

# 若齢者のレジスタンストレーニングにおける 動作速度が筋肥大に与える影響

The effect of movement velocity in resistance training on  
muscle hypertrophy in young adults

光 川 眞 壽

## 要 約

本研究は、若齢者を対象としたレジスタンストレーニングの短縮性収縮 (CON) 局面および伸張性収縮 (ECC) 局面の動作速度が筋肥大に及ぼす影響を明らかにすることを目的として文献レビューを行なった。文献調査の結果、7つの論文が抽出され、それらの論文を各局面の動作速度で分類すると、1) CON局面とECC局面両方を速くする方法 (3論文)、2) CON局面のみを速くする方法 (2論文)、3) ECC局面のみを速くする方法 (2論文) の3条件に分けられた。50% 1 RM程度のトレーニング強度の場合、1) の条件においては、各局面が1秒よりも3秒以上かけてトレーニングした方が筋肥大することが明らかとなった。一方、67%-85% 1RM程度の強度を用いたトレーニングの場合、1) および2) とともに各局面において1-3秒程度の動作時間であれば筋肥大の程度に大きな違いがないことが示された。3) の条件においては、一致した見解が得られておらず、更なるエビデンスの蓄積が必要であることが示唆された。

## キーワード

スピード, テンポ, アイソトニックトレーニング, 短縮性収縮, 伸張性収縮

## I. 緒 言

レジスタンストレーニングによって、筋肥大を最大限に引き起こすためには、短縮性収縮 (Concentric contraction : CON) 局面および伸張性収縮 (Eccentric contraction : ECC) 局面においてどの程度の動作速度が適切なのだろうか。アメリカスポーツ医学学会 (ACSM) では、CON局面およびECC局面ともにSlow (2-3秒) からModerate (1-2秒) にて実施することを推奨している (Ratamess,2009)。しかし、このガイドラインの科学的根拠となる論文数は少なく、動作速度のEvidence categoryは3段階評価の中で最も低い「C」評価となっている。BompaとBuzzichelli (2015) は、筋肥大を目的とした場合、CON局面においては低速度 (2-3秒) とし、ECC局面ではさらに遅い速度 (3-5秒) で実施することを推奨している。しかし、ECC局面をCON局面よりも低速度にて実施した方が筋肥大するという科学的根拠となる論文は彼らの書籍の中では明確に示されていない。

レジスタンストレーニングにおける動作速度が筋肥大に与える影響について、Schoenfeldら (2015) は、システマティック (系統的) レビューから、0.5秒から8秒の動作時間の範囲であれば筋肥大の程度に大きな差はないと結論づけている。しかし、このレビューにおいて抽出された8つの論文のうち

2つの論文においてBiopsyを用いた筋線維レベルの筋肥大について検討した論文が使用されている。レジスタンストレーニングによる筋線維レベルでの筋肥大は、全筋レベルの筋肥大と一致しないことが報告されている (Aagaardら, 2001; McCallら, 1996) ことを考慮すると、筋線維レベルと全筋レベルの筋肥大は分けて議論した方が妥当な結論が得られると考えられる。また、彼らのレビューでは、群間でトレーニング量が異なる研究も2つ含まれており、トレーニング量の違いが筋肥大に与える影響を除外できていないというリミテーションもある。

これに対して、Hackettら (2018) のシステムティックレビューでは、Schoenfeldら (2015) のトレーニング量が異なる論文が含まれている問題点を指摘する形でEligible criteriaを設定し検討している。その結果、大腿四頭筋のトレーニングにおいては高速度よりも中・低速度のトレーニングの方が筋肥大することを報告している。一方、上腕二頭筋のトレーニングの場合には、中・低速度よりも高速度の方が筋肥大するとしており、部位によって筋肥大に適切な動作速度が異なる可能性を示唆している。しかし、Hackettら (2018) が根拠としている論文のトレーニング負荷はすべて60%1RM未満であるため、一般的に用いられる筋肥大を目的とした負荷 (67%–85%1RM) でのトレーニング結果によるものではない。したがって、67%1RM以上の強度で実施した論文を含めた条件で再度検討する必要があると考えられる。また、Hackettら (2018) のレビューは6つの論文のうち3つの論文が高齢者を対象とした論文であるため、若齢者を対象とした論文のみを抽出したレビューをすることによってHackettら (2018) とは異なる結論が得られる可能性がある。

