©NSCA JAPAN
Volume 28, Number 8, pages 72-79

Key Words【筋：muscle、ストレングス＆コンディショニング：strength and conditioning、筋肥大：hypertrophy、ウエイトリフティング：weightlifting、レップ速度：rep speed、遅いレップ：slow repetition】

レジスタンストレーニングにおける遅いレップ速度は、伝統的な速度と同等の筋肥大および筋力向上をもたらすことが可能か？

Can Resistance Training at Slow Versus Traditional Repetition Speeds Induce Comparable Hypertrophic and Strength Gains?

Amichai Lyons, B.S.　**James R. Bagley,** Ph.D.
Muscle Physiology Laboratory, Department of Kinesiology, San Francisco State University, San Francisco, California

要約

レジスタンストレーニングにおける力と速度の関係は、筋力と筋肥大の向上を左右する可能性がある。レップの持続時間（短縮性、伸張性、および静止局面にかかる時間）を操作することで、力または速度の向上を最大化することができる。本レビューの結果から、トレーニング初心者と経験者のいずれにおいても、異なるレップ持続時間は筋力や筋肥大に同等の変化をもたらすと考えられる。しかし、比較的高速のレップ持続時間のほうが、筋力およびパワーの指標の増大効果においてわずかに上回る可能性があり、トレーニング経験者にはより効果的と考えられる。非鍛錬者への影響は小さいが、レップ持続時間の操作は、競技への転移効果を最大化する目的でトレーニングを行なうアスリートにとって重要である可能性がある。

序論

レジスタンストレーニングにおけるレップ持続時間が筋肥大および筋力に及ぼす影響を調査する研究が、ストレングス＆コンディショニング（以下S&C）の分野において行なわれている（6,7,9,18,22）。戦略的に計画されたS&Cプログラムにおいて操作される変数は一般的に、強度（相対的負荷、すなわち％1RM［1RM：1回最大挙上重量］）、量（セット数×レップ数）、およびエクササイズの種類（例：スクワットかレッグプレスか）である。しかし、レップ持続時間の自発的な操作は、レジスタンストレーニングプログラムを計画する際に見落とされがちな変数のひとつである。レップ持続時間は、短縮性筋活動と伸張性筋活動、および短縮性と伸張性局面の前後の静止を合わせた時間（単位：秒）に相当する。レップ持続時間に焦点を当てた研究は増えているが（5,18,22,30）、現在までに発表された研究は比較的少なく、そのデータは有意義ではあるものの、異なるレップ持続時間のプロトコルがもたらす効果について決定的な結論を導き出すのに十分な量ではない。本レビューでは、低速のレップ持続時間のプロトコルを採用した査読つき学術論文19件の概要を示し、特に低速のレップ持続時間と伝統的なレップ持続時間を用いたレジスタンストレーニングを実施後、筋肥大および筋力に生じた向上の比較に重点を置いて取り上げる**（表1、2）**。

レップ持続時間に関する研究は、方法に大きなばらつきがみられたが、本稿においてはデータを集約して3つの異なる介入群の作成を試みた。伝統的レジスタンストレーニング（TT）は、レップ持続時間（短縮性局面と伸張性局面の合計）が＜4秒のものと定義する。低速のレップ持続時間を用いたトレーニングは、次の2つのカテゴリーに分類する。低速トレーニング（SLT）は、短縮性局面と伸張性局面のいずれか、または両方が2～6.5秒で、合計レップ持続時間が4～13秒のもの、また超低速トレーニング（SST）は、少なくともひとつの局面が速度≧10秒、または合計レップ持続時間が≧14秒となるもの（例：10秒の短縮性局面と4秒の伸張性局面で合計レップ持続時間が14秒）とする。なお、本レビューに採用した研究は、介入に様々なレジス

