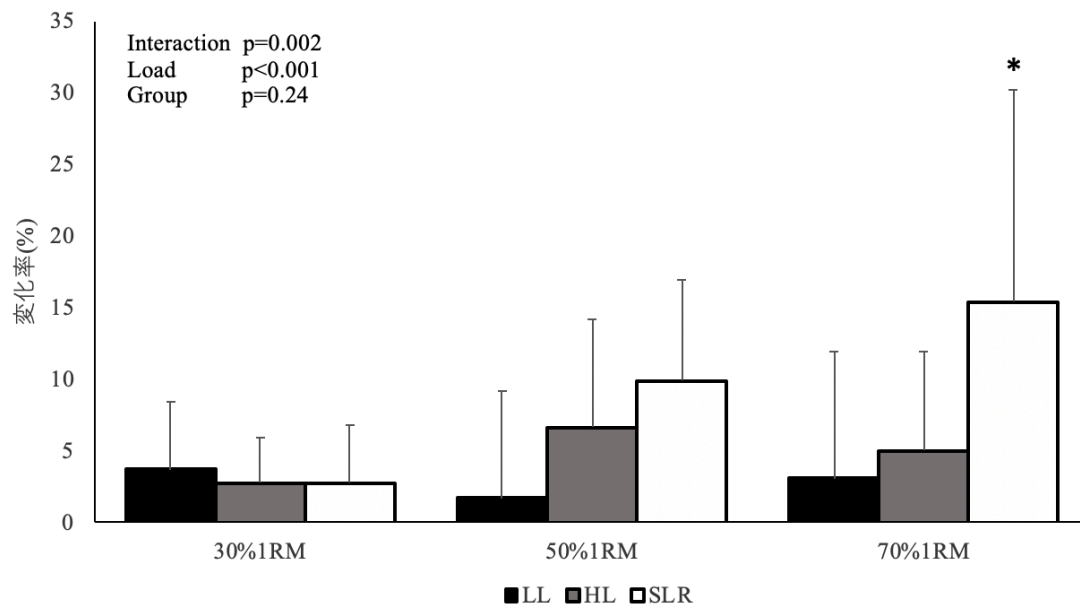


図 4-8:ピークベロシティ(PV)の変化率

左から、30%1RM、50%1RM、70%1RM における体重あたりの PV の変化率を示す。

\* 多重比較の結果 (p<0.05 vs. LL)

LL: 低負荷群、HL: 高負荷群、SLR: 漸減負荷群

表 4-4: 各プロトコルにおける RFD の変化

	LL			HL			SLR		
	pre	post	変化率(%)	pre	post	変化率(%)	pre	post	変化率(%)
<b>50ms</b>	521.2±166.2	549.5±192.1	9.2±33.1	620.4±197.9	636.8±160	6.4±19.9	629.2±139.4	590.4±139	-5.8±15.6
<b>100ms</b>	368.6±104.1	364.4±109	-0.5±14.0	431.9±121.8	457.4±124.3	7.2±14.6	409.9±114.3	394.9±92.6	-2.2±13.6
<b>150ms</b>	270.1±75.7	262.3±78.3	-1.9±15.5*	307.6±79.5	347.9±82	14.4±13.2	298.9±86.2	292.2±73.0	-1.1±11.2*
<b>200ms</b>	207.5±59.8	203.3±54.0	0.1±17.0	244.7±61.0	262.8±70.7	7.4±10.9	232.5±65.5	226.6±53.3	-1.0±11.7
<b>250ms</b>	168.3±46.6	168.7±40.5	2.0±14.7	202.4±48	213.3±53.8	5.6±13.3	196.7±48.0	186.6±42.8	-4.7±8.6

平均±標準偏差、\* p<0.05 (vs. HL)、LL: 低負荷群、HL: 高負荷群、SLR: 漸減負荷群

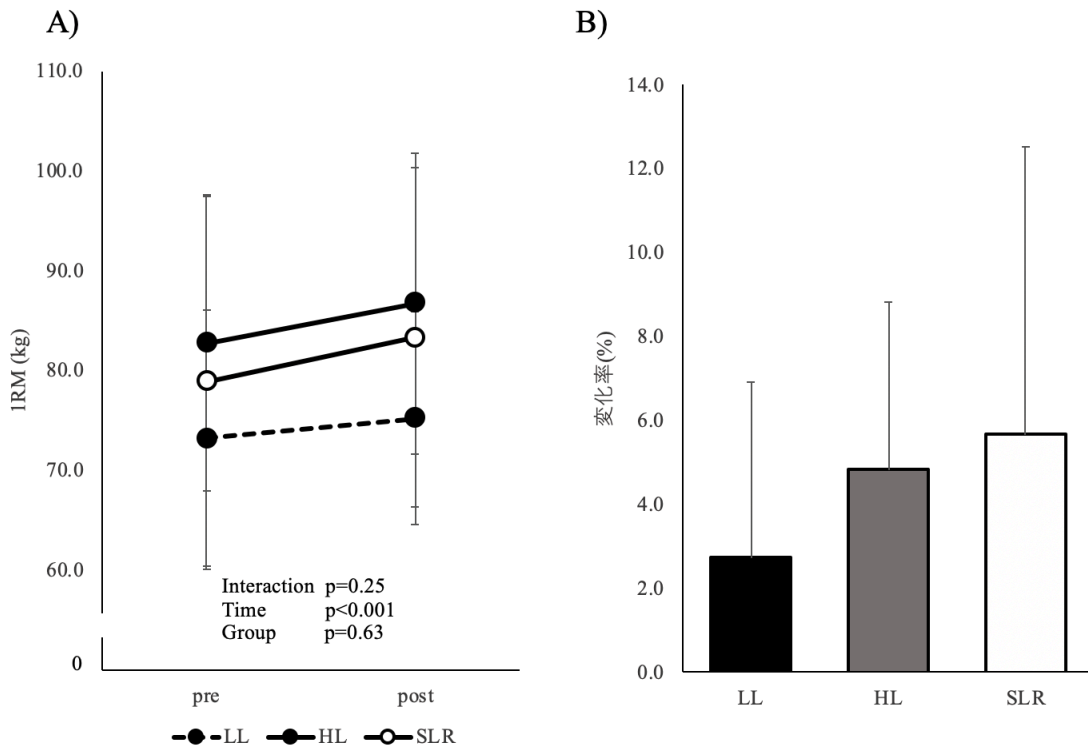


図 4-9: 各グループにおける 1RM の変化および変化率

A)1RM の変化、B)1RM の変化率、LL:低負荷群、HL:高負荷群、SLR:漸減負荷群

## 考察

研究 4 では、セット内の速度低下を抑え、複数の負荷を扱う漸減負荷プロトコルが筋力やパワーに与える影響について検討した。その結果、PV の変化率において交互作用がみられ、70%1RM の PV は、SLR と LL の間に有意差が認められた。しかし、PV、1RM の結果は SLR と HL の間には有意差は認められなかった。さらに、HL は RFD150ms における変化率が有意に高い値を示した。

本研究では、PV の変化において交互作用と時間の主効果が示され、70%1RM の PV は、SLR は LL と比較して変化率が有意に高くなる結果となった。Haff and Nimphius ら(2013)が作成した力-負荷曲線は、低負荷の高速、高負荷の低-中速で発揮速度や力が異なることが明らかとなっている。本研究における HL は、高負荷の低-中速、LL は低負荷の高速、SLR は全てを組み込んだ高負荷の低-中速、中負荷の中-高速、低負荷の高速をエクササイズ中で実施していた。したがって、SLR と HL は、使用した負荷特異的な変化によって 70%1RM における PV が増加した可能性があると考えた。しかし、50%1RM における PV は、SLR と LL において類似した負荷を扱ったにも関わらず変化を示さなかった (SLR、LL:55%1RM)。したがって、扱った負荷による影響ではなく、70%1RM における PV の変化は SLR と HL の 1RM の変化が影響した可能性が考えられる (HL:5.4±4.0%、LL:2.9±4.2%、SLR:5.9±6.8%)。また、パワーの向上にはエクササイズ中におけるパワーの維持が重要であるとされている (Rodriguez-Rosell et al., 2020b)。エクササイズ中の反復回数が多くなるほど、挙上速度が低下し、発揮パワーも低下する。本研究において HL プロトコルは、エクササイズ中の挙上速度の低下率が高くなる結果を示した (セッション1:1 セット目 36.1±10.1%、2 セット目 44.4±12.0%、3 セット目 55.0±16.8%)。速度低下率が異なるプロトコルを実施した場合、低 VL においてスプリントやジャンプの効果が高くなることが報告されている (Pareja-Blanco et al., 2020a)。本研究における SLR は、同負荷の 2 回における速度低下率は、セッション1において 85%1RM で 14.0±11.9%、70%1RM で 5.9±14.2%、55%1RM で 2.5±7.4%となり、SLR の速度低下率は HL と比較して少ないことが明らかとなった。したがって、本研究で実施した SLR の速度低下率は、パワー向上には適切な速度低下率となった可能性がある。