さらに、Schoenfeldら (2015) とHackettら (2018) のシステムティックレビューでは、CON局面とECC局面の動作速度を分けて検討しておらず、CON局面とECC局面の両方を遅い動作で実施するのがよいか、あるいはECC局面のみ遅い動作で行うことが効果的なのかについては明らかにされていない。レジスタンストレーニングに関するガイドラインでは (BompaとBuzzichelli, 2015; Ratamess, 2009), CON局面およびECC局面の動作速度が示されていることを考慮すると、各局面に分けて筋肥大に適切な動作速度を検討する必要があると考えられる。

以上のように、若齢者を対象としたレジスタンストレーニングにおいて、CON局面およびECC局面のトレーニングの動作速度が筋肥大及ぼす影響については未だ不明な点が残されている。そこで本研究は、文献レビューを通じて、若齢者を対象としたレジスタンストレーニングのCON局面およびECC局面の動作速度が筋肥大に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

## II. 方 法

本研究ではレジスタンストレーニングの中でもアイソトニック (等張性) トレーニングを用いた研究を調査対象論文とした。レジスタンストレーニングの動作速度が筋肥大や最大筋力に与える影響に関するレビュー論文 (Daviesら, 2017; Hackettら, 2018; PereiraとGomes, 2003; Schoenfeld, 2005, Schoenfeldら, 2015; Wernbomら, 2007) にて使用されている論文とその文献リスト、およびPubMedにて次のキーワードから検索した論文を調査対象とした (2019年11月23日時点)。キーワードは、'tempo' OR 'speed' OR 'slow' OR 'fast' OR 'velocity' OR 'cadence' OR 'duration' AND 'resistance

training' OR 'weight training' OR 'strength training' AND 'hypertrophy' OR 'muscle cross sectional area' OR 'muscle volume'とした。なお、抽出された研究論文のなかから、以下の条件に当てはまる研究は除外した。1) 介入群と比較対照群のトレーニング負荷が異なる研究 (Neilsら, 2005; Tanimotoら, 2008; Keelerら, 2001 など), 2) CON局面あるいはECC局面のどちらかの動作速度が両群ともに統一されていない研究 (Runaら, 2008; Gilliesら, 2006 など), 3) 比較対象群がない研究, 4) 50歳以上の被験者が含まれている研究 (Bottaroら, 2007; Claffinら, 2011; Diasら, 2015; Fieldingら, 2002; Nogueiraら, 2009 など), 5) 筋線維レベルでの肥大のみを観察した研究 (Schuenkeら, 2012 など), 6) 等速性 (アイソキネティック) トレーニングを用いた研究, 7) 査読付きの英語論文ではない研究 (Hisaedaら, 1996) である。

本研究は、光川 (2019) と同様に動作速度を短縮性収縮局面 (CON), 保持局面 (Pause局面), および伸張性収縮局面 (ECC局面) に分けて整理し、各局面における動作速度の違いによって以下の3つのカテゴリーに分類した。本研究における動作速度は、各論文で示されている動作時間から判断したものであり、表1における動作速度の列には動作時間の秒を表記している。動作時間が短い場合を動作速度が速いとし、動作時間が長い場合を動作速度が遅いとした。本論文では、各局面の動作時間が1秒以下を高速度 (Fast), 2秒を中速度 (Moderate), 3秒以上を低速度 (Slow) と定義した。表1において使用した論文のトレーニング強度は、論文内で〇〇RMとの表記されていた場合は、全米ストレングス&コンディショニング協会 (NSCA) のガイドライン (HaffとTriplett, 2018: p494) を用いてすべて〇〇%1RMに換算して表記を統一した。なお、表1にある「Failure」は持ち上がらなくなるまで動作を反復したことを意味している。

### 1. トレーニング動作全体 (CON局面+ECC局面) の動作速度に着目した研究

トレーニング動作全体の動作速度を変化させて比較検討した研究を1つのカテゴリーとしてまとめた。例えば、低速度群においてCON局面3秒ECC局面3秒、高速度の群ではCON局面1秒ECC局面1秒という条件で群分けした研究である。本研究において3つの論文が抽出された (Muunら, 2005; TanimotoとIshii, 2006; Usuiら, 2016)。

