

Velocity-based Training における速度低下率の 違いが筋機能特性に与える影響

砂川力也 (琉球大学教育学部)

古堅南美 (浦添市立当山小学校)

Influence of differences in velocity loss in velocity-based training on muscle function characteristics

Rikiya Sunakawa¹⁾ and Minami Furugen²⁾

Abstract

The purpose of this study was to compare the effects of velocity-based training (VBT) with different velocity losses allowed in each set. The subjects were healthy male college students (N = 27) with training experience. The trainees were divided into three groups, where, each session consisted of 12 sessions (2–3 sessions/week) with a protocol in which the velocity loss (VL) was 10%, 20%, and 30% for group 1, 2 and 3, respectively. We found that, weight, calf and thigh girth, one repetition maximum (1RM), squat maximum power, counter movement jump (CMJ), and maximum anaerobic power had significantly improved in all groups, but with no significant difference between the groups. The total work volume during the training period reduced in the order of VL10 < VL20 < VL30. For rating of perceived exertion (RPE), VL10 was significantly lower than the other groups. Therefore, VBT may be the training stimulus necessary for improving maximal muscle strength and muscle power with less work than that required for other forms of training, and it allows users to control the effects of fatigue due to training.

Key words: training volume, power, fatigue, squat, number of repetitions

I. 緒言

多くのスポーツ選手にとって、その競技種目に求められる最大筋力や筋パワーを高めることは、パフォーマンスを決定する上で極めて重要な意味を持ち、瞬発系種目 (Alexander, 1989; Szymanski et al., 2007) のみならず、持久系種目 (Denadai et al., 2017; Hicson, 1980) においても注目されている。これらの体力を獲得するためには、オーバーロードの原理に基づき、筋-神経系に一定の負荷を与える必要がある (石井, 2014)。今日まで、レジスタンストレーニングの効果や有用性は多くの研究により明らかにされており、目的に応じたトレーニングを定期的に行うことでスポーツのパフォーマンス向上に貢献で

きると言える。そして、これらのトレーニングプログラムは、負荷、回数、セット数、休息时间、頻度などのトレーニング変数の観点から様々な方法が提唱されてきた (有賀ほか, 2014)。例えば、筋肥大を目的とした場合、最大挙上重量 (以下, 1RM) の70~85%の負荷で8~12回反復し、セット間の休息を30~90秒に設定する。最大筋力や筋持久力の向上についても同様に負荷や反復回数をコントロールし、目的とするトレーニング効果が最大となるようにトレーニング変数を適切に設定する必要がある。このようにレジスタンストレーニングでは、1RMを測定し、相対強度を基準に個々の目的に合わせ重量と反復回数を決定し実践する Percentage based training (以下, PBT) が一般的な方法として多く活用され、直接法

1) *University of the Ryukyus Faculty of Education*

2) *Touyama Elementary School*

や間接法から求めた重量でトレーニングすることが主流である(有賀, 2013)。

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

レジスタンストレーニングにおいて挙上速度に着目した研究では、プロのラグビー選手を対象にトレーニング実施中のバーベル速度をリアルタイムでフィードバックした結果、跳躍能力や疾走速度に大きな影響を及ぼすことを明らかにしている(Randell et al., 2011)。また、サッカー選手を対象にVBTを導入した結果、跳躍能力や疾走速度が有意に向上しており、特に10代の選手で顕著であったと報告している(González et al., 2015)。さらに、Fielding et al. (2002)は、高齢女性を対象に高速のレジスタンストレーニングを16週間実施した結果、低速で行うグループと比較して、下肢の多関節および単関節での伸展ピークパワーが有意に向上したと報告している。このようにスポーツ現場での実践や発育発達期および高齢期においてVBTの効果が確認されている。VBTには、いくつかのバリエーションが存在するが、ほとんどの場合、目的とする速度領域内で挙上が続けられ、設定された速度以下になると直ちにセットが終了する、あるいは設定速度領域を大きく外れるケースでは速度を基準に重量を増減するため、セット毎に重量や反復回数が異なることから事前に決められた回数をやり遂げるといった概念は除外される。これまでVBTにおける速度低下率について調査した研究は希少であるが、ベンチプレスのセット中に発揮された最大挙上速度に対し80%以上の速度でトレーニングした場合、疲労困憊まで反復させる方法よりも1RMや最大速度の向上に有用であり、いわゆる「オールアウト」のように挙上不可能になるまで反復する必要はないと結論付けている(Padulo et al., 2012)。さらに、Pareja et al. (2017)は、挙上速度の低下率が20%でトレーニングを終了する群(VL20)と、同様に40%群(VL40)のトレーニング効果を比較した結果、1RMや筋横断面積が有意に増大し、群間に統計的な差は認められ

なかったと述べている。加えて、VL20はVL40よりも総仕事量が少なく、かつ軽量での挙上速度やカウンタームーブメントジャンプ(以下、CMJ)の跳躍高が有意に向上したと報告している。つまり負荷、回数、セット数という総仕事量で管理されてきた従来のPBTと比較し、VBTは、相対的な挙上速度の低下率を基準とするため、より少ない仕事量で筋機能に多くの影響を与えることが期待できるであろう。しかし、挙上速度の低下率に関する報告は、近年わずかに確認できるが、ターゲットとする挙上速度の絶対値や低下率の程度、あるいは個人差の影響など、未確定な部分が少なからず存在するためVBTの妥当性および有用性を検証する上で、さらに基礎的データを蓄積する必要性は否めない。

そこで本研究は、VBTにおける速度低下率の設定方法の違いが、筋機能に与える影響について明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

本研究は、日常的に運動習慣を有しレジスタンストレーニングの経験がある健康な男子大学生27名(年齢: 20.1 ± 1.6 歳, 身長: 171.3 ± 5.7 cm, 体重: 63.2 ± 4.6 kg)を対象とした。このうち、スクワット1RMの値を基準に群間に差が生じないように考慮し、それぞれ9名ずつを後述する3つのグループ(VL10群, VL20群, VL30群)に分類した。本研究はヘルシンキ宣言の趣旨を遵守して行われ、すべての参加者に同意書を配布し、研究計画の概要、個人情報の保護、侵襲および安全管理、インフォームドコンセントに関する十分な説明を口頭および書面にて行い、実験参加への同意を署名により得た。また、実験参加に同意した後であっても測定期間中であれば文書により同意を撤回できることを告知し、実験参加者が不利益を受けないように配慮した。測定およびトレーニング時における安全性の確保には、研究機関に付置する健康管理センターの医師および保健師等と連携し、危機管理に対し十分に留意したうえで、本人の意思を尊重しながら測定を実施した。