本研究における SLR プロトコルの特徴は、複数の負荷を扱うことと速度低下率が少ないということである。複数の負荷を扱うレジスタンストレーニングプロトコルは、複合トレーニングといった概念がある。この方法は、力-速度曲線を全体的に向上させることが目的となっており、この方法を用いた先行研究では、サッカーにおけるスプリントやジャンプのパフォーマンスの向上を目的とし異なる負荷とエクササイズ (1:スクワット、スキップ、5m スプリント、2:スタンディングカーフレイズ、垂直飛び、ハイボールヘディング、3: レッグエクステンション、シッティングジャンプ、ドロップジャンプ) を 6

週間実施した結果、筋力、スプリントタイム、ジャンプが改善することを報告した (Alves et al., 2010)。しかし、複合トレーニングはエクササイズを実施する広いエリアが必要である。一方、SLR は 1 つのエクササイズのみで行うことができる。

エクササイズ中の速度を維持させるプロトコルとしてクラスターセットがある。クラスターセットは、最小の疲労を伴うパワー向上を目的としたプロトコルであり、セット内において短い休息時間を設けるため、疲労を最小限に抑えることができる (Tufano et al., 2017)。さらにクラスターセットを使用することで、セット内のパフォーマンスの低下(疲労)を軽減することもできる(Haff et al., 2003)。クラスターセットと従来のトレーニングの効果は、クラスターセットは従来のトレーニングよりも疲労(速度低下率)が少なく、上半身の 1RM とパワーの変化は従来のトレーニングと同等の結果となることが報告されている (Rial-Vazquez et al., 2022)。したがって、クラスターセットは、少ない疲労でありながらも従来のプロトコルと比較して同等のトレーニング効果を得ることができる。しかし、クラスターセットはセット内で短い休息時間を設けるため、エクササイズの総時間が長くなることや、1つの負荷しか使わないため低負荷から高負荷までの幅広い負荷におけるパワーを同時に向上させることは出来ない。したがって、本研究で用いた SLR はクラスターセットよりも力-負荷曲線全体を改善させるためのパワー向上を目的としたレジスタンストレーニングプロトコルとなる可能性がある。本研究で用いた SLR プロトコルのエクササイズ時間は、3 セット合わせて約 10 分程度で終わるプロトコルであった(エクササイズ時間約 1 分、休息時間 3 分)。しかし、同じ反復回数(6 回)でクラスターセットを実施した場合、SLR と同様に 2 回で区切り短い休息時間(30 秒)を入れると、SLR よりもエクササイズ時間が長くなる可能性がある(6 回を 1 分と仮定し、30 秒休息が 2 セットで 1 セット 3 分、セット間休息は 3 分として、合計約 15 分)。したがって、SLR は複数の負荷を扱うことができながらエクササイズ時間を短縮することができる時間効率のよいプロトコルとなる可能性がある。

1RM の結果は、時間の主効果がみられたものの、交互作用はみられなかった。しかし、対象者は定期的にレジスタンストレーニングを行っていたものの(トレーニング経験:4.4±2.9 年)、3 週間の間で 1RM が変化を示した(HL:5.4±4.0%、LL:2.9±4.2%、SLR:5.9±6.8%)。また先行研究では、負荷がトレーニング効果に与える影響についてメタ分析で検討した結果、ボリュームを同等にした場合、高負荷を用いた群において、筋力の効果量が有意に高くなることを報告している (Carvalho et al., 2022)。したがって、本研究では HL と SLR は高負荷を用いたことが、筋力の改善に影響した可能性がある。

RFD の結果は、交互作用が認められなかったものの、HL の 150ms の変化率は他の群と比較して有意に高い値を示した。Fink ら(2016)は、高負荷(80%1RM、8-12 回)と低負荷(30%1RM、30-



40 回)で 2 週間のレジスタンストレーニングを行った結果、RFD は高負荷でのみで変化することを報告している(Fink et al., 2016)。さらに、エクササイズ中の速度低下が大きいほど RFD150-400 の変化に影響を与えることが明らかとなっており (Pareja-Blanco et al., 2020c)、高負荷や速度低下が大きく、粘るといった運動様式が RFD の遅い速度の変化に影響を与えた可能性がある。

血中乳酸濃度は代謝ストレスの指標であり、エクササイズ中の速度低下の大きさ、反復回数、休息時間の影響を受ける (Jukic et al., 2023a, Mochizuki et al., 2023)。さらに、速度低下率が異なる 2 つのプロトコル (VL20 と VL40) のボリュームを合わせて、速度低下の違いと血中乳酸濃度の関係性について検討した結果、速度低下が大きくなるほど血中乳酸濃度が高くなることを明らかとなっている (Sanchez-Moreno et al., 2023)。したがって、血中乳酸濃度とエクササイズ中の速度低下は、疲労レベルを可視化する指標として用いることができる可能性がある。本研究では速度低下が少ない LL と SLR において代謝ストレスが低くなった。さらに、SLR はエクササイズ中に HL と同じ強度 (85%1RM) を使用しているにも関わらず、血中乳酸濃度が有意に低い値を示しており、SLR は疲労レベルが低いプロトコルとなった。

本研究の限界点は、トレーニング期間を 3 週間しか設けることができなかったという点である。先行研究では、筋力やパワーは短期間 (2 週間) で変化することが報告されている (Abe et al., 2000, Hickson et al., 1994)。したがって、トレーニング効果を追いきれていない可能性がある。また、SLR はエクササイズ中において負荷を漸減させるために、補助者が必要となり、環境によっては実施することができない。そこで、現在では、共同研究にて負荷を自動的に調整する機器の開発を実施しており、この機器の開発によって、将来的に現場で活用することができるようになるかもしれない。

## 結論

研究 4 より、エクササイズ中の速度低下を抑え、複数の負荷を扱うためにセット内で負荷を漸減させた漸減負荷トレーニングは、70%1RM の PV を有意に増加させ、筋力は高負荷のプロトコルと同様の変化を示した。さらに血中乳酸濃度は高負荷よりも有意に低値を示した。

本研究の結果より、漸減負荷プロトコルは筋力、パワーに特化した新たなレジスタンストレーニングプロトコルとなる可能性が示唆された。複数の負荷設定におけるパワーの向上を目的とした場合は、低回数 of 漸減負荷プロトコルが効果的であり、同ボリュームの高強度プロトコルと比較しても血中乳酸濃度が低く、疲労を残さない可能性がある。しかし、漸減負荷プロトコルは、最大努力で行うことが前提であり、腱の伸長が少なく、筋損傷が大きいことが予想される (Sutarno and McGill, 1995、Kubo et al., 2017)。したがって、傷害のリスクを低下させる効果について長期的な前向き検討や最大努力で行うプログラムの頻度などの検証が必要となる。

## 総合討論

一般的に用いられているトレーニングの変数(強度、反復回数、休息时间など)は、目的に応じて調整をする(Haff, 2018)。さらに、初心者や上級者といったトレーニングレベルや性別、日常で行っているトレーニングや生活習慣などを考慮したガイドラインも存在する。一方で、コンディションは日々変化するため、その日のコンディションに合わせたトレーニング変数を個々に調整することが重要である。近年、レジスタンスエクササイズ中における挙上速度のモニタリングが注目を集めている。挙上速度は、専用のデバイスを用いることで測定をすることができ、エクササイズ中の挙上速度をリアルタイムで観察することができる。この挙上速度は、その日のコンディションを考慮した負荷や反復回数の調整、エクササイズ前後やトレーニング効果としてのパワーの評価方法として用いられている(Ortega et al., 2022, Cornejo-Daza et al., 2023)。本博士論文では、挙上速度を用いたレジスタンストレーニングが筋力、パワーなどのトレーニング効果に与える影響について明らかにすることを目的とした。本研究で得られた結果は以下の通りである。