### 2. トレーニング動作のCON局面の動作速度に着目した研究

ECC局面は両群ともに同じ速度であるが、CON局面の動作速度を2つの速度条件で比較検討した研究を2つ目のカテゴリーとしてまとめた。例えば、CON局面において出来る限り素早い動作で行う群を高速度群 (ECC局面は2秒), CON局面を2秒で行う中速度群 (ECC局面は2秒) を比較する条件の研究である。本研究においては2つの論文が抽出された (LiowとHopkins, 2003; YoungとBilby, 1993)。

### 3. トレーニング動作のECC局面の動作速度に着目した研究

CON局面は両群ともに同じ速度であるが、ECC局面の動作速度を2つの速度条件で比較検討した

研究を3つ目のカテゴリーとしてまとめた。例えば、低速度群においてCON局面1秒ECC局面4秒、高速度の群ではCON1秒ECC1秒という条件の研究である。本研究において2つの論文が抽出された (Pereiraら, 2016; Shibataら, 2018)。

### Ⅲ. トレーニング動作全体の動作速度が筋肥大に与える影響

本研究の結果、トレーニング動作全体 (CON局面 + ECC局面) の動作速度を変化させて比較検討した研究が3つ抽出された (表1)。そのうち2つの論文において低速度群の方が高速度群と比べて有意に筋肥大の程度が大きかったことを報告している (TanimotoとIshii, 2006; Usuiら, 2016)。一方、Munnら (2005) は低速度群と高速度群ともに周径囲は有意に増加するが、両群間に差はみられなかったと報告している。このように、研究間で結果が異なった理由の1つに使用したトレーニング強度が影響していると考えられる。

TanimotoとIshii (2006) は、トレーニング習慣のない成人男性を対象に、レッグエクステンションを週3回12週間実施した際の大腿四頭筋の筋横断面積を検討した。トレーニングは50%1RMの強度にて高速度群 (8名) は8回3セット、低速度群 (8名) は持ち上がらなくなるまで反復するセットを3セット実施した。高速度群はCON局面およびECC局面をそれぞれ1秒にて実施し、低速度群はそれぞれ3秒かけて、かつ動作切り返し局面において1秒保持するトレーニングを実施した。その結果、低速度群の横断面積が5.4%有意に増加し、高速度群は有意な変化はみられなかった。また、Usuiら (2016) はトレーニング習慣のない成人男性を対象に、パラレルスクワットを週3回8週間継続した際の大腿前面の筋厚を測定した。トレーニング強度はTanimotoとIshii (2006) と同様の50%1RMであった。高速度群 (CON局面1秒ECC局面1秒) は10回を3セット、低速度群 (CON局面3秒ECC局面3秒) は持ち上がらなくなるまで行うセットを3セット実施した。その結果、TanimotoとIshii (2006) と同様に低速度群の筋厚が有意に増加し (6-10%)、高速度群は有意な変化はみられなかった。

TanimotoとIshii, (2006) およびUsuiら (2016) は、50%1RMを用いてトレーニングを実施しており、動作速度が高速度の群 (CON局面1秒ECC局面1秒) においては有意な筋サイズの増加は観察されていない。したがって、高速度群は筋肥大を起こすために十分なトレーニング刺激には達していなかったと考えられる。筋肥大を目的としたトレーニング強度は67%-85%1RMが推奨されており (HaffとTriplett, 2018), TanimotoとIshii (2006) やUsuiら (2016) の高速度群の結果は、HaffとTriplett (2018) のガイドラインを支持する結果となっている。一方、TanimotoとIshii (2006) やUsuiら (2016) の低速度群は、トレーニング強度が50%1RMにも関わらず筋肥大がみられている。これは動作速度を遅くすることで筋に負荷がかかる時間 (time under tension) が長くなり、結果として筋を肥大させるトレーニング刺激に達したと考えることができる。以上のことから、筋肥大を目的とした至適なトレーニング強度よりも低い場合 (50%1RMなど) においても、動作速度を遅くすることによって筋肥大を起こすことができるといえる。

一方、Munnら (2005) は、80-85%1RMのトレーニング強度にて実施しており、筋肥大を目的とし

Table 1. The effects of fast vs. moderate-slow isotonic resistance training on whole muscle hypertrophy