2. 測定項目および測定方法

1) 身体特性

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

点とした。

2) スクワットの1RM およびパワー測定

1RM 測定は、ガイドライン (有賀, 2011; Baechle and Earle, 2002) に沿いハイパーポジションで肩幅程度のスタンスを開始姿勢とし、動作規定として、しゃがみ込み動作の際、大腿部後面と下腿部後面が触れるまでの位置とした。試技は直接法にて行い、1セット目に30~50%1RM で3~5回、続いて2セット目に50~70%1RM で2~3回行った。3セット目以降は、1回ずつ行い、2.5~10.0kg の範囲で負荷を漸増させ、挙上に失敗した直前の試技を1RM とし、最小単位は2.5kg とした。試技は7セット以内で終了するように負荷を調整し、セット間の休息は疲労の影響を考慮して少なくとも3分以上とした。これらはリニアポジショントランスデューサー (Gym Aware Power Tool, Kinetic Performance Technologies) を用いて、試技中の平均筋力 (以下, MF), ピーク筋力 (以下, PF), 平均速度 (以下, MV), ピーク速度 (以下, PV), 平均パワー (以下, MP), ピークパワー (以下, PP) を計測した。また、1RM 測定の全試技から平均パワーが最大となる値を抽出し、最大パワーとして相対負荷を評価した。

3) CMJ 測定

CMJ の測定は、腕の振り込み動作を制限し、測定器具のケーブルを装着したバー (650g) を肩に担いだ状態から反動を用いた最大努力での跳躍とした。その際、バーが肩から離れないよう注意し、上体の過度な前傾を避け、できる限り垂直に跳躍するように指示した。試技は3回行い、跳躍高が最大となる試技を分析対象とした。これらの項目はリニアポジショントランスデューサーを用いて測定し、ケーブルの変位から跳躍高を求めた。

4) 最大無酸素パワー測定

無酸素パワーの測定には、自転車エルゴメーター (Power Max VII, COMBI) を用いて、三段階の負荷をそれぞれ10秒間、120秒間の休息を挟んで全力ペダリングを実施し、最大無酸素パワーの体重比を評価した。なお、最大無酸素パワーの測定は1RM 測定とは別日にて行い、少なくとも2日以上の間隔を設けた。

5) 主観的運動強度

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

常にきつい」と定義した。

3. トレーニングプロトコル

事前に測定されたスクワット1RM の重量および挙上速度を参考に、ウォーミングアップ (2~3回 × 2セット) において、2.5~5.0kg の範囲で負荷を増減し挙上速度が0.6~0.7m/s の範囲になるように調整した。本実験は、速度低下率の影響を検証する上で個人間の変動を小さくするため、先行研究を参照し筋力パワーをターゲットとする挙上速度の範囲 (0.6~0.8m/s) をさらに限定して0.1m/s 内に収まるように速度領域を設定した。スクワット動作は、大腿部後面と下腿部後面が触れる位置を最下点とし、エキセントリック局面では、速度をコントロールしながら2秒程度で下降した後、適切な反動動作を用いた最大努力での挙上を教示した。VBT は、3つのグループに分けセット内の最大挙上速度を100%とし、相対的な挙上速度の低下率の閾値を10% (以下, VL10群), 20% (以下, VL20群), 30% (以下, VL30群) とし、トレーニング中は常に挙上速度をモニタリングした。各トレーニング群で設定された速度低下率の閾値から外れた場合、測定機器のピープ音の合図で、そのセットを終了とした。1セット目または2セット目に本研究で設定された挙上速度の範囲から明らかに外れる場合は、状況に応じて次のセットから負荷を増減させた。トレーニングは、最大努力で挙上するため、疲労の影響を考慮し、セット間の休息を少なくとも3分間とした。これらのトレーニングは、週2~3回の頻度で、6週行い、12回のトレーニングセッションとした。なお、トレーニング間隔は、48~72時間とし、被験者には、トレーニングが実施される同日に他のレジスタンストレーニングを行わないように指示した。トレーニングの効果を検証するために前述した測定項目をトレーニング前 (以下, Pre) およびトレーニング後 (以下, Post) の各パラメータを比較した (図1)。

4. 統計処理

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

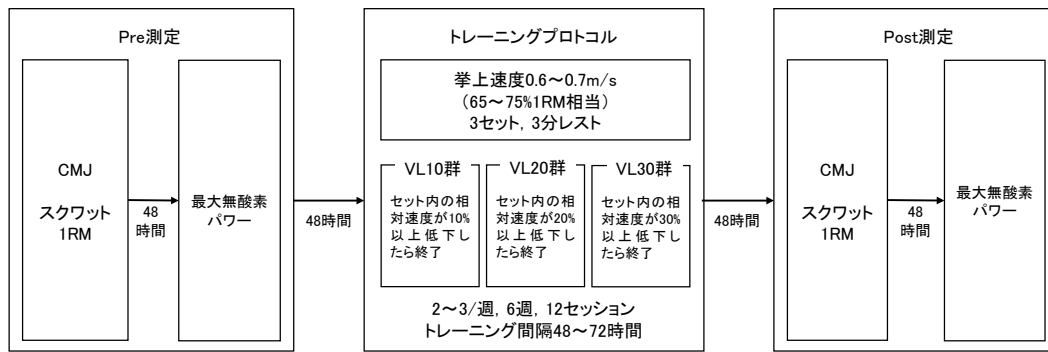


図1 Pre-Post 測定およびトレーニングプロトコル

Ⅲ. 結果

1. 身体特性

Pre-Post における身体特性の変化を表1に示す. 分散分析の結果, 交互作用は認められなかったため, 主効果を検討した. 体重はVL10群 (61.7±4.4kg - 62.8±3.8kg), VL20群 (64.5±7.2kg - 65.5±7.4kg), VL30群 (62.7±6.7kg - 64.2±6.5kg) であり Post が有意に増大した (p<0.01). 大腿部周径圍はVL10群 (49.3±3.3cm - 51.2±3.5cm), VL20群 (49.5±2.4cm - 52.4±2.8cm), VL30群 (49.4±3.2cm - 53.1±3.3cm) であり Post が有意に増大した (p<0.01). 下腿部周径圍はVL10群 (34.7±1.3cm - 35.1±1.4cm), VL20群 (35.5±1.4cm - 36.0±1.3cm), VL30群 (35.1±1.6cm - 35.4±2.0cm) であり Post が有意に増大した (p<0.01).