1. 筋力向上の効果に影響する速度低下率の大きさは上肢筋群を対象とした項目においてのみ、高 VL(25%以上)で有意に高い効果量を示したが、下肢では有意差は認められなかった。(研究1)。
2. 筋肥大は、高 VL(25%以上)で有意に高い効果量を示すが、下肢筋群のみでは有意差は認められなかった(研究1)。
3. スプリントパフォーマンスの向上は、反復回数の違いによる影響を受けず、速度低下率が少ないほど効果量が有意に高値を示した(研究1)。
4. 短い休息時間は、セット内の速度低下率(VL)に影響しないが、セット間の平均挙上速度を低下させる(研究2)。
5. 異なる VL トレーニングの反復回数を同等にすると、筋力やパワーなどのトレーニング効果は同等となり、VL トレーニングにおいて実施回数がトレーニング効果に影響する可能性が示唆された(研究3)。

6. VL トレーニングは従来のレジスタンストレーニングから移行するといったように、プログラム計画中のメゾサイクルの一部としての活用やテーパーなどのコンディショニング手法として活用できる可能性が示唆された(研究 3)。
7. 漸減負荷プロトコルは高負荷プロトコルと比較して、血中乳酸濃度が低値であった。さらに、ベンチプレススローの発揮パワーおよび 1RM を効率的に向上させるプロトコルである可能性が示唆された(研究 4)。

挙上速度を用いたトレーニングの変数の調整は、多くの先行研究によって方法論や効果について検証されてきた (Fernandez Ortega et al., 2022, Jukic et al., 2023a)。そして、反復回数を調整する VL トレーニングの効果については、先行研究で行われたメタ分析によって明らかとなっている (Jukic et al., 2023a)。Jukic ら(2023a)の研究では、筋力向上は全ての VL、筋肥大は高 VL、ジャンプやスプリントは低 VL で効果量が大きくなることを報告している。しかし、上肢と下肢での部位で分けて検討がなされていない。そこで本博士論文では、近年報告された新しい VL トレーニングの先行研究を踏まえ、さらに筋力向上、筋肥大の効果については上肢と下肢で分けて検討した。その結果、VL の大きさが影響しないとされていた筋力の向上については、上肢と下肢では VL による効果が異なり、上肢は高 VL ( $\geq$  VL25)を行うことでトレーニング効果が高くなる結果となった。さらに、筋肥大においては上肢と下肢を合わせた場合、 $\geq$  VL25 において有意に高い効果量を示したものの、下肢のみで検討すると有意差がなくなるという結果となった。したがって、上肢と下肢では、速度低下率によってトレーニング効果が異なることが示された。しかし、メタ分析で用いられていた先行研究のほとんどが、セッションごとに強度を漸増させていたため (Pareja-Blanco et al., 2017a, Rodriguez-Rosell et al., 2021, Garcia-Orea et al., 2023)、強度による影響を考慮することができなかった。また、サブ解析として各 VL プロトコルで実施した反復回数を  $< 5$  回と  $\geq 5$  回で分類し、それぞれのトレーニング効果について分析した結果、スプリントは低 VL ( $\leq$  VL20)の方が高 VL ( $\geq$  VL25)の低回数 ( $< 5$  回)よりも効果量が有意に高値を示し、速度低下率の大きさがスプリントの効果に影響を与えている可能性が示唆された。一方で、統計学的な有意差は認められなかったが、ジャンプは低 VL ( $\leq$  VL20)の低回数 ( $< 5$  回)は低 VL ( $\leq$  VL20)の高回数 ( $\geq 5$  回)よりも高い効果量を示した。したがって、ジャンプの効果には速度低下より反復回数の量が影響している可能性がある。研究1より、VL トレーニングの効果は、筋力と筋肥大の場合、上肢と下肢で効果が異なる可能性が明らかとなった。

VLトレーニングの課題には、休息時間の設定が挙げられる。これまでのVLトレーニングで用いられている休息時間は、2-4分と幅が広く (Krzysztofik et al., 2021, Garcia-Orea et al., 2023)、VLトレーニングにおける適切な休息時間については明らかになっていない。休息時間は、次のセットで発揮できる挙上速度に影響を与える可能性がある。したがって研究2では、休息時間の違いがエクササイズ中の挙上速度に与える影響について検討した。その結果、休息時間が短いほどエクササイズ中の平均挙上速度が有意に低値を示し、セットを重ねるごとに平均挙上速度が低下する結果を示した(90秒>150秒>240秒)。また、各セットにおけるVLは、休息時間の影響を受けなかったため、VLはセット間の疲労を反映することができていない可能性が示唆された。したがって、セットごとでの回復を評価する場合は、平均挙上速度に注目することで回復過程を観察することができる可能性がある。パワーの向上には、エクササイズ中において高いパワーを維持することが重要であるため、平均挙上速度が低下しないような長い休息時間を設けることにより、より高い効果を得ることができる可能性がある。したがって、本研究の結果よりパワーを向上させるためには、240秒といった長い休息時間が適している可能性が明らかとなった。しかし、70%1RM10回、および速度低下率が約20%の場合における結果であるため、異なる強度や速度低下率の結果については不明である。

研究1のメタ分析によって、エクササイズ中の速度低下率によってトレーニング効果が異なることが明らかとなった。しかし、VLの大きさによって実施できる反復回数や実施速度が異なるため、VLトレーニングの効果に「反復回数の違い」「実施速度の違い」のどちらが影響しているかは不明である。以前行われた先行研究では、ボリュームを統一した異なるVLにおけるトレーニング効果は同等であることが報告されている (Andersen et al., 2021, Myrholm et al., 2023)。しかし、低VLのみで効果を得るスプリントについての検討や、ボリュームの調整方法であるVLをテーピングとして応用することができるか否かについての検討は行われていない。そこで研究3では、同ボリュームの異なるVLにおけるトレーニング効果を検証した。VLプロトコルの効果は両群で同等の結果を示したが、従来のトレーニング期間からVLトレーニング期間の間では両群ともボリュームが有意に低下したにも関わらず(VL20: -18%、VL40: -27%)、トレーニング効果が維持された。したがって、VLプロトコルは従来のトレーニングプロトコルと比較して低反復回数で同等、それ以上のトレーニング効果を得ることができる可能性が明らかとなった。従来のトレーニング期間とVLトレーニング期間で実施したプロトコルの違いは、最大努力での挙上とトレーニングボリューム(反復回数)の2点である。最大努力でエクササイズを実施することは、最大努力で実施しないトレーニングと比較して筋力やジャンプなどの効果が高くなることが報告されている (Pareja-Blanco et al., 2014)。高速で

の挙上動作は、速筋線維が優先的に動員されるため (Gillespie et al., 1974)、最大努力で実施しないトレーニングと比較して筋力やジャンプの効果が高くなった可能性がある。したがって、ボリュームが減少してもトレーニング効果を維持させる VL トレーニングは、最大努力で実施したことによりその効果を得た可能性がある。トレーニング期間におけるボリュームの減少は、神経筋系の適応により筋力が向上する (Ahtiainen et al., 2003)。テーパリングは、トレーニング変数の反復回数を減少させる方法であるが (Bosquet et al., 2007)、テーパリング期の前に実施したプロトコルや性別、トレーニングステータスによって、その時の疲労度が異なる可能性がある。したがって、VL を用いることで個人の疲労を考慮した新しいボリュームの減少方法となるかもしれない。

研究 1、2、3 よりトレーニング効果には、エクササイズ中の挙上速度の低下率、挙上局面での最大努力、休息時間が影響している可能性が明らかとなった。競技によっては低-高速度全ての力発揮が必要とされ、これらを向上させることにより競技パフォーマンスが改善する可能性がある。したがって、速度-負荷曲線全体を増加させることが重要となるが、従来のパワー向上を目的としたレジスタンストレーニングはセッション内において1つの負荷しか扱わない (Haff, 2018)。そこで、研究 4 では、セット内の速度低下率を抑え、セット内で複数の負荷を扱う漸減させるプロトコル (SLR) におけるトレーニング効果について検証した。SLR は 70%1RM におけるピークパワー、筋力が有意に向上した。しかし、高負荷プロトコル (HL) と SLR における筋力の変化には差がなく、RFD150ms は HL のみにおいて他の群よりも有意に高い変化率を示した。また、血中乳酸濃度の結果は、SLR が HL と比較して有意に低値を示した。これらの結果より、SLR は疲労を抑え、さまざまな負荷におけるパワーを同時期に改善させたい場合に用いることができる可能性が示唆された。さらに、筋力も同時に増加することから、時間効率がよいプロトコルとなる可能性がある。