表1　レップ持続時間が筋力と筋肥大に及ぼす影響：トレーニングを行なっている被験者			
研究	被験者	介入／観察	重要な結果
Carlsonら(5)	>6ヵ月のレジスタンストレーニングを行なっている男女	(a)2秒のcon、4秒のecc (b)10秒のcon、10秒のecc (c)30秒のcon、30秒のiso、30秒のecc	トレーニングに用いたすべてのエクササイズにおいて筋力が有意に増加。 群間差なし。
Fischerら(7)	>6ヵ月のレジスタンストレーニングを行なっている男女	(a)eccのみ (b)レップ持続時間を長くしたecc (c)伝統的なレップ持続時間	すべての群およびエクササイズで筋のパフォーマンスにおける効果量は中～大(0.75～2.00)。
Hatfieldら(10)	レジスタンストレーニングを行なっている男性	(a)非常に低速(10秒のcon、10秒のecc) (b)自発的なレップ持続時間(自己ペース)	非常に低速のレップ持続時間では、筋力および競技パフォーマンスを最適化するレベルの力またはパワーは発揮されない可能性。
Ideら(11)	≧7年のレジスタンストレーニングを行なっている男性	(a)低速(6秒でconおよびecc局面を完了) (b)高速(1.5秒でconおよびecc局面を完了)	動作速度は短期的な筋力およびパワー発揮能力に直接的な影響を及ぼす可能性。
Keoghら(14)	レクリエーションレベルのトレーニングを行なっている男性	7種類のレジスタンストレーニングプロトコルをHWTと比較	超低速＝低レベルの力発揮。 超低速のTUTはHWTを有意に上回った。
Neilsら(16)	3ヵ月のレジスタンストレーニングを行なっている男女	(a)10秒のcon、5秒のecc (b)2秒のcon、4秒のecc	両群ともベンチプレスとスクワットの1RMが有意に増加。 (b)群はピークパワーが増加、(a)群は増加せず。
Pareja-Blancoら(17)	レジスタンストレーニングを行なっている男性	(a)最大速度を意識したcon局面を全レップで実施 (b)最大速度の半分を意識したcon局面を実施	最大速度のほうが、競技パフォーマンスに有益な適応を引き起こす効果の高い刺激をもたらす可能性。
Pereiraら(18)	≧12ヵ月のレジスタンストレーニングを行なっている人	(a)1秒のcon、1秒のecc (b)1秒のcon、4秒のecc	群間に有意差なし。 (b)群のトレーニングのほうが、トレーニングを積んだ成人において筋肥大および筋力向上をもたらす効果が高かった。
Tranら(29)	≧12ヵ月のレジスタンストレーニングを行なっている男性	(a)5秒のcon、2秒のecc (b)2秒のcon、2秒のecc (c)10秒のcon、4秒のecc	3つのプロトコルすべてでトレーニング直後のiEMGの数値が有意に低下。群間に有意差なし。

con＝短縮性局面、ecc＝伸張性局面、HWT＝高重量トレーニング、iEMG＝積分筋電図、iso＝等尺性局面、RM＝最大反復回数、TUT＝筋の緊張時間

タンストレーニング様式を用いている(ノーチラス系のレジスタンストレーニング機器、フリーウェイト、レッグプレスマシーンなど)。

トレーニングを行なっていない被験者：遅いレップ速度を用いたトレーニング

先行研究においては、レジスタンストレーニングの経験がない被験者の場合、幅広いレップ持続時間において筋力および筋肥大が増加したことが示唆されている(2,17,24,34)。トレーニングを行なっていない女性を対象としたいくつかの研究において、SST、SLT、およびTTのレップ速度プロトコルを用いたレジスタンストレーニングを実施後、筋力および筋肥大の増加を示した(13,25)。それまで非活動的であった女性がSSTまたはSLTプロトコルを用いてトレーニングを実施したところ(13)、トレーニングに用いたすべてのエクササイズにおいて筋力が有意に増加し、群間に有意差はみられなかった。ただしSLTトレーニング群は、エクササイズ8種目のうち5種目において、介入前後のテストで評価した1RMの増加率がSST群を上回った**(図A)**。また、すべてのエクササイズにおいて、SLT群の量-負荷はSST群を有意に上回った(前者が39%、後者が15%)。