2. 筋機能特性

1) スクワット1RM

図2は, Pre-Postのスクワット1RMの変化を示したものである. 分散分析の結果, 交互作用は認められなかったため, 主効果を検討した. Preと比較して, Postが有意に向上しており (p<0.01), それぞれVL10群 (91.7±11.5kg - 99.2±12.0kg), VL20群 (91.7±12.7kg - 102.2±14.6kg), VL30群 (96.1±19.7kg - 107.5±21.7kg)であった.

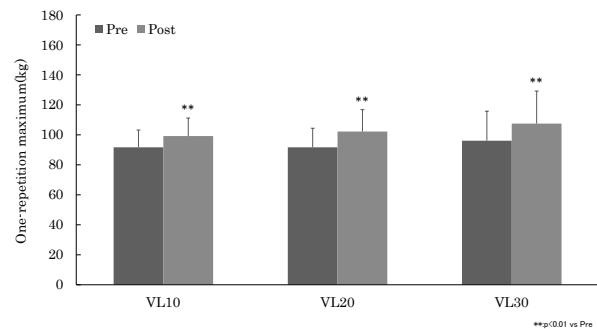


図2 スクワット1RMの比較

2) スクワット最大パワー

図3にPre-Postにおけるスクワットの最大パワーの変化を示した. 分散分析の結果, 交互作用は認められなかったため, 主効果を検討した. Preと比較してPostで有意にパワーの増大が認められた (p<0.01). パワーの増大は, それぞれVL10群 (1039.1±180.0W - 1178.6±139.1W), VL20群 (1063.1±179.9W - 1180.8±117.0W), VL30群 (1007.4±221.5W - 1182.3±206.0W)であった. 最大パワー発揮時の相対負荷はPreが29%~77%1RM (48.5±14.4%1RM), Postが35%~73%1RM (50.0±11.55%1RM)の範囲となり統計的な差は認められなかった.

3) CMJ

図4にPre-PostにおけるCMJの跳躍高の変化を示した. 分散分析の結果, 交互作用は認められなかったため,

表1 Pre-Postの身体特性

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

** : p<0.01 vs Pre

主効果を検討した。VL10群 ($0.479 \pm 0.041\text{m} - 0.497 \pm 0.042\text{m}$), VL20群 ($0.482 \pm 0.046\text{m} - 0.519 \pm 0.052\text{m}$), VL30群 ($0.504 \pm 0.056\text{m} - 0.519 \pm 0.054\text{m}$) となり, Pre と比較して Post の跳躍高が有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。

4) 最大無酸素パワー

図5にPre-Postにおける最大無酸素パワーの体重比の変化を示した。分散分析の結果, 交互作用は認められなかったため, 主効果を検討した。VL10群 ($12.0 \pm 0.9\text{W/BW} - 12.6 \pm 0.9\text{W/BW}$), VL20群 ($12.0 \pm 1.1\text{W/BW} - 12.3 \pm 0.9\text{W/BW}$), VL30群 ($12.2 \pm 0.5\text{W/BW} - 12.7 \pm 0.6\text{W/BW}$) となり, Pre と比較して Post の値が有意に高かった ($p < 0.05$)。

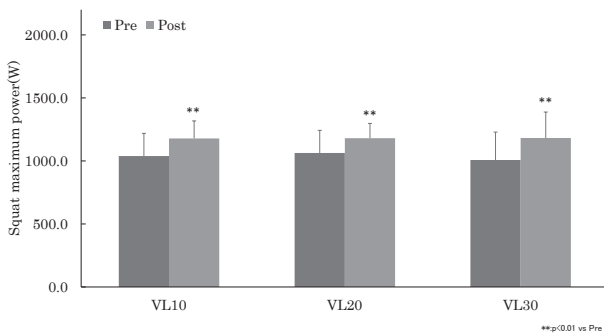


図3 スクワット最大パワーの比較

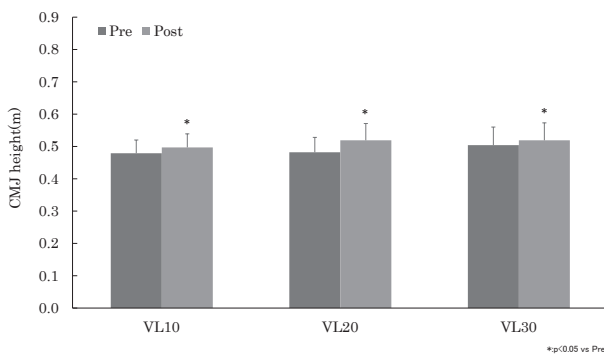


図4 CMJの比較

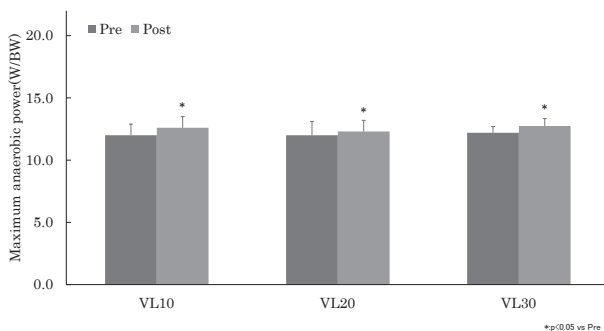


図5 最大無酸素パワー体重比の比較

3. トレーニング期間中のパラメータ

表2はトレーニング全体の平均パラメータと4セッションごとのトレーニングデータを1つのマイクロサイクル(以下, Micro-C)としてまとめたものである。以下にパラメータ変化の詳細を示す。

1) 総仕事量の変化

トレーニング全体の反復回数は, VL10群が 4.7 ± 1.1 回, VL20群が 8.1 ± 2.0 回, VL30群が 10.8 ± 2.1 回となり, 多重比較検定の結果, VL30群 > VL20群 > VL10群の順で有意に多かった ($p < 0.01$) (表2)。各群における Micro-C ごとの反復回数は, VL10群が 4.8 ± 1.0 回 - 4.6 ± 1.0 回 - 4.6 ± 1.0 回, VL20群が 7.4 ± 2.0 回 - 8.4 ± 2.0 回 - 8.3 ± 1.8 回, VL30群が 9.7 ± 1.9 回 - 11.4 ± 2.0 回 - 11.5 ± 2.0 回となり, VL20群 ($p < 0.05$) および VL30群 ($p < 0.01$) は Micro-C1 より Micro-C2 と Micro-C3 で有意に反復回数が増加した (図6)。