挙上速度はエクササイズ中の低下率の大きさによってトレーニング効果を調整することができる。その速度発揮は、最大努力で行うことが前提であるとされている。最大努力でバーベルを挙上させる場合、ほとんどの場合は主働筋が最大伸展位で行うことになり、筋に対してのストレスが大きくなることが考えられる。実際に、最大努力の動作は筋損傷が高くなることや (Sutarno and McGill, 1995)、腱の伸長が少ないことが報告されている (Kubo et al., 2017)。レジスタンストレーニングは、傷害予防という目的もあり、結合組織の強化も目的として考えられる。筋への負荷が大きいことで、結合組織への負荷が小さくなる可能性も考えられる。今後は、VL トレーニングと一定速度でのトレーニングの組み合わせ、または VL トレーニング単独で行うことが怪我のリスクに影響するかなどの前向き研究が必要となる。さらに、高速での挙上は難易度が高く、特に初心者の場合、傷害のリスク増加が懸念されるが、マシンなどをうまく活用することで、トレーニング初心者や高齢者においても最大努力での速度のモニタリングが、筋力の向上や転倒防止の手段の一つとして提案できると考えられる。したがって、目的に応じて最大努力か最大下努力で行うかの選択が重要となり、最大努力と傷害の関連性や選択に関する適切な期間や反復回数について、今後明らかにする必要がある。

現状、エクササイズ中の挙上速度の測定方法は専用のトランスデューサーや加速度計を用いる。しかし、これらの機器は高価であることから、人数が多い現場で用いるには制限がある。そこで、我々の研究室ではビデオカメラを用いた非接触型の挙上速度測定方法を検討している。この精度については、トランスデューサーを用いた速度とほぼ同等の結果を示しており、現場で活用が期待される (NSCA カンファレンス 2021 最優秀賞)。また、主観的な疲労度などを組み合わせることで、本研究の結果をより効果的に現場に応用することも可能である。RIR と挙上速度の低下には相関関係があり (Rodriguez-Rosell et al., 2020a)、現場でも使いやすい手法になる。先行研究や本研究の結果を踏まえて、挙上速度を現場で活用する方法について図 6 に示した。VL トレーニングは、客観的なデータを提供することが可能である。一方でエクササイズ種目が限定されること、前述したように筋へのストレスが大きくなることが考えられる。トレーニング指導者はこれらの特徴を踏まえた上で、レジスタンストレーニングにおける新たな評価項目である挙上速度を活用していくことが可能となる。近年では、対面でトレーニングだけではなく、オンラインでのトレーニング指導が行われており、対面トレーニング同様の効果を得ることも明らかになっている (Kikuchi et al., 2022)。本研究で扱った速度という変数はオンライントレーニングにおける動画などを通して活用することができる。今後の展望として、さらに長期での速度の観察の有用性を検討すること、実際に社会実装を通して新たな課題を見つけることが必要であると考えている。

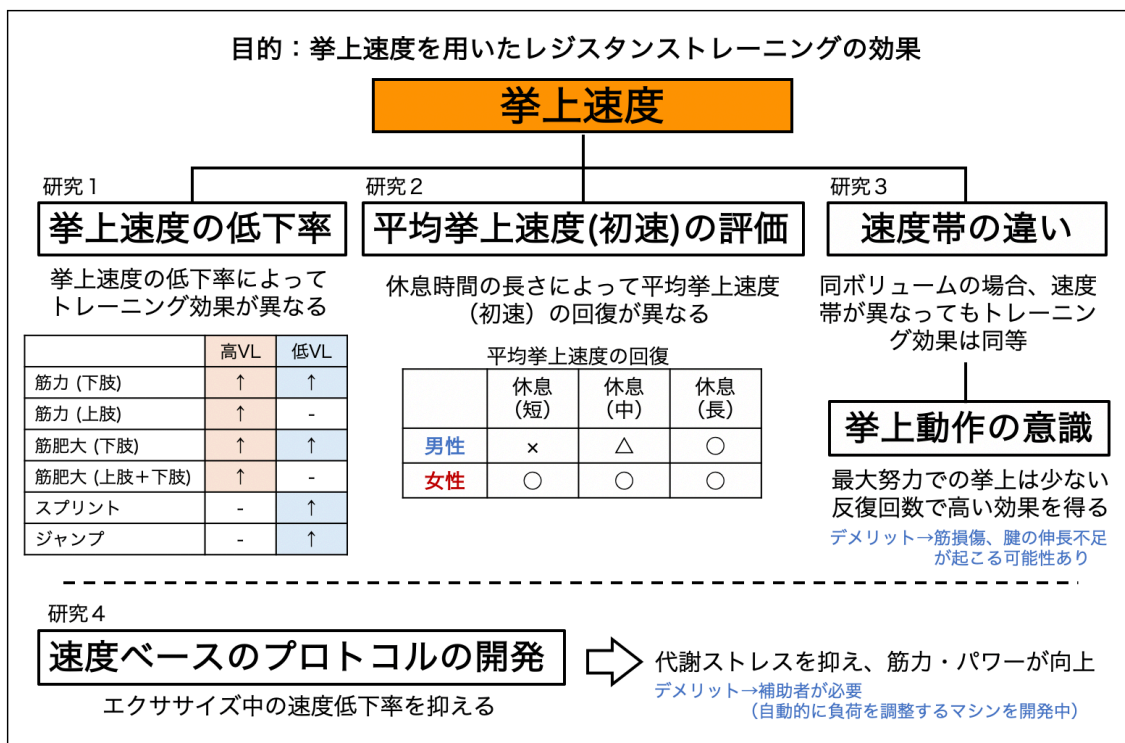


図 6: エクササイズ中の挙上速度を S&C 分野で活用する



## 先行研究

Abdessemed, D., P. Duche, C. Hautier, G. Poumarat and M. Bedu (1999). Effect of recovery duration on muscular power and blood lactate during the bench press exercise. *Int J Sports Med* 20: 368–373.

Abe, T., D. V. DeHoyos, M. L. Pollock and L. Garzarella (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *Eur J Appl Physiol* 81: 174–180.

Ahtiainen, J. P., A. Pakarinen, M. Alen, W. J. Kraemer and K. Hakkinen (2003). Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *Eur J Appl Physiol* 89: 555–563.

Alcazar, J., P. J. Cornejo-Daza, J. Sanchez-Valdepenas, L. M. Alegre and F. Pareja-Blanco (2021). Dose-Response Relationship Between Velocity Loss During Resistance Training and Changes in the Squat Force-Velocity Relationship. *Int J Sports Physiol Perform* 16: 1736–1745.

Alejandro Muñoz-López, Alberto Marín-Galindo, Juan Corral-Pérez, Manuel Costilla Alberto Sánchez-Sixto, Borja Sañudo, Cristina Casals Jesús G Ponce-González. (2022). Effects of Different Velocity Loss Thresholds on Passive Contractile Properties and Muscle Oxygenation in the Squat Exercise Using Free Weights. *Strength Cond Res*. Nov 1;36(11):3056–3064.

Alves, J. M., A. N. Rebelo, C. Abrantes and J. Sampaio (2010). Short-term effects of complex and contrast training in soccer players' vertical jump, sprint, and agility abilities. *J Strength Cond Res* 24: 936–941.

Andersen, V., G. Paulsen, N. Stien, M. Baarholm, O. Seynnes and A. H. Saeterbakken (2021). Resistance Training With Different Velocity Loss Thresholds Induce Similar Changes in Strength and Hypertrophy. *J Strength Cond Res*.

Ansdel, P., C. G. Brownstein, J. Skarabot, K. M. Hicks, G. Howatson, K. Thomas, S. K. Hunter and S. Goodall (2019). Sex differences in fatigability and recovery relative to the intensity–duration relationship. *J Physiol* 597: 5577–5595.

Arazi H, Asadi A. (2011) The relationship between the selected percentages of one repetition maximum and the number of repetitions in trained and untrained males. *FU Phys Ed Sport*. 9(1):25-33.

Banyard, H. G., K. Nosaka, K. Sato and G. G. Haff (2017). Validity of Various Methods for Determining Velocity, Force, and Power in the Back Squat. *Int J Sports Physiol Perform* 12: 1170–1176.

Bartholomew, J. B., M. A. Stults–Kolehmainen, C. C. Elrod and J. S. Todd (2008). Strength gains after resistance training: the effect of stressful, negative life events. *J Strength Cond Res* 22: 1215–1221.

Behm, D. G. and D. G. Sale (1993). Intended rather than actual movement velocity determines velocity–specific training response. *J Appl Physiol* (1985) 74: 359–368.

Bergh, U., A. Thorstensson, B. Sjodin, B. Hulthen, K. Piehl and J. Karlsson (1978). Maximal oxygen uptake and muscle fiber types in trained and untrained humans. *Med Sci Sports* 10: 151–154.

Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14: 377–381.

Bosquet, L., J. Montpetit, D. Arvisais and I. Mujika (2007). Effects of tapering on performance: a meta–analysis. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1358–1365.