Category	Author (Year)	Group (N)	Sex	Repetition velocity			Measurement	Results	Between groups	Training								
				CON sec	Pause sec	ECC sec				Status	Exer.	Duration Weeks	Freq. Times/wk	Intensity %1RM/Con	Sets	Reps		
CON + ECC phase Fast vs. Slow	Munn et al. (2005)	Fast (23)	M 21	1	0	1	Circumf. Arm	1.4% ↑	NS	untrained	BC	7	3	80%-85%	1	Failure		
		Slow (23)	F 94	3	0	3	0		2.4% ↑									
	Munn et al. (2005)	Fast (23)	M 21	1	0	1	0	Circumf. Arm	0.7% ↑	NS	untrained	BC				3		
		Slow (23)	M 21	3	0	3	0		2.8% ↑									
	Tanimoto and Ishii (2006)	Fast (8)	M 8	1	0	1	0	MRI QF	NS	Fast < Slow	L.E	12	3	50%	3	8 (Fast)		
		Slow (8)	M 8	3	1	3	0		5.4% ↑								Failure (Slow)	
	Usui et al. (2016)	Fast (7)	M 7	1	0	1	0	Muscle Thickness RF Distal	NS	Fast < Slow	PSQ	8	3	50%	3	10 (Fast)		
		Slow (9)	M 9	3	0	3	0		10% ↑								Failure (Slow)	
	CON phase Fast vs. Slow	Liao and Hopkins (2003)	Fast (13)	M 9, F 4	max	0	~1.7	0.86	Circumf. Shoulder	1.4% ↑	NS	Trained (Kayak national level)	BP	6	2	80%	3	Failure
			Moderate (12)	M 9, F 3	~1.7	0	~1.7	0.86		1.1% ↑			DP					
Young and Bilby (1993)		Fast (8)	M 8	max	0	slow	0	Muscle Thickness RF	1.4% ↑	NS	untrained	HSQ	7.5	3	67%-80%	4	Failure	
		Slow (10)	M 10	slow	0	slow	0		1.5% ↑									
Pereira et al. (2016)		Fast (6)	M 6	1	0	1	0	Muscle Thickness BB	6.0% NS	Fast < Slow (ES)	Trained (1 year)	SC	12	2	80%	3	8	
		Slow (6)	M 6	1	0	4	0		17.0% ↑									
Shibata et al. (2018)	Moderate (11)	M 11	2	0	2	0	MRI QF Distal	5.3% ↑	NS	Untrained (University soccer player)	PSQ	6	2	75%	3	Failure		
	Slow (11)	M 11	2	0	4	0		(Average)										
							Middle	3.5% ↑	NS									
							Proximal	2.0% ↑	NS									
							(Average)	(Average)										

BB biceps brachial muscle, BC biceps curl, BP bench press, Circumf. Circumference, CON concentric, CSA cross sectional area, DP bilateral dumbbell prone lifts, ECC eccentric, ES effect size, Exer. exercise, F females, Freq. frequency, HSQ half squat, L.E leg extension, M males, MRI magnetic resonance imaging, NS not significant, N number, PSQ parallel squat, QF quadriceps femoris muscle, RF rectus femoris muscle, Reps repetitions, SC scott curl, VI vastus intermedius muscle, ↑ significant increase, < significant difference between groups

たガイドラインに示されている強度（67%–85%1RM）を満たした研究である。Munnら（2005）が用いた高速度群の動作速度（CON局面1秒ECC局面1秒）は、TanimotoとIshii（2006）やUsuiら（2016）と同様であるが、トレーニングによって周径囲は有意に増加している。つまり、Munnら（2005）のトレーニング強度がTanimotoとIshii（2006）やUsuiら（2016）よりも高かったため、高速度条件においても筋肥大を起こすために十分なトレーニング刺激となり、高速度群と低速度群の筋肥大の程度に有意な差が生まれなかったと考えられる。

以上のことから、トレーニング強度が50%1RM程度の場合は、全体の動作速度を遅くすることによって筋肥大効果が得られることが示された。一方、筋肥大を目的とした67%–85%1RMの強度では全体の動作速度を遅くした場合、高速度群と比べて筋肥大の程度が大きくなる訳ではないことが示された。したがって、トレーニング強度が低い場合にはCON局面およびECC局面ともに3秒程度かけてゆっくりとトレーニングすることが筋肥大に有効であり、67%–85%1RMの場合は、両局面1秒程度と3秒程度ともに同程度の筋肥大効果が期待できると考えられる。