総トレーニング量は, セット毎に重量 × 反復回数を算出し, 12セッションの合計で示した。トレーニング期間中の総トレーニング量は, VL10群が $12.28 \pm 0.09\text{t}$, VL20群が $20.53 \pm 0.18\text{t}$, VL30群が $29.00 \pm 0.23\text{t}$ となり, 多重比較検定の結果, VL30群 > VL20群 > VL10群の順で有意に高い値であった ($p < 0.01$) (表2)。各群における Micro-C ごとの総トレーニング量は, VL10群が $3.92 \pm 0.13\text{t} - 4.13 \pm 0.05\text{t} - 4.22 \pm 0.08\text{t}$, VL20群が $6.00 \pm 0.14\text{t} - 7.20 \pm 0.11\text{t} - 7.29 \pm 0.11\text{t}$, VL30群が $8.60 \pm 0.19\text{t} - 10.01 \pm 0.05\text{t} - 10.37 \pm 0.08\text{t}$ であった。VL20群 ($p < 0.01$) および VL30群 ($p < 0.01$) では, Micro-C1 と比較し Micro-C2 と Micro-C3 で有意に増大した (図7)。

2) 平均速度の変化

トレーニング全体の平均速度は, VL10群が $0.65 \pm 0.03\text{m/s}$, VL20群が $0.63 \pm 0.03\text{m/s}$, VL30群が $0.61 \pm 0.04\text{m/s}$ となり, VL10群 > VL20群 > VL30群の順で有意に高かった ($p < 0.01$) (表2)。Micro-C ごとの平均挙上速度の変化をみると, VL10群が $0.65 \pm 0.04\text{m/s} - 0.65 \pm$

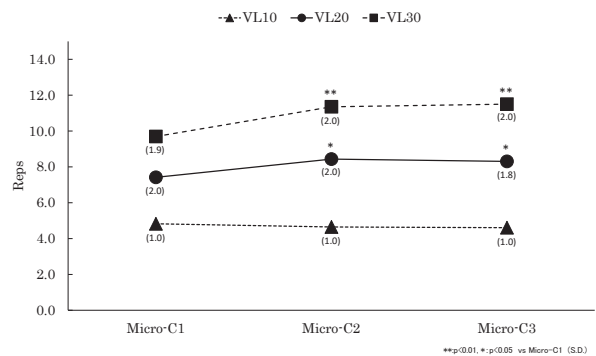


図6 ミクロサイクルにおける反復回数の変化

表2 トレーニング全体およびミクロサイクルのパラメータ

Group	Micro cycle	Bar weight (kg)	Rep Number	Training Volume(t)	Mean Force(N)	Mean Power(W)	Mean Velocity(m/s)	Mean Watt/Kg(W/Kg)	Peak Force(N)	Peak Power(W)	Peak Velocity(m/s)	Peak Watt/Kg(W/Kg)	RPE (1-10)
VL10 (n=9)	1	68.0 ± 2.9	4.8 ± 1.0	3.92 ± 0.13	1305.3 ± 147.3	842.3 ± 106.0	0.65 ± 0.04	13.4 ± 1.1	1875.3 ± 274.1	2006.9 ± 238.1	1.26 ± 0.10	32.1 ± 3.5	5.2 ± 1.3
	2	74.3 ± 10.8	4.6 ± 1.0	4.13 ± 0.05	1368.2 ± 144.2	882.4 ± 99.7	0.65 ± 0.03	14.1 ± 1.1	2047.5 ± 301.0	2120.0 ± 191.0	1.25 ± 0.09	34.0 ± 3.0	4.8 ± 1.1
	3	77.1 ± 11.1	4.6 ± 1.2	4.22 ± 0.08	1405.0 ± 146.5	885.5 ± 105.2	0.63 ± 0.03	14.0 ± 1.0	2113.6 ± 314.4	2124.2 ± 181.7	1.23 ± 0.09	33.8 ± 3.3	4.6 ± 1.1
Total average		73.2 ± 11.8	4.7 ± 1.1	12.28 ± 0.09	1356.6 ± 149.7	867.4 ± 104.5	0.65 ± 0.03	13.9 ± 1.1	2012.1 ± 308.4	2083.7 ± 212.1	1.25 ± 0.10	33.3 ± 3.3	4.9 ± 1.2
VL20 (n=9)	1	67.2 ± 10.2	7.4 ± 2.0	6.00 ± 0.14	1343.3 ± 171.1	821.6 ± 99.3	0.63 ± 0.03	12.5 ± 0.9	1938.5 ± 322.5	1811.0 ± 195.3	1.17 ± 0.11	27.7 ± 2.7	7.6 ± 1.0
	2	70.8 ± 9.7	8.4 ± 2.0	7.20 ± 0.11	1357.6 ± 162.5	852.9 ± 104.5	0.64 ± 0.04	13.0 ± 1.0	2015.7 ± 301.1	1848.1 ± 181.3	1.16 ± 0.08	28.3 ± 1.9	7.5 ± 1.3
	3	72.0 ± 9.1	8.3 ± 1.8	7.29 ± 0.11	1372.0 ± 148.0	844.4 ± 101.9	0.62 ± 0.03	12.9 ± 0.9	1992.5 ± 264.3	1899.8 ± 216.5	1.17 ± 0.09	29.1 ± 2.0	6.9 ± 1.3
Total average		69.9 ± 10.1	8.1 ± 2.0	20.53 ± 0.18	1352.0 ± 152.2	840.0 ± 103.1	0.63 ± 0.03	12.8 ± 1.0	1982.2 ± 301.5	1852.9 ± 196.3	1.17 ± 0.09	28.4 ± 2.2	7.3 ± 1.2
VL30 (n=9)	1	73.1 ± 16.0	9.7 ± 1.9	8.60 ± 0.19	1364.4 ± 211.9	816.6 ± 135.0	0.61 ± 0.04	12.8 ± 1.4	1912.4 ± 361.9	1938.9 ± 413.3	1.18 ± 0.09	30.2 ± 4.0	7.6 ± 0.6
	2	73.8 ± 16.6	11.4 ± 2.0	10.01 ± 0.05	1374.2 ± 218.0	822.5 ± 143.3	0.61 ± 0.04	12.8 ± 1.6	1948.1 ± 336.7	1865.5 ± 413.4	1.14 ± 0.09	28.9 ± 4.3	7.6 ± 0.9
	3	74.6 ± 16.4	11.5 ± 2.0	10.37 ± 0.08	1384.4 ± 213.8	863.1 ± 137.5	0.63 ± 0.03	13.5 ± 1.5	2014.9 ± 340.1	1926.7 ± 331.7	1.17 ± 0.08	30.0 ± 3.5	7.4 ± 0.8
Total average		73.8 ± 16.5	10.8 ± 2.1	29.00 ± 0.23	1374.4 ± 212.8	834.1 ± 139.3	0.61 ± 0.04	13.0 ± 1.5	1958.5 ± 345.1	1910.2 ± 388.5	1.17 ± 0.09	29.7 ± 4.0	7.5 ± 0.8
ANOVA		p<0.01	p<0.01	p<0.01	n.s.	p<0.01	p<0.01	p<0.01	n.s.	p<0.01	p<0.01	p<0.01	p<0.01
Multiple comparison test		VL20<VL10,VL30	VL10<VL20<VL30	VL10<VL20<VL30	n.s.	VL20,VL30<VL10	VL30<VL20<VL10	VL20,VL30<VL10	n.s.	VL20<VL10,VL30	VL20,VL30<VL10	VL20,VL30<VL10	VL10<VL20,VL30