Carroll, K. M., C. D. Bazyler, J. R. Bernards, C. B. Taber, C. A. Stuart, B. H. DeWeese, K. Sato and M. H. Stone (2019a). Skeletal Muscle Fiber Adaptations Following Resistance Training Using Repetition Maximums or Relative Intensity. *Sports (Basel)* 7.

Carroll, K. M., J. R. Bernards, C. D. Bazyler, C. B. Taber, C. A. Stuart, B. H. DeWeese, K. Sato and M. H. Stone (2019b). Divergent Performance Outcomes Following Resistance Training Using Repetition Maximums or Relative Intensity. *Int J Sports Physiol Perform* 14: 46–54. doi: 10.1123/ijsp.2018-0045

Carvalho, L., R. M. Junior, J. Barreira, B. J. Schoenfeld, J. Orazem and R. Barroso (2022). Muscle hypertrophy and strength gains after resistance training with different volume-matched loads: a systematic review and meta-analysis. *Appl Physiol Nutr Metab* 47: 357–368.

Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychol Bull* 112: 155–159.

Comstock, B. A., G. Solomon-Hill, S. D. Flanagan, J. E. Earp, H. Y. Luk, K. A. Dobbins, C. Dunn-Lewis, M. S. Fragala, J. Y. Ho, D. L. Hatfield, J. L. Vingren, C. R. Denegar, J. S. Volek, B. R. Kupchak, C. M. Maresh and W. J. Kraemer (2011). Validity of the Myotest(R) in measuring force and power production in the squat and bench press. *J Strength Cond Res* 25: 2293–2297.

Cormie, P., M. R. McGuigan and R. U. Newton (2010). Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. *Med Sci Sports Exerc* 42: 1566–1581.

Cornejo-Daza, P. J., A. Villalba-Fernandez, J. J. Gonzalez-Badillo and F. Pareja-Blanco (2023). Time Course of Recovery From Different Velocity Loss Thresholds and Set Configurations During Full-Squat Training. *J Strength Cond Res*.

Costilla, M., C. Casals, A. Marin-Galindo, A. Sanchez-Sixto, A. Munoz-Lopez, B. Sanudo, J. Corral-Perez and J. G. Ponce-Gonzalez (2023). Changes in Muscle Deoxygenation During Squat Exercise After 6-Week Resistance Training With Different Percentages of Velocity Loss. *J Strength Cond Res* 37: 1573-1580.

Davies, T. B., K. Kuang, R. Orr, M. Halaki and D. Hackett (2017). Effect of Movement Velocity During Resistance Training on Dynamic Muscular Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 47: 1603-1617.

Day, M. L., M. R. McGuigan, G. Brice and C. Foster (2004). Monitoring exercise intensity during resistance training using the session RPE scale. *J Strength Cond Res* 18: 353-358.

De Salles, B. F., R. Simao, F. Miranda, S. Novaes Jda, A. Lemos and J. M. Willardson (2009). Rest interval between sets in strength training. *Sports Med* 39: 765-777.

DerSimonian, R. and N. Laird (1986). Meta-analysis in clinical trials. *Control Clin Trials* 7: 177-188.

Dorrell, H. F., M. F. Smith and T. I. Gee (2020). Comparison of Velocity-Based and Traditional Percentage-Based Loading Methods on Maximal Strength and Power Adaptations. *J Strength Cond Res* 34: 46-53.

D G Allen, J Lännergren, H Westerblad (1995). Muscle cell function during prolonged activity: cellular mechanisms of fatigue. *Exp Physiol*, Jul;80(4):497-527.

Egger, M., G. Davey Smith, M. Schneider and C. Minder (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ* 315: 629-634.

Faigenbaum, A. D. and G. D. Myer (2010). Resistance training among young athletes: safety, efficacy and injury prevention effects. *Br J Sports Med* 44: 56-63.

Fernandez Ortega, J. A., D. Mendoza Romero, H. Sarmiento and L. Prieto Mondragon (2022). Bar Load-Velocity Profile of Full Squat and Bench Press Exercises in Young Recreational Athletes. *Int J Environ Res Public Health* 19.

Fink, J., N. Kikuchi, S. Yoshida, K. Terada and K. Nakazato (2016). Impact of high versus low fixed loads and non-linear training loads on muscle hypertrophy, strength and force development. *Springerplus* 5: 698.

Flanagan, S. D., M. D. Mills, A. J. Sterczala, J. Mala, B. A. Comstock, T. K. Szivak, W. H. DuPont, D. P. Looney, D. M. McDermott, D. R. Hooper, M. T. White, C. Dunn-Lewis, J. S. Volek, C. M. Maresh and W. J. Kraemer (2014). The relationship between muscle action and repetition maximum on the squat and bench press in men and women. *J Strength Cond Res* 28: 2437-2442.

Fonseca, F. S., B. D. V. Costa, M. E. C. Ferreira, S. Paes, D. de Lima-Junior, W. Kassiano, E. S. Cyrino, P. Gantois and L. S. Fortes (2020). Acute effects of equated volume-load resistance training leading to muscular failure versus non-failure on neuromuscular performance. *J Exerc Sci Fit* 18: 94-100.

G. Gregory Haff, N. Travis Triplett (2018). *NSCA 決定版ストレングストレーニング&コンディショニング第4版*.

G. Gregory Haff and Sophia Nimphius (2013). Training Principles for Power. *Strength and Conditioning Journal* Volume 34, Number 6, pages 2-12.

Gabriel, D. A., G. Kamen and G. Frost (2006). Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Med* 36: 133-149.

Galiano, C., F. Pareja-Blanco, J. Hidalgo de Mora and E. Saez de Villarreal (2022). Low-Velocity Loss Induces Similar Strength Gains to Moderate-Velocity Loss During Resistance Training. *J Strength Cond Res* 36: 340-345.

Garcia-Orea, G. P., D. Rodriguez-Rosell, A. Ballester-Sanchez, M. E. Da Silva-Grigoletto and N. Belando-Pedreno (2023). Upper-lower body super-sets vs. traditional sets for inducing chronic athletic performance improvements. *PeerJ* 11: e14636.

Gastin, P. B (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med* 31: 725-741.

Gibala, M. J., J. D. MacDougall and D. G. Sale (1994). The effects of tapering on strength performance in trained athletes. *Int J Sports Med* 15: 492-497.

Gillespie, C. A., D. R. Simpson and V. R. Edgerton (1974). Motor unit recruitment as reflected by muscle fibre glycogen loss in a prosimian (bushbaby) after running and jumping. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 37: 817-824.

Gonzalez-Badillo, J. J., D. Rodriguez-Rosell, L. Sanchez-Medina, E. M. Gorostiaga and F. Pareja-Blanco (2014). Maximal intended velocity training induces greater gains in bench press performance than deliberately slower half-velocity training. *Eur J Sport Sci* 14: 772-781.

Gonzalez-Badillo, J. J. and L. Sanchez-Medina (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med* 31: 347-352.

Gonzalez-Badillo, J. J., J. M. Yanez-Garcia, R. Mora-Custodio and D. Rodriguez-Rosell (2017). Velocity Loss as a Variable for Monitoring Resistance Exercise. *Int J Sports Med* 38: 217-225.

Gonzalez-Garcia, J., V. Giraldez-Costas, C. Ruiz-Moreno, J. Gutierrez-Hellin and B. Romero-Moraleda (2021). Delayed potentiation effects on neuromuscular performance after optimal load and high load resistance priming sessions using velocity loss. *Eur J Sport Sci* 21: 1617-1627.

Goto, K., M. Nagasawa, O. Yanagisawa, T. Kizuka, N. Ishii and K. Takamatsu (2004). Muscular adaptations to combinations of high- and low-intensity resistance exercises. *J Strength Cond Res* 18: 730-737.

Graham, T. and D. J. Cleather (2021). Autoregulation by "Repetitions in Reserve" Leads to Greater Improvements in Strength Over a 12-Week Training Program Than Fixed Loading. *J Strength Cond Res* 35: 2451-2456.

Greig, L., R. R. Aspe, A. Hall, P. Comfort, K. Cooper and P. A. Swinton (2023). The Predictive Validity of Individualised Load-Velocity Relationships for Predicting 1RM: A Systematic Review and Individual Participant Data Meta-analysis. *Sports Med* 53: 1693-1708.

Grgic, J., B. J. Schoenfeld, M. Skrepnik, T. B. Davies and P. Mikulic (2018). Effects of Rest Interval Duration in Resistance Training on Measures of Muscular Strength: A Systematic Review. *Sports Med* 48: 137-151.

Hackett, D. A., T. B. Davies, R. Orr, K. Kuang and M. Halaki (2018). Effect of movement velocity during resistance training on muscle-specific hypertrophy: A systematic review. *Eur J Sport Sci* 18: 473-482.