また別の研究では、4つの異なる群、すなわちSST群、2種類のトレーニング負荷を用いるTT群、およびエクササイズを実施しない対照群について、トレーニング前後の筋線維横断面積(CSA)を調査した(25)。介入群のうち2つがすべての筋のCSAを有意に増加させ、高強度TT群は38%、SST群は10%の増加を示した。2つの群のうち、高強度TT群における筋線維CSAの増加はSST群を上回ったが、群間差は統計的に有意でなかった。興味深いことに、SSTトレーニングでは速筋線維(タイプⅡaとタイプⅡx)のCSAのみが増加した。以上の両研究とも、全体的な傾向としては、筋力と筋肥大の増加はプロトコル間で同等であった。

トレーニングを行なっていない男性を対象に、SST、SLT、およびTTのレップ速度プロトコルを取り入れた研究では、いずれもプロトコル間で同等の結果が得られた。3件の研究では、高齢者を対象に、介入前後の1RMエクササイズを評価することで筋力の変化を測定した(1,31,32)。すべての研究において、SLT群とTT群では、トレーニングに用いた全エクササイズにおける筋力が有

表２　レップ持続時間が筋力と筋肥大に及ぼす影響：トレーニングを行なっていない被験者

研究	被験者	介入／観察	重要な結果
Bottaroら（1）	非活動的な男性	(a)60％１RMのセットをできるだけ高速で実施 (b)60％１RMのセットを各２～３秒のconおよびeccで実施	筋力において群間に有意差なし。 (a)群が(b)群をベンチプレスの１RM（37％と13％）、およびレッグプレス（31％と8％）の増加率で上回った。
Keelerら（13）	非活動的な女性	(a)４秒のcon、２秒のecc (b)10秒のcon、５秒のecc	両群とも筋力が有意に増加。 (a)群が(b)群の増加率をベンチプレス（34％と11％）とレッグプレス（33％と7％）で上回った。
Schuenkeら（25）	介入前の≧6ヵ月エクササイズプログラムを行なっていない女性	(a)10秒のcon、４秒のecc (b)６～10RMで１～２秒のcon、１～２秒のecc (c)20～30RMで１～２秒のcon、１～２秒のecc	(a)群の適応反応が、同様の負荷で「通常の」速度を用いるトレーニングを上回った。 全体的な筋肥大は(b)群と(c)群が最大。
Tanimotoら（27）	レジスタンストレーニング未経験の男性	(a)３秒のcon、３秒のecc (b)１秒のcon、１秒のecc	両群ともCSAおよび等尺性筋力が有意に増加。
Tanimotoら（28）	レジスタンストレーニング未経験の男性	(a)３秒のcon、３秒のecc (b)１秒のcon、１秒のecc	両群とも全身の筋厚および１RM筋力が有意に増加。
Usuiら（30）	身体活動の習慣はあるが、体系的なレジスタンストレーニングを過去１年間行なっていない人	(a)３秒のcon、３秒のecc (b)１秒のcon、１秒のecc	(a)群のプロトコルでは筋サイズと課題関連筋力が増加したが、爆発的動作におけるパワー発揮への効果は限定的。
Watanabeら（31）	活動的であるがレジスタンストレーニングを行なっていない男女	(a)３秒のcon、３秒のecc、１秒のiso (b)１秒のcon、１秒のecc、各レップ後に１秒の休息	(a)群は大腿部の筋厚および等尺性筋力が有意に増加。 (b)群は筋力が有意に増加したが、筋肥大効果は限定的。
Watanabeら（32）	トレーニングを行なっていない男性	(a)３秒のcon、３秒のecc、１秒のiso (b)１秒のcon、１秒のecc、各レップ後に１秒の休息	(a)群は大腿四頭筋のCSAおよび等尺性筋力が増加。 (b)群は筋サイズは増加しなかったが、等尺性筋力が有意に増加。
Westcottら（33）	トレーニングを行なっていない、レジスタンストレーニング未経験の男女	(a)７秒のcon＋eccからなるレップ (b)10秒のcon、４秒のecc	(a)群は10RMが８kg増加。 (b)群は５RMが12kg増加。
Youngら（34）	トレーニングを行なっていない男性	(a)自由選択による高速の短縮性局面 (b)自由選択による低速の短縮性局面	両群とも筋力の指標が有意に増加。群間に有意差なし。 力の立ち上がり率の最大値において高速群（68.7％）が低速群（23.5％）の増加率を上回った。 等尺性の絶対筋力において低速群（31％）が高速群（12.4％）の増加率を上回った。 筋肥大の増加率は両群で同等。