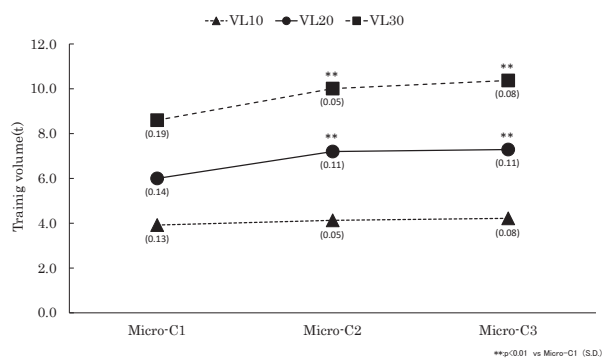


図7 ミクロサイクルにおける総仕事量の変化

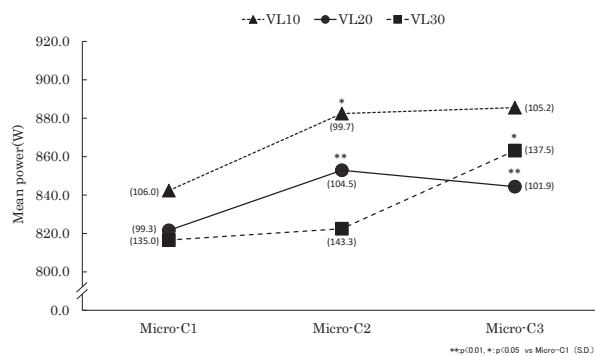


図9 ミクロサイクルにおける平均パワーの変化

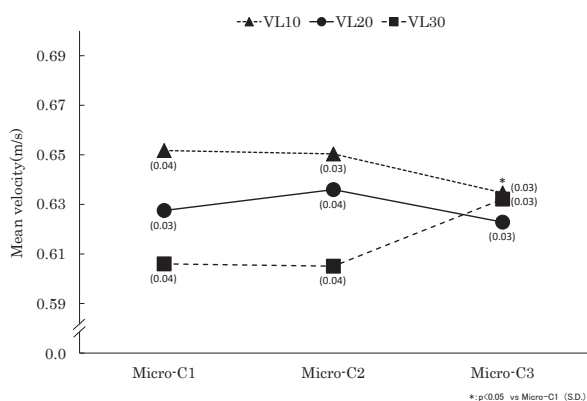


図8 ミクロサイクルにおける挙上速度の変化

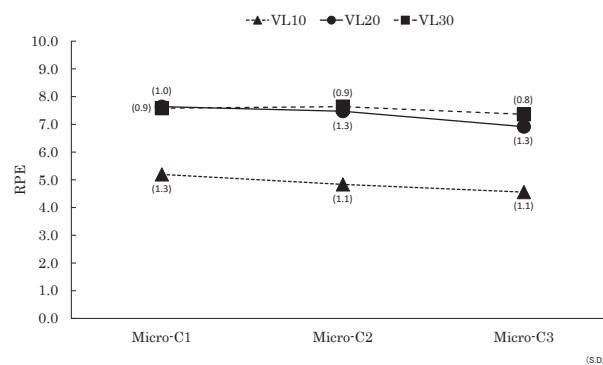


図10 ミクロサイクルにおける RPE の変化

0.03m/s - 0.63±0.03m/s, VL20 群 が0.63±0.03m/s - 0.64±0.04m/s - 0.62±0.03m/s, VL30群が0.61±0.04m/s - 0.61±0.04m/s - 0.63±0.03m/s となり, VL30群において, Micro-C1と比較し Micro-C3が有意に高い速度であった (p<0.05) (図8).

3) 平均パワーの変化

トレーニング全体の平均パワーは, VL10群で867.4±104.5W, VL20 群 で840.0±103.1W, VL30 群 で834.1±139.3W となり, VL30群および VL20群より VL10 群が有意に大きな値であった (p<0.01) (表2). Micro-C ごとの平均パワーは, VL10群が842.3±106.0W - 882.4±99.7W - 885.5±105.2W, VL20群が821.6±99.3W - 852.9±104.5W - 844.4±101.9W, VL30群 が816.6±135.0W - 822.5±143.3W - 863.1±137.5W となり, Micro-C1と比較して, VL10群では Micro-C2 (p<0.05) が, VL20群では Micro-C2と Micro-C3 (p<0.01) が, VL30群では Micro-C3 (p<0.05) が有意に高い値を示した (図9).

4) 主観的運動強度の変化

トレーニング全体の RPE は, VL10群で4.9±1.2, VL20 群で7.3±1.2, VL30群で7.5±0.8となり, 群間に有意差が認められた (VL10<VL20, VL30, p<0.01) (表2). Micro-C

ごとの RPE の変化は, VL10群が5.2±1.3 - 4.8±1.1 - 4.6±1.1, VL20群が7.6±1.0 - 7.5±1.3 - 6.9±1.3, VL30群 が7.6±0.6 - 7.6±0.9 - 7.4±0.8 となり, すべての群で Micro-C 間に統計的な差は認められなかった (図10).