#### IV. トレーニング動作のCON局面の動作速度が筋肥大に与える影響

ECC局面は両群ともに同じ速度であるが、CON局面の動作速度を2つの速度条件で比較検討した研究が2つ抽出された（表1；LiowとHopkins，2003；YoungとBilby，1993）。2つの論文ともにCON局面の動作速度の違いによって筋肥大に有意な群間差は認められなかった。LiowとHopkins（2003）は、カヤック競技の国内代表レベルの選手男女25名を対象に、CON局面をできる限り素早く実施する群（男性9名女性4名）と1.7秒で実施する群（男性9名女性3名）に分けて、週2回のトレーニング（ベンチプレス、ダンベルプローンリフト）を6週間継続した際の肩周りの周径囲を比較した。トレーニングは80%1RMの負荷を用いて持ち上げることができなくなるまで繰り返すことを3セット実施した。その結果、両群ともに有意に周径囲が増加したが、増加の程度に有意な群間差は観察されなかった。YoungとBilby（1993）は、トレーニング習慣のない男子大学生を対象にCON局面をできるだけ素早く実施する群（8名）と一定の低速度で実施する群（10名）に分けて、週3回のハーフスクワットトレーニングを7.5週間実施した際の大腿部前面の筋厚を測定した。その結果、両群ともに有意に増加したが、両群間に有意な差は見られなかった。以上の2つの知見から、CON局面をできる限り素早く実施するトレーニング方法によって筋肥大は生じるが、低速度で実施して得られる筋肥大効果と有意な差はないと考えられる。

一方、ECC局面の動作速度が両群において同一ではないが、CON局面を著しく低速度で実施したトレーニングを検討した報告がいくつかある（Ranaら，2008；Schuenkeら，2012；Neilsら，2005；Keelerら，2001）。例えば、Ranaら（2008）は、CON局面を10秒かけて実施する群（ECC局面は4秒）と1–2秒の群を比較した（ECC局面は1–2秒）。トレーニング種目はスクワット、レッグプレス、ニーエクステンションとして、6–10RMの負荷で3セットのトレーニングを週3回6週間実施した。その結果、両群ともに有意に除脂肪体重が増加しているが、群間差はみられなかった。Ranaら（2008）の結果は、CON局面の動作時間を10秒かけて実施する場合、1–2秒かけて実施する場合ともに筋肥

大の程度に差は生まれないことを示している。

以上のことから、CON局面の動作時間をできるだけ素早く実施するトレーニングや10秒程度で実施するトレーニングは、CON局面を2-4秒で実施する条件と比べて筋肥大の程度に有意な差は生まれないことが示された。

## V. トレーニング動作のECC局面の動作速度が筋肥大に与える影響

CON局面は両群ともに同じ速度であるが、ECC局面の動作速度を2つの速度条件で比較検討した研究は2つ抽出された(表1;Pereiraら, 2016;Shibataら, 2018)。1つはECC局面の動作が遅い群のみが筋肥大し(Pereiraら, 2016), もう一方は両群とも有意に筋横断面積が増加したが, 増加の程度に有意な群間差はみられていない(Shibaraら, 2018)。Shibataら(2018)は, 定期的なレジスタンストレーニング習慣のない大学サッカー選手を対象にECC局面の動作時間が2秒の群(中速度)と4秒の群(低速度)に分けて(CON局面は両群ともに2秒), 週2回のパラレススクワットを6週間継続した際の大腿四頭筋の筋横断面積を比較した。その結果, 両群ともに筋横断面積は有意に増加したが, 群間差は見られなかった。一方, Pereira(2016)は, 1年以上のトレーニング習慣のある成人男性を対象にECC局面の動作時間が1秒の群と4秒の群(CON局面は両群ともに1秒)に分けて, 週2回のスコットカール(アームカール)を12週間実施した際の上腕前面の筋厚を比較した。その結果, ECC局面4秒の群において, 有意に筋厚が増加し, ECC局面1秒の群では有意な増加はみられなかった。この結果からPereiraら(2016)は, ECC局面の動作時間が長いことが筋肥大に効果的であると結論づけている。これに対して, Shibataら(2018)は, Pereiraら(2016)の結果は, CONおよびECC局面合わせたtime under tensionの長さの違いが群間差を生んだ要因であり, 筋肥大にはECC局面のtime under tensionが長いことよりも, CONおよびECC局面合わせてのtime under tensionが長いことが筋肥大に影響する可能性を指摘している。