Haff, G. G., A. Whitley, L. B. McCoy, H. S. O'Bryant, J. L. Kilgore, E. E. Haff, K. Pierce and M. H. Stone (2003). Effects of different set configurations on barbell velocity and displacement during a clean pull. *J Strength Cond Res* 17: 95-103.

Hakkinen, K., A. Pakarinen, M. Alen, H. Kauhanen and P. V. Komi (1987). Relationships between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weight lifters. *Int J Sports Med* 8 Suppl 1: 61-65.

Harris, R. C., R. H. Edwards, E. Hultman, L. O. Nordesjo, B. Nylind and K. Sahlin (1976). The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflugers Arch* 367: 137–142.

Held, S., A. Hecksteden, T. Meyer and L. Donath (2021). Improved Strength and Recovery After Velocity-Based Training: A Randomized Controlled Trial. *Int J Sports Physiol Perform* 16: 1185–1193.

Held, S., L. Rappelt, J. P. Deutsch and L. Donath (2023). Jump and Sprint Performance Directly and 24 h After Velocity- vs. Failure-based Training. *Int J Sports Med* 44: 199–205.

Held, S., K. Speer, L. Rappelt, P. Wicker and L. Donath (2022). The effectiveness of traditional vs. velocity-based strength training on explosive and maximal strength performance: A network meta-analysis. *Front Physiol* 13: 926972.

Helms, E. R., R. K. Byrnes, D. M. Cooke, M. H. Haischer, J. P. Carzoli, T. K. Johnson, M. R. Cross, J. B. Cronin, A. G. Storey and M. C. Zourdos (2018). RPE vs. Percentage 1RM Loading in Periodized Programs Matched for Sets and Repetitions. *Front Physiol* 9: 247.

Hickmott, L. M., P. D. Chilibeck, K. A. Shaw and S. J. Butcher (2022). The Effect of Load and Volume Autoregulation on Muscular Strength and Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med Open* 8: 9.

Hickson, R. C., K. Hidaka, C. Foster, M. T. Falduto and R. T. Chatterton, Jr. (1994). Successive time courses of strength development and steroid hormone responses to heavy-resistance training. *J Appl Physiol*, 76: 663–670.

Higgins, J. P. and S. G. Thompson (2002). Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Stat Med* 21: 1539–1558.



Hirsch, S. M. and D. M. Frost (2021). Considerations for Velocity-Based Training: The Instruction to Move "As Fast As Possible" Is Less Effective Than a Target Velocity. *J Strength Cond Res* 35: S89–S94.

Jukic, I., A. P. Castilla, A. G. Ramos, B. Van Hooren, M. R. McGuigan and E. R. Helms (2023a). The Acute and Chronic Effects of Implementing Velocity Loss Thresholds During Resistance Training: A Systematic Review, Meta-Analysis, and Critical Evaluation of the Literature. *Sports Med* 53: 177–214.

Kilgallon, M. J., M. J. Johnston, L. P. Kilduff and M. L. Watsford (2021). A Comparison of Training With a Velocity Loss Threshold or to Repetition Failure on Upper-Body Strength Development in Professional Australian Footballers. *Int J Sports Physiol Perform* 16: 1758–1763.

Kikuchi, N., Y. Mochizuki, A. Kozuma, T. Inoguchi, M. Saito, M. Deguchi, H. Homma, M. Ogawa, Y. Hashimoto, K. Nakazato and T. Okamoto (2022). The Effect of Online Low-intensity Exercise Training on Fitness and Cardiovascular Parameters. *Int J Sports Med* 43: 418–426.

Klitgaard, H., M. Zhou, S. Schiaffino, R. Betto, G. Salviati and B. Saltin (1990). Ageing alters the myosin heavy chain composition of single fibres from human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* 140: 55–62.

Kraemer, W. J., S. J. Fleck, J. E. Dziados, E. A. Harman, L. J. Marchitelli, S. E. Gordon, R. Mello, P. N. Frykman, L. P. Koziris and N. T. Triplett (1993). Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *J Appl Physiol* (1985) 75: 594–604.

Kraemer, W. J. and N. A. Ratamess (2005). Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med* 35: 339–361.

Krzysztofik, M., R. Kalinowski, R. Trybulski, A. Filip-Stachnik and P. Stastny (2021). Enhancement of Countermovement Jump Performance Using a Heavy Load with Velocity-Loss Repetition Control in Female Volleyball Players. *Int J Environ Res Public Health* 18.

Krzysztofik, M., M. Wilk, A. Pisz, D. Kolinger, A. Tsoukos, A. Zajac, P. Stastny and G. C. Bogdanis (2023). Acute Effects of Varied Back Squat Activation Protocols on Muscle-Tendon Stiffness and Jumping Performance. *J Strength Cond Res* 37: 1419-1427.

Kubo, K., T. Ishigaki and T. Ikebukuro (2017). Effects of plyometric and isometric training on muscle and tendon stiffness in vivo. *Physiol Rep* 5.

Lesinski, M., O. Prieske and U. Granacher (2016). Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 50: 781-795.

Marques, D. L., H. P. Neiva, D. A. Marinho and M. C. Marques (2020). Novel Resistance Training Approach to Monitoring the Volume in Older Adults: The Role of Movement Velocity. *Int J Environ Res Public Health* 17.

Matuszak, M. E., A. C. Fry, L. W. Weiss, T. R. Ireland and M. M. McKnight (2003). Effect of rest interval length on repeated 1 repetition maximum back squats. *J Strength Cond Res* 17: 634-637.

McKendry, J., A. Perez-Lopez, M. McLeod, D. Luo, J. R. Dent, B. Smeuninx, J. Yu, A. E. Taylor, A. Philp and L. Breen (2016). Short inter-set rest blunts resistance exercise-induced increases in myofibrillar protein synthesis and intracellular signalling in young males. *Exp Physiol* 101: 866-882.

McMahon, S. and D. Jenkins (2002). Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Med* 32: 761-784.

Merrigan, J. J., J. J. Tufano, J. M. Oliver, J. B. White, J. B. Fields and M. T. Jones (2020). Reducing the Loss of Velocity and Power in Women Athletes via Rest Redistribution. *Int J Sports Physiol Perform* 15: 255–261.

Izquierdo, M., J. Ibanez, J. J. Gonzalez–Badillo, K. Hakkinen, N. A. Ratamess, W. J. Kraemer, D. N. French, J. Eslava, A. Altadill, X. Asiain and E. M. Gorostiaga (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J Appl Physiol* (1985) 100: 1647–1656.

Izquierdo, M., J. Ibanez, J. J. Gonzalez–Badillo, N. A. Ratamess, W. J. Kraemer, K. Hakkinen, H. Bonnabau, C. Granados, D. N. French and E. M. Gorostiaga (2007). Detraining and tapering effects on hormonal responses and strength performance. *J Strength Cond Res* 21: 768–775.

Mochizuki, Y., M. Saito, H. Homma, T. Inoguchi, T. Naito, M. Sakamaki–Sunaga and N. Kikuchi (2023). Does resistance exercise lifting velocity change with different rest intervals? *J Sports Med Phys Fitness* 63: 402–408.

Myrholt, R. B., P. Solberg, H. Pettersen, O. Seynnes and G. Paulsen (2023). Effects of Low–Versus High–Velocity–Loss Thresholds With Similar Training Volume on Maximal Strength and Hypertrophy in Highly Trained Individuals. *Int J Sports Physiol Perform* 18: 368–377.

Nagata, A., K. Doma, D. Yamashita, H. Hasegawa and S. Mori (2020). The Effect of Augmented Feedback Type and Frequency on Velocity–Based Training–Induced Adaptation and Retention. *J Strength Cond Res* 34: 3110–3117.

Nuzzo, J. L. (2023). Narrative Review of Sex Differences in Muscle Strength, Endurance, Activation, Size, Fiber Type, and Strength Training Participation Rates, Preferences, Motivations, Injuries, and Neuromuscular Adaptations. *J Strength Cond Res* 37: 494–536.

Otto, W. H., 3rd, J. W. Coburn, L. E. Brown and B. A. Spiering (2012). Effects of weightlifting vs. kettlebell training on vertical jump, strength, and body composition. *J Strength Cond Res* 26: 1199–1202.

Ozaki, H., A. Kubota, T. Natsume, J. P. Loenneke, T. Abe, S. Machida and H. Naito (2018). Effects of drop sets with resistance training on increases in muscle CSA, strength, and endurance: a pilot study. *J Sports Sci* 36: 691–696.