IV. 考察

1. 身体特性の変化

本研究は, トレーニング前後における身体特性を評価した結果, すべての群において, 体重, 下腿・大腿周径がトレーニング後に有意に増大した. 一般的にレジスタンストレーニングにおいて筋肥大を目的とした場合, 70~85%1RMの負荷で8~12回を複数セット実施することが効果的であるとされている (有賀ほか, 2014). 本研究において1RMを直接測定したのはトレーニング介入前後の2回であったため, トレーニング期間中の正確な1RMは不明であるが, 毎回, トレーニング日にウォーミングアップとして, スクワットの挙上速度が0.6~0.7m/sになるよう負荷を調整していた. これは, およそ65~75%1RMの負荷に相当する (Jovanović and Flanagan, 2014). これまで広く活用されてきたPBTは, 1RMを基準にすることから日々のトレーニング重量を客観的に決定するうえで, 頻繁に1RMを測定しなければならず, これらは非現実的である. そのため, 重量の調整方法は主

観的なものに頼らざるを得ず、1RMの変動性を考慮すると、従来のPBTで正確な重量を算出することが困難と考えられる。一方、レジスタンストレーニングにおける挙上速度は、個人差や変動性が小さいことが知られている(González and Sánchez, 2010)。VBTは、毎回の挙上速度を基準に重量を設定するため、変動する1RMに対応でき、相対的な負荷を正確に測定できる可能性が高い。本研究では、トレーニング期間を通じて一定の挙上速度^{註)}でトレーニングを実施していたため、その再現性は高いと判断できる。つまり、トレーニング期間中は常に70%1RM前後の負荷でトレーニングしていたことになり、本研究結果から体重および下肢周径圍の増大に影響を及ぼしたものと考えられる。

レジスタンストレーニングにおいて筋肥大が生じるには、通常3~4ヶ月の期間が必要であるとされてきたが、近年では、短期間でその効果がみられる事例も存在する(Abe et al., 2005; 眞鍋ほか, 2008; Staron et al., 1994)。本研究は6週のトレーニング期間で12回のトレーニングセッションであり、短期間で下腿・大腿周径圍と体重が増大したことは、非常に興味深い知見となった。通常、骨格筋はサイズの原理に従い、運動単位の小なタイプI線維から動員され、運動強度が上がるにつれ運動単位の大なタイプII線維を動員する(石井, 2014)。筋肥大はタイプII線維をより多く動員することに起因することから、本研究で用いた運動強度(65~75%1RM)は適当であったと推測される。しかし、先述したように筋肥大には数ヶ月の期間を要するため、短期間で身体特性に変化が生じたのは、中程度の負荷に対し最大努力で挙上したことの影響が可能性として挙げられる。

2. 筋機能特性の変化

レジスタンストレーニングは、必要とされる体力を獲得するために、オーバーロードの原理に基づき筋・神経系に一定の負荷を与え、その目的に応じたトレーニング変数を調整することで筋機能の向上に貢献する手段の一つである。本研究は、スクワットの挙上速度を基準とし、3つのグループにそれぞれ異なる速度低下領域を設定したプロトコルにて、6週間で12セッションのトレーニングを実施し、筋機能に与える影響について検証した。

スクワット1RMは、すべての群において、およそ8~12%の有意な増大が認められた。レジスタンストレーニングによって筋力を決定する要因は神経系機能の改善と筋横断面積の増大が考えられる(石井, 2014)が、筋力向上を目的とした場合、85%(6RM)以上の高負荷を用いて、1~5回の全力による反復を、2~5分の休息時間を挟んで2セット以上行う方法が多く採用されている

(有賀ほか, 2014; 眞鍋ほか, 2008)。本研究で採用した速度領域は0.6~0.7m/s(65%~75%1RM)と先行研究と比較してやや低い負荷であるが、反復回数はVL10群で4.1回、VL20群で8.1回、VL30群で10.8回とトレーニング条件によって差が生じており、当然のことながら、速度低下率が最も小さいVL10群では、VL30群に対し、42%の総仕事量であった。Pareja et al. (2017)は、70~85%1RMの負荷を用いて、8週間16セッションのトレーニング実験を行い、スクワットエクササイズにおけるセット内の挙上速度が20%Lossおよび40%Lossしたら終了するプロトコルで2つのグループを比較した。その結果、20%Loss群の総挙上重量や反復回数は40%Loss群の約60%程度となり、1RMは両群で同等の増加量を示したが、40%Loss群はより高い筋肥大効果が得られたと報告している。40%Loss群の筋肥大の要因については、タイプIIx線維の割合の減少、タイプIIa線維の増加によることを示唆している。本研究は、すべての群において1RMの向上に加え、体重および下肢の周径圍の増大がみられたが、群間の差は認められなかった。このことは、反復回数や総仕事量に関係なく、最大筋力や筋サイズに同等の変化が生じることを意味するものであるが、筋力向上に神経系機能改善と筋横断面積増大がどの程度影響していたかは不明である。高負荷レジスタンストレーニングを長期間継続すると、筋線維サブタイプの遅筋化が生じ、パワーやRFDが低下する可能性がある(有賀ほか, 2014)。とりわけ40%Lossまで仕事量が増大するとタイプIIミオシン重鎖の減少は否定できないが、本研究で最も速度低下率が大きかったVL30群では、他のグループと同程度の筋肥大効果であり、後述する最大パワーやCMJの値が同様に向上していることから、短期的なトレーニングにおいて、速度領域が0.6~0.7m/sの範囲である場合、それらの影響は少ないと考える。

レジスタンストレーニングにおいて、発揮パワーの向上には、パワーを構成する力(筋力)と速度(筋収縮速度)を考慮する必要がある。筋力は神経系機能や筋横断面積の要因に、筋収縮速度は神経系機能、筋長、腱の接合部などの影響を受けるとされており、後者は遺伝の影響が強く、トレーナビリティが低いことが指摘されている(有賀ほか, 2014)。また、パワーは筋力と有意な相関関係が認められているため、トレーナビリティが高い筋力を増大させることが、パワー向上の基本条件となり、スクワットのような多関節運動では、1RMの30~70%において最大パワーが発揮され個人差が存在する(Cormie et al., 2007; González and Sánchez, 2010; Kirby et al., 2010; 砂川・下嶽, 2017)。本研究では、すべての群においてトレーニング後に最大パワーが有意に増大した。1RM測

定で実施されたすべての試技から最大パワーが発揮された負荷を抽出したところ、約50%1RM (35%1RM ~ 73%1RM) の相対強度であり、先行研究の結果からも妥当な範囲といえる。パワーを高めるには、前述した最大パワーが発揮される相対強度でトレーニングをすることが最も有効とされている (Cormie et al., 2007; Kirby and Erickson, 2010) が、筋力や速度の優位性を考慮しなければならない。本研究はトレーニング期間を通じて常に挙上速度が0.6~0.7m/sとなる負荷 (65~75%1RM) を用いていたことによって、発揮パワーが向上したと推測され、トレーニングの原理原則からも妥当な結果であろう。よって、VBTでは、より少ない仕事量においてもトレーニング負荷に応じたパワー発揮の向上に期待できる可能性が示唆された。