ECC局面のtime under tensionが筋肥大に与える影響を明らかにするためには, トレーニング動作トータルのtime under tensionを一定にして, CONとECC局面の動作時間の割合を変えた研究が必要である。Gilliesら(2006)は, 成人女性を対象に, CON局面2秒ECC局面6秒の群とCON局面6秒ECC局面2秒の群に分けて, 4種類の下半身を鍛えるトレーニングを週3回9週間実施した際の筋線維レベルの肥大を観察している。その結果, Type IIAの筋線維横断面積がCON局面6秒ECC局面2秒の群においてのみ有意に増加した。この結果を全筋レベルでの肥大にも反映すると仮定すると, CON局面の時間を長くすることが筋肥大の有効である可能性を指摘できる。しかし, McCallら(1996)は, レジスタンストレーニングによる筋線維レベルの肥大と全筋レベルでの肥大に相関がないことを報告していることから, 全筋レベルの筋肥大に対してCONとECC局面のトータルのtime under tensionが重要なのか, あるいはCONまたはECC局面のtime under tensionの違いが重要なのかについてはGilliesら(2006)の結果から結論づけることができない。

Pereiraら(2016)とShibataら(2018)のトレーニング条件を比較すると, トレーニング期間は, Pereiraら(2016)の研究は12週間であり, Shibataら(2018)は6週間とPereiraら(2016)の半分で

ある。また、実施したトレーニングはPereiraら(2016)は上半身の単関節運動(アームカール)であり、Shibataら(2018)は下半身の多関節運動(スクワット)によるトレーニングである。したがって、これら2つの論文を単純に比較してECC局面を低速度にて実施することが筋肥大に有効であるかを結論づけることは困難である。いずれにしても、現時点では、ECC局面を低速度で実施することによって顕著に筋肥大が生じるというエビデンスは十分に蓄積されているわけではない。

本研究のリミテーションとして、CON局面およびECC局面の動作速度をもとにカテゴリーに分けて検討したため、各カテゴリーの論文数が少なかった。そのため、被験者のトレーニング経験、トレーニング部位、トレーニング期間、筋サイズの測定方法などの影響について詳細に議論することが困難であった。これらの要因は本研究の結論に影響する因子であるため、今後これらの影響も検討した研究を多く蓄積することでこれらの因子の影響が明らかになるだろう。

## VI. 結 論

若齢者の筋肥大を目的としたレジスタンストレーニングの動作速度の論文についてレビューした結果、50%1RM程度のトレーニング強度の場合、CON局面およびECC局面それぞれ1秒にて実施するよりも3秒以上かけてゆっくりとした速度でトレーニングした方が筋肥大に効果的であることが示された。一方、筋肥大を目的としたトレーニング強度(67%-85%1RM)を用いた場合は、CON局面とECC局面両方を遅くする方法、CON局面のみを速くする方法ともに筋肥大の程度に有意な差が見られた論文はなく、各局面において1-3秒程度の動作時間であれば、筋肥大に大きな違いがないことが示された。ECC局面のみを遅くする方法については、一致した見解が得られておらず、様々なトレーニング条件を含めて更なる検証が必要である。

## 謝辞

本研究は、JSPS科研費JP17K01681の助成を受けたものである。

## 文献

1. 光川眞壽.(2019).「高齢者のレジスタンストレーニングにおける動作速度が筋肥大および筋機能に与える影響」『東洋学園大学紀要』27: 215-227.
2. Haff G, Triplett NT. (2018).「ストレングストレーニング&コンディショニング(第4版)」篠田 邦彦・岡田 純一 監修, ブックハウスHD(原著2017)
3. Aagaard P, Andersen JL, Dyhre-Poulsen P et al. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol* 534: 613-623.
4. Bompa T and Buzzichelli CA. (2015). Manipulation of training variables, Chapter 8, Periodization training for sports (3rd edition), Champaign, Human Kinetics.
5. Bottaro M, Machado SN, Nogueira W, et al. (2007). Effect of high versus slow-velocity resistance