Pareja-Blanco, F., J. Alcazar, J. Sanchez-Valdepenas, P. J. Cornejo-Daza, F. Piqueras-Sanchiz, R. Mora-Vela, M. Sanchez-Moreno, B. Bachero-Mena, M. Ortega-Becerra and L. M. Alegre (2020a). Velocity Loss as a Critical Variable Determining the Adaptations to Strength Training. *Med Sci Sports Exerc* 52: 1752–1762.

Pareja-Blanco, F., D. Rodriguez-Rosell, P. Aagaard, L. Sanchez-Medina, J. Ribas-Serna, R. Mora-Custodio, C. Otero-Esquina, J. M. Yanez-Garcia and J. J. Gonzalez-Badillo (2020b). Time Course of Recovery From Resistance Exercise With Different Set Configurations. *J Strength Cond Res* 34: 2867–2876.

Pareja-Blanco, F., D. Rodriguez-Rosell, L. Sanchez-Medina, E. M. Gorostiaga and J. J. Gonzalez-Badillo (2014). Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *Int J Sports Med* 35: 916–924.

Pareja-Blanco, F., D. Rodriguez-Rosell, L. Sanchez-Medina, J. Sanchis-Moysi, C. Dorado, R. Mora-Custodio, J. M. Yanez-Garcia, D. Morales-Alamo, I. Perez-Suarez, J. A. L. Calbet and J. J. Gonzalez-Badillo (2017a). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand J Med Sci Sports* 27: 724–735.

Pareja-Blanco, F., L. Sanchez-Medina, L. Suarez-Arrones and J. J. Gonzalez-Badillo (2017b). Effects of Velocity Loss During Resistance Training on Performance in Professional Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform* 12: 512–519.

Pareja-Blanco, F., A. Villalba-Fernandez, P. J. Cornejo-Daza, J. Sanchez-Valdepenas and J. J. Gonzalez-Badillo (2019). Time Course of Recovery Following Resistance Exercise with Different Loading Magnitudes and Velocity Loss in the Set. *Sports (Basel)* 7.

Pareja-Blanco, F., Julian Alcazar, Pedro J Cornejo-Daza, Juan Sánchez-Valdepeñas, Carlos Rodriguez-Lopez, Javier Hidalgo-de Mora, Miguel Sánchez-Moreno, Beatriz Bachero-Mena, Luis M Alegre, Manuel Ortega-Becerra. (2022c), Effects of velocity loss in the bench press exercise on strength gains, neuromuscular adaptations, and muscle hypertrophy. *Scand J Med Sci Sports*. Nov;30(11):2154-2166.

Perez-Castilla, A., A. Garcia-Ramos, P. Padial, A. J. Morales-Artacho and B. Feriche (2018). Effect of different velocity loss thresholds during a power-oriented resistance training program on the mechanical capacities of lower-body muscles. *J Sports Sci* 36: 1331-1339.

Ramos, A. G. (2023). Resistance Training Intensity Prescription Methods Based on Lifting Velocity Monitoring. *Int J Sports Med*.

Ratamess, N. A., C. M. Chiarello, A. J. Sacco, J. R. Hoffman, A. D. Faigenbaum, R. E. Ross and J. Kang (2012). The effects of rest interval length on acute bench press performance: the influence of gender and muscle strength. *J Strength Cond Res* 26: 1817-1826.

Rial-Vazquez, J., X. Mayo, J. J. Tufano, J. Farinas, M. Rua-Alonso and E. Iglesias-Soler (2022). Cluster vs. traditional training programmes: changes in the force-velocity relationship. *Sports Biomech* 21: 85-103.

Richens, B. and D. J. Cleather (2014). The relationship between the number of repetitions performed at given intensities is different in endurance and strength trained athletes. *Biol Sport* 31: 157-161.

Riscart-Lopez, J., G. Rendeiro-Pinho, P. Mil-Homens, R. Soares-daCosta, I. Loturco, F. Pareja-Blanco and J. A. Leon-Prados (2021). Effects of Four Different Velocity-Based Training Programming Models on Strength Gains and Physical Performance. *J Strength Cond Res* 35: 596-603.

Rissanen, J., S. Walker, F. Pareja-Blanco and K. Hakkinen (2022). Velocity-based resistance training: do women need greater velocity loss to maximize adaptations? *Eur J Appl Physiol* 122: 1269-1280.

Rodiles-Guerrero, L., P. J. Cornejo-Daza, J. Sanchez-Valdepenas, J. Alcazar, C. Rodriguez-Lopez, M. Sanchez-Moreno, L. M. Alegre, J. A. Leon-Prados and F. Pareja-Blanco (2022). Specific Adaptations to 0%, 15%, 25%, and 50% Velocity-Loss Thresholds During Bench Press Training. *Int J Sports Physiol Perform* 17: 1231-1241.

Rodiles-Guerrero, L., F. Pareja-Blanco and J. A. Leon-Prados (2020). Effect of Velocity Loss on Strength Performance in Bench Press Using a Weight Stack Machine. *Int J Sports Med* 41: 921-928.

Rodriguez-Rosell, D., J. M. Yanez-Garcia, L. Sanchez-Medina, R. Mora-Custodio and J. J. Gonzalez-Badillo (2020a). Relationship Between Velocity Loss and Repetitions in Reserve in the Bench Press and Back Squat Exercises. *J Strength Cond Res* 34: 2537-2547.

Rodriguez-Rosell, D., J. M. Yanez-Garcia, R. Mora-Custodio, F. Pareja-Blanco, A. G. Ravelo-Garcia, J. Ribas-Serna and J. J. Gonzalez-Badillo (2020b). Velocity-based resistance training: impact of velocity loss in the set on neuromuscular performance and hormonal response. *Appl Physiol Nutr Metab* 45: 817-828.

Rodriguez-Rosell, D., J. M. Yanez-Garcia, R. Mora-Custodio, L. Sanchez-Medina, J. Ribas-Serna and J. J. Gonzalez-Badillo (2021). Effect of velocity loss during squat training on neuromuscular performance. *Scand J Med Sci Sports* 31: 1621-1635.

Rodriguez-Rosell, D., J. M. Yanez-Garcia, R. Mora-Custodio, J. Torres-Torrelo, J. Ribas-Serna and J. J. Gonzalez-Badillo (2020c). Role of the Effort Index in Predicting Neuromuscular Fatigue During Resistance Exercises. *J Strength Cond Res*.

Sahlin, K. and J. M. Ren 1989. Relationship of contraction capacity to metabolic changes during recovery from a fatiguing contraction. *J Appl Physiol* (1985) 67: 648-654.

Sanchez-Medina, L. and J. J. Gonzalez-Badillo (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 43: 1725-1734.

Sanchez-Moreno, M., P. J. Cornejo-Daza, J. J. Gonzalez-Badillo and F. Pareja-Blanco (2020). Effects of Velocity Loss During Body Mass Prone-Grip Pull-up Training on Strength and Endurance Performance. *J Strength Cond Res* 34: 911-917.

Sanchez-Moreno, M., L. Rodiles-Guerrero, G. Rendeiro-Pinho, A. Prieto-Veloso and F. Pareja-Blanco (2023). Acute Mechanical and Metabolic Responses to Different Resistance Training Protocols With Equated Volume Load. *Int J Sports Physiol Perform* 18: 402-413.

Sanchez-Moreno, M., D. Rodriguez-Rosell, D. Diaz-Cueli, F. Pareja-Blanco and J. J. Gonzalez-Badillo (2021). Effects of Velocity Loss Threshold Within Resistance Training During Concurrent Training on Endurance and Strength Performance. *Int J Sports Physiol Perform* 16: 849-857.

Schoenfeld, B. J., B. Contreras, J. Krieger, J. Grgic, K. Delcastillo, R. Belliard and A. Alto (2019). Resistance Training Volume Enhances Muscle Hypertrophy but Not Strength in Trained Men. *Med Sci Sports Exerc* 51: 94-103.

Schoenfeld, B. J., J. Grgic, D. Ogborn and J. W. Krieger (2017). Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Strength Cond Res* 31: 3508-3523.

Semmler, J. G. (2002). Motor unit synchronization and neuromuscular performance. *Exerc Sport Sci Rev* 30: 8–14.

Soriano, M. A., T. J. Suchomel and P. J. Marin (2017). The Optimal Load for Maximal Power Production During Upper-Body Resistance Exercises: A Meta-Analysis. *Sports Med* 47: 757–768.