筋力向上に伴いスポーツで必要とされる諸機能が改善されることは、多くの研究で支持されてきた (Alexander, 1989; Denadai et al., 2017; Hicson, 1980; Szymanski et al., 2007)。本研究は、下肢の爆発的筋力および無酸素パワーをCMJ、自転車こぎ運動で評価した。その結果、すべての群でCMJの跳躍高、最大無酸素パワーが有意に向上していた。下肢筋力はジャンプパフォーマンスやスプリントパフォーマンスに大きな影響を及ぼすとされており、福永ほか (1991) は、スクワット動作中の力の立ち上がりや発揮パワーと垂直跳びの跳躍高との間には正の相関関係が認められたことを報告している。また、Hedrick, (1996) は、トレーニングによる下肢の筋力向上に伴い、垂直跳びのパフォーマンスが有意に改善されることを明らかにしている。通常レジスタンストレーニングは、加速による慣性を最小限にとどめ可動域全般にわたって筋に負荷抵抗を与えるために、中程度の速度で実施されることが多い。この手法は、筋肥大には非常に有効であるが (中谷ほか, 2019)、パワーや短時間に大きな力発揮をする能力 (RFD) の向上を妨げ、さらに反動動作の機能的な能力を低下させてしまう可能性がある (有賀ほか, 2014)。一方で、短縮性筋活動において高速で挙上動作を行う高速レジスタンストレーニングは、RFDの増加や筋活動の機能的な改善効果が期待できるとされている (Cormie et al., 2011; Haff et al., 2001; 金子ほか, 1981)。本研究のVBTプロトコルは、すべて最大速度での挙上としていることから短時間で大きな力を発揮する能力の改善によって、CMJの跳躍高の変化に影響を及ぼしたと考えられる。さらに、最大無酸素パワーは、スプリント系競技のパフォーマンスとの関係が深く、主としてATP-CP系のエネルギー供給機構に依存するため、筋量、タイプII線維の割合および運動単位の動員増加等が考えられる (Dore et al., 2005; Martin et al., 1997; Mayhew and

Salm, 1990)。つまり、本研究で得られた成果として、12回のセッションで少ない仕事量においてもこれらの機能的改善が推察できることは特に注目すべき点であると言えよう。

12回のトレーニングセッションを初期・中期・終期で期分けし、トレーニング全体を総括的に評価するために、4回のトレーニングセッションを1つのマイクロサイクルとしてトレーニング量、速度およびパワーの変化を分析した。トレーニング量は、重量×反復回数で示されるため、速度低下率が大きくなるにつれて、トレーニング量が増大することは当然の結果といえるが、VL20群、VL30群は、トレーニング初期と比較し中期・終期において多くなるのに対し、VL10群では、その変化が一定であった。つまり、速度の低下率を10%に設定した場合、トレーニング期間を通じて安定した反復回数で行うことが可能であり、逆に20%以上の速度低下率は、トレーニング中期以降に設定された速度領域内での反復回数が増加することが明らかとなった。また、トレーニング期間中の平均速度および平均パワーの変化を見てみると、VL10群 > VL20群 > VL30群の順で、より高い速度での挙上と高い発揮パワーが確認され、特にVL10群では、トレーニング中期以降に平均パワーの増大を示すことが明らかとなった。VL30群は、トレーニング終期において平均速度および平均パワーの向上が顕著であった。とりわけ、VL30群における反復回数は10回前後となるが、トレーニング初期に比べ、終期では0.6~0.7m/sの挙上速度範囲内で反復回数が増えた結果、平均速度の向上に影響していたことが考えられる。このことから、運動時間が比較的短く単発のパワー発揮が重要となる競技スポーツには、VL10群のようなトレーニングプロトコルを2~4週行うことでその効果が得られるかもしれない。反対に高い発揮パワーの持続性の向上を目的とする場合は、速度低下率を30%程度に設定し、少なくとも6週間のトレーニング期間を要することが示唆された。本研究は6週間のトレーニング期間において、すべてのグループで最大筋力や最大パワーといった筋機能の向上が同様に確認されている。これは筋力増加等の貢献度として神経系機能改善の要因が大きいと考えられるが、短期的なトレーニングでは、仕事量の大小に関わらず同程度のトレーニング効果を得られることが期待される。つまり、トレーニング初期において速度を基準に総仕事量をコントロールすることで疲労蓄積の抑制や回復に要する時間の短縮などに影響し、ピリオダイゼーションの観点からも戦略的に活用できるかもしれない。しかし、中期的・長期的なVBTの有用性については今後さらに検討する必要があるであろう。

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

V. まとめ

本研究は、速度を基準としたレジスタンストレーニングにおいて、個々に設定された速度低下率の違いが筋機能に与える影響について検証した。トレーニングは3つのグループにより構成され、設定された速度領域においてスクワットエクササイズを週2~3回の頻度で12セッション実施した。その結果、すべてのグループにおいて、体重、下肢の周径囲、スクワット1RM、スクワット最大パワー、CMJ、最大無酸素パワーの値がトレーニング後に有意に増大した。トレーニング期間中の総仕事量は、VL10群が最も少なく、続いてVL20群、VL30群となり、主観的運動強度は、VL10群が他群に比べ低く、トレーニング期間を通じて一定であった。以上のことから、本研究で実施したVBTは、最大筋力や筋パワー等の向上に必要なトレーニング刺激をより少ない仕事量で可能とし、トレーニングによる疲労を抑制できることが考えられる。

謝 辞

本研究は、2019年度九州体育・スポーツ学会課題研究助成(自由課題)を受け実施されました。関係各位には

ここに記して心より感謝申し上げます。

注

ターゲットとする速度領域を外れた場合は、次セットから負荷の増減で調整しており、規定外の試技数は全体の3~5%であり、1セット1人平均で0.4回であった。

文 献

- Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., Sato, Y., Kearns, C.F., Inoue, K., Koizumi, K. and Ishii, N. (2005) Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily KAATSU resistance training. *Int. J. KAATSU Training Res.*, 1: 6-12.
- Alexander, M.J. (1989) The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters. *Can. J. Sport Sci.*, 14 (3): 148-157.
- Anderson, G.S. and Rhodes, E.C. (1989) A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. *Sports Med.*, 8: 43-55.
- 有賀誠司. (2013) 12章, レジスタンストレーニングのプログラムデザイン, 特定非営利活動法人NSCA ジャパン日本ストレングス&コンディショニング協会編, ストレングス&コンディショニング I 理論編, 第12版, 大修館書店, 東京, pp.100-107.
- 有賀誠司. (2011) 第1章, レジスタンストレーニング, NPO 法人日本トレーニング指導者協会, トレーニング指導者テキスト実技編, 大修館書店, 東京, p.40.
- 有賀誠司・菅野昌明・山内武・伊藤良彦. (2014) 2章2節, 3節, 4節, 5節, 各種トレーニングプログラム法の理論とプログラム, NPO 法人日本トレーニング指導者協会, トレーニング指導者テキスト実践編改訂版, 大修館書店, 東京, pp.38-85.
- Baeckle, T.R. and Earle, R.W. (2002) NSCA 決定版ストレングストレーニング & コンディショニング第2版, ブックハウス・エイチディ, 東京, pp.404-405.
- Banyard, H.G., Tufano, J.J., Delgado, J., Steve, S.W. and Nosaka, K. (2018) Comparison of Velocity-Based Training Methods and Traditional 1RM-Percent-Based Training Prescription on Acute Kinetic and Kinematic Variables. *Int. J. Sports Physiol. Performance*, 14 (2): 246-255.
- Cormie, P., McCaulley, G.O., Triplett, N.T. and McBriden, J.M. (2007) Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39: 340-349.
- Cormie, P., McGuigan, M.R. and Newton, R.U. (2011)