- training on muscular fitness and functional performance in older men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 99: 257-264.
6. Clafin DR, Larkin LM, Cederna PS, et al. (2011). Effects of high- and low-velocity resistance training on the contractile properties of skeletal muscle fibers from young and older humans. *J Appl Physiol* (1985), 111: 1021-1030.
  7. Davies T, Orr R, Halaki M, et al. (2016). Effect of training leading to repetition failure on muscular strength: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 46: 487-502.
  8. Dias CP, Toscan R, de Camargo M et al. (2015). Effects of eccentric-focused and conventional resistance training on strength and functional capacity of older adults. *Age (Dordr)*, 37: 99.
  9. Fielding RA, LeBrasseur NK, Cuoco A, et al. (2002). High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *J Am Geriatr Soc*, 50: 655-662.
  10. Gillies EM, Putman CT, Bell GJ. (2006). The effect of varying the time of concentric and eccentric muscle actions during resistance training on skeletal muscle adaptations in women. *Eur J Appl Physiol*, 97: 443-453.
  11. Hisaeda H, Nakamura Y, Kuno S et al. (1996). Effect of high-speed resistance training on muscle cross-sectional area and speed of movement. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 45: 345-356.
  12. Keeler LK, Finkelstein LH, Miller W, et al. (2001). Early-phase adaptations of traditional-speed vs. superslow resistance training on strength and aerobic capacity in sedentary individuals. *J Strength Cond Res*, 15: 309-314.
  13. Liow DK, Hopkins WG. (2003). Velocity specificity of weight training for kayak sprint performance. *Med Sci Sports Exerc*, 35: 1232-1237.
  14. McCall GE, Byrnes WC, Dickinson A. et al. (1996). Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *J Appl Physiol*, 81: 2004-2012.
  15. Munn J, Herbert RD, Hancock MJ, et al. (2005). Resistance training for strength: effect of number of sets and contraction speed. *Med Sci Sports Exerc*, 37: 1622-1626.
  16. Neils CM, Udermann BE, Brice GA, et al. (2005). Influence of contraction velocity in untrained individuals over the initial early phase of resistance training. *J Strength Cond Res*, 19: 883-887.
  17. Nogueira W, Gentil P, Mello SN, et al. (2009). Effects of power training on muscle thickness of older men. *Int J Sports Med*; 30: 200-204.
  18. Pereira MIR and Gomes PSC. (2003). Movement velocity in resistance training. *Sports Med*, 33: 427-438.
  19. Pereira PEA, Motoyama YL, Esteves GJ, et al. (2016). Resistance training with slow speed of movement is better for hypertrophy and muscle strength gains than fast speed of movement. *Int J Appl Exerc Physiol*, 5: 37-43.
  20. Rana SR, Chleboun GS, Gilders RM, et al. (2008). Comparison of early phase adaptations for traditional strength and endurance, and slow velocity resistance training programs in college-aged women. *J Strength Cond Res*, 22: 119-127.
  21. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, et al. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 41: 687-708.
  22. Schoenfeld BJ. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res*, 24: 2857-2872.
  23. Schoenfeld BJ, Ogborn DI, Krieger JW. (2015). Effect of repetition duration during resistance training on muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 45: 577-585.
  24. Schuenke MD, Herman JR, Gliders RM, et al. (2012). Early-phase muscular adaptations in response to slow-speed versus traditional resistance-training regimens. *Eur J Appl Physiol*, 112: 3585-3595.

25. Tanimoto M and Ishii N. Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. (2006). *J Appl Physiol*, 100: 1150-1157.
26. Tanimoto M, Sanada K, Yamamoto K, et al. (2008). Effects of wholebody low-intensity resistance training with slow movement and tonic force generation on muscular size and strength in young men. *J Strength Cond Res*, 22: 1926-1938.
27. Usui S, Maeo S, Tayashiki K, et al. (2016). Low-load slow movement squat training increases muscle size and strength but not power. *Int J Sports Med*, 37: 305-312.
28. Watanabe Y, Madarame H, Ogasawara R, et al. (2014). Effect of very slow-intensity resistance training with slow movement on muscle size and strength in healthy older adults. *Clin Physiol Funct Imaging*, 34: 463-470.
29. Watanabe Y, Tanimoto M, Ohgane A, et al. (2013). Increased muscle size and strength from slow-movement, low-intensity resistance exercise and tonic force generation. *J Aging Phys Act*, 21: 71-84.
30. Wernbom M, Augustsson J, Thome R. (2007). The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Med*, 37: 225-264.
31. Young WB, Bilby GE. (1993). The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development. *J Strength Cond Res*, 7: 172-178.