con＝短縮性局面、ecc＝伸張性局面、iso＝等尺性局面、CSA＝横断面積、RM＝最大反復回数

意に増加し、筋力の指標の増加に群間で統計的差異はみられなかった（８～28％）。ただし、うち１件の研究では、高速TT群（短縮性局面を可能なかぎり高速で実施）が中速TT群（レップ持続時間が２～３秒）を、介入後テストのパワーの増加率において上回った（レッグプレスが8％および31％、チェストプレスが13％および37％）（1）。

若年のトレーニングを行なっていない男性を対象とした研究においても、**図A**に示すように、筋力および筋肥大が同等に向上した。３件の研究では、SLTおよびTTプロトコルが１RMにもたらす効果を測定した結果、トレーニング後の筋力（９～41％）および筋肥大（1.4～5.4％）の増加は同等であった（26,28,34）。注目すべき点として、うち１件の研究では、TTプロトコルが力の立ち上がり率の最大値（パワーの指標）を68.7％増加させたのに対し、SLT群における同指標の増加率は23.5％に留まった。ただし同研究では、SLT群における１RM筋力の増加はTT群と同等であり、それぞれ22.5％および21％の増加がみられた（34）。さらに４件目の研究では、SSTおよびSLTプロトコルの効果を測定した結果、筋力の指標に群間で有意差がみられた。SST群は介入後の測定においてSLT群を50％上回る向上を示したが、両群とも筋力の向上は有意であった（58％および39％）（33）。

筋肥大効果のみに焦点を当てた２件の研究では、SLT群において筋のCSAおよび筋全体の筋厚が有意に変化し

た一方、TT群には変化がみられなかった(31,32)。ただし、両研究とも非従来的な低負荷(30％1RMおよび50％1RM)を使用し、総レップ数を群間で調整していた。負荷が群間で一定に保たれていたことから、SLT群は筋肥大の刺激をもたらすのに十分な筋の緊張時間を得た可能性がある一方(4)、TT群が得た全体的な刺激はそれを下回った。

以上をまとめると、トレーニングを行なっていない人においては、**図A**に示すように、様々なレップ持続時間を用いたレジスタンストレーニングの結果、筋力および筋肥大が有意に増加することを先行研究は示唆している。筋肥大や筋力の向上において、1つのプロトコルが他の2つに比べて有意に効果的であったと結論づけることは困難であるが、SST、SLT、およびTTの各プロトコルは、トレーニングに用いたそれぞれのレップ持続時間に関連のある特性への優位性を示した(すなわち、TTプロトコルはSSTまたはSLTに比べて大きなパワー発揮をもたらす傾向がみられた)。