- Developing maximal neuromuscular power: part2-training considerations for improving maximal power production. *Sports Med.*, 41 (2): 125-146.
- Denadai, B.S., de Aguiar, R.A., de Lima, L.C., Greco, C.C. and Caputo, F. (2017) Explosive training and heavy weight training are effective for improving running economy in endurance athletes: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med.*, 47 (3): 545-554.
- Dore, E., Martin, R., Ratel, S., Duche, P., Bedu, M. and Praagh, V.E. (2005) Gender differences in peak muscle performance during growth. *Int. J. Sports Med.*, 26 (4): 274-280.
- 福永哲夫・松尾彰文・安部孝・川上泰雄・沼沢秀雄・深代千之. (1991) 種目別スポーツ競技力評価方法の開発—バレーボール競技の場合—, *スポーツ医・科学*, 5 (2) : 47-54.
- Fielding, R.A., LeBrasseur, N.K., Cuoco, A., Bean, J., Mizer, K. and Singh, M.A.F. (2002) High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *J. Am. Geriatr Soc.*, 50: 655-662.
- González-Badillo, J.J. and Sánchez-Medina, L. (2010) Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int. J. Sports Med.*, 31 (5): 347-352.
- González-Badillo, J.J., Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Abad-Herencia, J.L., del Ojo-López, J.J., and Sánchez-Medina, L. (2015) Effects of velocity-based resistance training on young soccer players of different ages. *J. Strength Cond. Res.*, 29 (5): 1329-1338.
- Haff, G.G., Whitley, A., Potteiger, J. (2001) A brief review: Explosive exercises and sports performance. *National Strength & Conditioning Association*. 23 (3): 13-20.
- Hedrick, A. (1996) The vertical jump a review of the literature and a team case study. *Strength Cond. J.*, 18 (7): 7-12.
- Hicson, R.C. (1980) Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 45 (2-3): 255-265.
- 石井直方. (2014) 4章2節, 骨格筋系, 神経系, 内分泌系と運動, NPO法人日本トレーニング指導者協会編, トレーニング指導者テキスト理論編改訂版, 大修館書店, 東京, pp.97-110.
- Jovanović, M and Flanagan, E.P. (2014) Researched applications of velocity based strength training. *J. Aus. Strength Cond.*, 22 (2): 58-69.
- 金子公宥・潤本隆文・田路秀樹・末井健作. (1981) 人体筋の力・速度・パワー関係に及ぼすトレーニング効果. *体力科学*, 30 : 86-93.
- Kirby, T.J. and Erickson, T.J.M. (2010) Model for Progression of Strength, power and speed Training. *Strength Con. J.*, 32 (5): 86-90.
- 眞鍋芳明・桜井健一・岩壁達男・尾縣貢. (2008) 速度の異なるスクワットトレーニングが下肢の筋断面積, 筋力, 運動パフォーマンスに与える影響. *バイオメカニズム*, 29 : 69-80.
- Mann J.B. (2017) Developing explosive athletes: Use of velocity based training in training athletes, 2nd Edition.
- Martin, J.C., Wagner, B.M. and Coyle, E.F. (1997) Inertial-load method determines maximal cycling power in a single exercise bout. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29 (11): 1505-1512.
- Mayhew, J.L. and Salm, P.C. (1990) Gender differences in anaerobic power tests. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 60 (2): 133-138.
- 中谷友哉・福田真知子・北川祐樹・宮本俊朗. (2019) 低速度レジスタンス運動時の筋内活動分布の解析—高密度表面筋電図を用いて—, *理学療法学*, 46 (1) : 30-37.
- 中谷敏昭・寺田和史・上英俊・塩見玲子・白石晃・灘本雅一. (2009) 筋力運動で用いる自覚的疲労スケールの開発とトレーニングへの応用. *体育測定評価*, 9 : 23-31.
- Pareja, B.F., Rodríguez, R.D., Sánchez, M.L., Sanchis, M.J., Dorado, C., Mora, C.R., Yáñez, G.J.M., Morales, A.D., Pérez, S.I., Calbet, J.A.L. and González, B.J.J. (2017) Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 27 (7): 724-735.
- Padulo, J.P., Mignogna, S., Mignardi, F., Tonni, F. and D'Ottavio, S. (2012) Effect of different pushing speeds on bench press. *Int. J. Sports Med.*, 33 (5): 376-380.
- Randell, A.D., Cronin, J.B., Keogh, J.W.L., Gill, N.D. and Pedersen, M.C. (2011) Effect of instantaneous performance feedback during 6weeks of velocity-based resistance training on sport-specific performance tests. *J. Strength Cond. Res.*, 25 (1): 87-93.
- Ribeiro, L.F., Malachias, P.C., Junior, P.B. and Baldissera, V. (2004) Lactate and glucose minimum speeds and running performance. *J. Sci. Med. Sport*, 7 (1): 123-127
- Stallknecht, B., Vissong, J. and Galbo, H. (1998) Lactate production and clearance in exercise. Effect of training. A mini-review. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 8: 127-131.
- Staron, R.S., Karapondo, D.L., Kreamer, W.J., Fry, A.C.,

- Gordon, S.E., Falkel, J.E., Hagerman, F.C. and Hidaka, R.S. (1994) Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J. Appl. Physiol.*, 76 (3): 1247-1255.
- 砂川力也・下嶽進一郎. (2017) 異なるスクワット条件を用いた等張性筋収縮が活動後増強に与える影響. *トレーニング指導*, 2 (1) : 18-24.
- Szymanski, D.J., McIntyre, J.S., Szymanski, J.M., Bradford, T.J., Schade, R.L., Madsen, N.H. and Pascoe, D.D. (2007) Effect of torso rotational strength on angular hip, angular shoulder, and linear bat velocities of high school baseball players. *J. Strength Cond. Res.*, 21 (4): 1117-1125.

(令和2年4月25日受付)
(令和2年6月27日受理)