Souhail Hermassi, Aloui Ghaith, René Schwesig, Roy J Shephard, Mohamed Souhail Chelly (2019). Effects of short-term resistance training and tapering on maximal strength, peak power, throwing ball velocity, and sprint performance in handball players. *PLoS One*, ul 5;14(7)

Steven J. Fleck, William J. Kraemer (2014). *Designing Resistance Training Programs*, 4th Edition. Human Kinetics; Fourth edition, p520

S. N. Guppy, K. L. Kendall and G. G. Haff (2022). Velocity-Based Training—A Critical Review. *Strength and Conditioning Journal*.

Suchomel, T. J., S. Nimphius, C. R. Bellon, W. G. Hornsby and M. H. Stone (2021). Training for Muscular Strength: Methods for Monitoring and Adjusting Training Intensity. *Sports Med*.

Sutarno, C. G. and S. M. McGill (1995). Isovelocity investigation of the lengthening behaviour of the erector spinae muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 70: 146–153.

Szivak, T. K., D. R. Hooper, C. Dunn-Lewis, B. A. Comstock, B. R. Kupchak, J. M. Apicella, C. Saenz, C. M. Maresh, C. R. Denegar and W. J. Kraemer (2013). Adrenal cortical responses to high-intensity, short rest, resistance exercise in men and women. *J Strength Cond Res* 27: 748–760.

Travis, S. K., H. J. Pritchard, I. Mujika, J. A. Gentles, M. H. Stone and C. D. Bazyler (2021). Characterizing the Tapering Practices of United States and Canadian Raw Powerlifters. *J Strength Cond Res* 35: S26–S35.



Tufano, J. J., L. E. Brown and G. G. Haff (2017). Theoretical and Practical Aspects of Different Cluster Set Structures: A Systematic Review. *J Strength Cond Res* 31: 848–867.

Tupling, R., H. Green, S. Grant, M. Burnett and D. Ranney (2000). Postcontractile force depression in humans is associated with an impairment in SR Ca(2+) pump function. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 278: R87–94.

Van Cutsem, M., J. Duchateau and K. Hainaut (1998). Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol* 513 ( Pt 1): 295–305.

Vernillo, G., J. Temesi, M. Martin and G. Y. Millet (2018). Mechanisms of Fatigue and Recovery in Upper versus Lower Limbs in Men. *Med Sci Sports Exerc* 50: 334–343.

Walker, S., K. Hakkinen, R. Virtanen, S. Mane, B. Bachero–Mena and F. Pareja–Blanco (2022). Acute neuromuscular and hormonal responses to 20 versus 40% velocity loss in males and females before and after 8 weeks of velocity–loss resistance training. *Exp Physiol* 107: 1046–1060.

Weakley, J., R. D. Johnston, N. Cowley, T. Wood, C. Ramirez–Lopez, E. McMahon and A. Garcia–Ramos (2023). The Effects and Reproducibility of 10, 20, and 30% Velocity Loss Thresholds on Acute and Short–Term Fatigue and Recovery Responses. *J Strength Cond Res*.

Weakley, J., S. McLaren, C. Ramirez–Lopez, A. Garcia–Ramos, N. Dalton–Barron, H. Banyard, B. Mann, D. Weaving and B. Jones (2020a). Application of velocity loss thresholds during free–weight resistance training: Responses and reproducibility of perceptual, metabolic, and neuromuscular outcomes. *J Sports Sci* 38: 477–485.

Weakley, J., C. Ramirez-Lopez, S. McLaren, N. Dalton-Barron, D. Weaving, B. Jones, K. Till and H. Banyard (2020b). The Effects of 10%, 20%, and 30% Velocity Loss Thresholds on Kinetic, Kinematic, and Repetition Characteristics During the Barbell Back Squat. *Int J Sports Physiol Perform* 15: 180–188.

WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour (2020).

Willardson, J. M. (2006). A brief review: factors affecting the length of the rest interval between resistance exercise sets. *J Strength Cond Res* 20: 978–984.

Wulf, G., M. Hoss and W. Prinz (1998). Instructions for motor learning: differential effects of internal versus external focus of attention. *J Mot Behav* 30: 169–179.

Zhang, X., S. Feng, R. Peng and H. Li (2022). The Role of Velocity-Based Training (VBT) in Enhancing Athletic Performance in Trained Individuals: A Meta-Analysis of Controlled Trials. *Int J Environ Res Public Health* 19.

Zourdos, M. C., A. Klemp, C. Dolan, J. M. Quiles, K. A. Schau, E. Jo, E. Helms, B. Esgro, S. Duncan, S. Garcia Merino and R. Blanco (2016). Novel Resistance Training-Specific Rating of Perceived Exertion Scale Measuring Repetitions in Reserve. *J Strength Cond Res* 30: 267–275.

Velocity-Based Training—A Critical Review.

## 関連論文

Yukina Mochizuki, Mika Saito, Hiroki Homma, Takamichi Inoguchi, Takuto Naito, Mikako Sakamaki-Sunaga, Naoki Kikuchi

Does resistance exercise lifting velocity change with different rest intervals?

The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness

第 63 巻 第 3 号 402 頁-408 頁 2022 年 8 月 1 日

## 学会発表

望月佑季奈、井ノ口尊道、菊池直樹

休息時間の異なるレジスタンスエクササイズにおける血中乳酸濃度と挙上速度の性差

第 76 回日本体力医学会、2021 年 9 月

望月佑季奈、井ノ口尊道、齋藤未花、緒方はづき、木下佳子、本間洋樹、須永美歌子、菊池直樹  
レジスタンスエクササイズ中における挙上速度の低下と血中乳酸濃度の関連性

第 34 回日本トレーニング科学会、2021 年 11 月

望月佑季奈、本間洋樹、橋本卓弥、菊池直樹

非接触運動計測によってトレーニングの質を検討することは可能か？

NSCA ジャパン S&C カンファレンス 2021、2021 年 12 月

Mochizuki, Y., Zempo, H., Saito, M., Inoguchi, T., Naito, T., Homma, H., Zempo-Miyaki, A., Kikuchi, N.

Effects of velocity loss thresholds during resistance training on strength, muscle hypertrophy, and sprint and jump performance: A systematic review and a meta-analysis.

ECSS annual meeting 2022、2022 年 8 月

望月佑季奈、膳法浩史、齋藤未花、井ノ口尊道、内藤拓利、本間洋樹、膳法亜沙子、菊池直樹  
ベロシティーカットオフを用いた筋力トレーニングがスプリントパフォーマンスに及ぼす影響:システムティックレビューおよびメタ分析

第 77 回日本体力医学会、2022 年 9 月

望月佑季奈、内藤拓利、本間洋樹、菊池さやか、菊池直樹

総回数を合わせた Velocity loss トレーニングがスプリント能力の向上に及ぼす影響

第 35 回日本トレーニング科学会、2022 年 12 月

望月佑季奈、齋藤未花、出口実、菊池さやか、本間洋樹、菊池直樹

改良型ドロップセットを用いたレジスタンスエクササイズにおける挙上速度の性差

NSCA ジャパンカンファレンス 2022、2023 年 2 月

Mochizuki, Y., Kikuchi, S., Ozaki, H., Hashimoto, T., Homma, H., Kikuchi, N.

Effects of stepwise load reduction resistance training on power performance and muscle strength:  
a pilot study.

ECSS annual meeting 2023、2023 年 8 月

望月佑季奈、菊池さやか、齋藤未花、KathleenYasmindeAlmeida、尾崎隼朗、橋本卓弥、本間洋  
樹、菊池直樹

パワー向上を目的とした漸減負荷プロトコルの開発:パイロットスタディ

日本体育・スポーツ・健康学会第 73 回大会、2023 年 9 月

## 謝辞

本博士論文を作成するにあたり、菊池先生には、指導教員として終始熱心なご指導を頂きました。そして学部生から約9年間と多岐にわたり、本当にお世話になりました。トレーニングの楽しさ、指導や教育の方法、物事の考え方など、本当に多くのことを学ばせていただきました。生意気小娘に対し、沢山の機会を与えてくださったこと、本当に感謝しています。これまでは、何をするにも先生の喝がなければ行動することができませんでしたが、これからは自分一人で研究ができるように努力したいと思います。本当にありがとうございました。

また、西山哲成先生、並びに須永美歌子先生には、本論文の作成にあたり、副査として適切なお助言を賜りました。感謝申し上げます。

そして、博士課程まで進学をさせてくれた両親に、感謝申し上げます。勉強嫌いの娘がここまで学校に残るとは思っていなかったと思います。両親の人生プランを大幅に変更させてしまったのにも関わらず、やりたいことをやれ、とサポートし続けてくれたお父さんとお母さん、本当にありがとうございました。

最後に、本間さん、KIKULAB の皆様、被験者になってくれたカヌー部のみんなには、本研究の遂行にあたり多大なお助言、ご協力頂きました。心より感謝申し上げます。