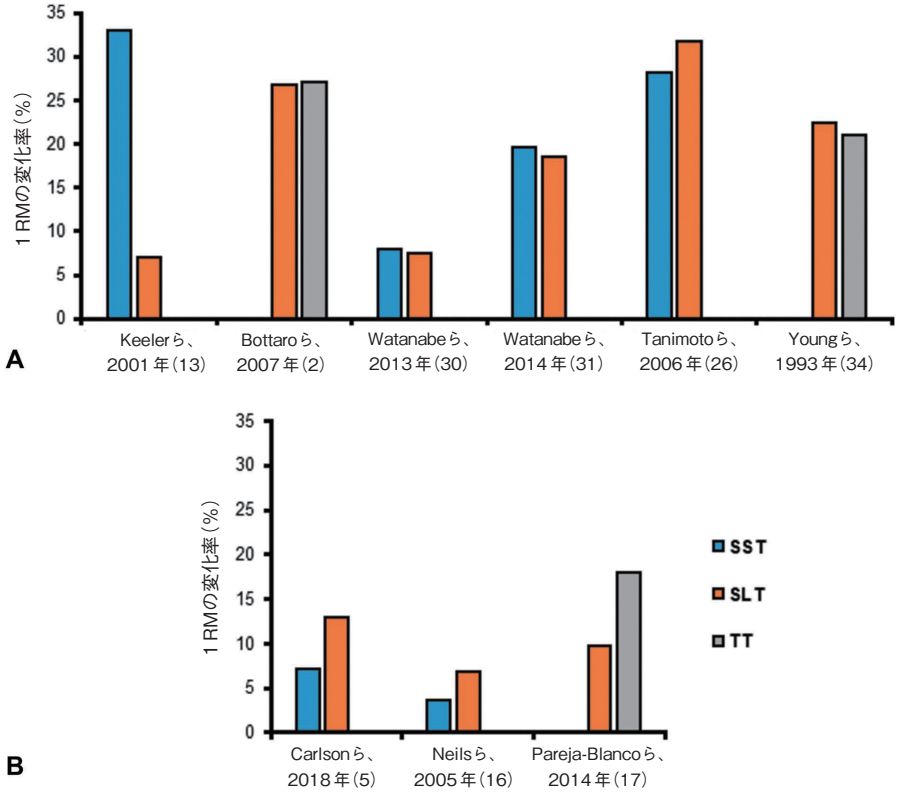

図　介入前後の測定における下半身エクササイズ(スクワット、レッグプレス、またはニーエクステンション)の1回最大挙上重量(1RM)の向上。(A)トレーニングを行なっていない被験者を対象とした6件の研究。(B)トレーニングを行なっている被験者を対象とした3件の研究。SST＝少なくともひとつのエクササイズ局面(短縮性または伸張性局面)の持続時間が≧10秒、または合計レップ持続時間が≧14秒、SLT＝短縮性局面と伸張性局面のいずれか、または両方が2～6.5秒で、合計レップ持続時間が4～13秒、TT＝レップ持続時間(短縮性局面と伸張性局面の合計)が＜4秒

トレーニングを行なっている被験者：遅いレップ速度を用いたトレーニング

いくつかの観察研究が、レジスタンストレーニングの経験を有する被験者を対象に、SST、SLT、およびTTトレーニングプロトコルが力発揮および筋疲労にもたらす短期的作用を調査している(10,11,14,29)。筋力や筋肥大における変化の直接的な指標ではないが、これらの研究では、各プロトコルがそのような変化を引き起こす上で適切なトレーニング刺激をもたらすか否かが検証された。5種類の異なるレップ速度のTTプロトコル、ならびに1種類のSLTプロトコルを、高重量トレーニング(自発的なレップ速度で6RM)と比較したところ、SLTプロトコルおよび低速TTプロトコルにおいては、エクササイズ中に発揮される力とパワーが有意に低かった(14)。レップ速度を自発的に遅くすると、(筋の緊張時間の増加が疲労に繋がるため)負荷を減らす必要が生じる可能性があり、その結果、筋力と筋肥大を向上させるトレーニング刺激の強度が低下する。伝統的な高重量トレーニングのプロトコルでは、自由選択による一般的に短いレップ持続時間が求められる傾向にあり、アスリートやトレーニング経験者にとって、より優れたトレーニング刺激となる可能性が高い。

同様の結果は、SSTとTTの力発揮を比較した研究においても報告されている。TTプロトコルのトレーニングにおける力発揮はSSTプロトコルを有意に上回り、80％1RMスクワットにおいて2.3倍の力を発揮した(10)。また疲労に焦点を当てた研究では、SLTおよびTTトレーニングの実施後における回復の時間経過を測定した。低速のレップ持続時間において観察された疲労に比べて、高速のレップ持続時間のほうが全体的な筋疲労がより大きく、かつ長時間継続した。これを踏まえて同研究では、高速のレップ持続時間のほうが筋の成長にとって優れた刺激であると結論づけている(11)。

また別の研究では、1つのSLT群と2つのSST群(高負荷群と低負荷群)を比較した(29)。負荷を均等化した場合、筋疲労は遅いレップ群においてより大きくなったが、筋の緊張時間(レップ持続時間により決定)で均等化した場合には、高負荷群における筋疲労のほうが大きくなった。このことは、筋の緊張時間が負荷と同程度の強い刺激

であることを示唆しているが、この研究が用いた負荷は、伝統的なストレングストレーニングで使用される負荷より低かった可能性がある。十分な高負荷を用いていれば、負荷を操作せず筋の緊張時間を相応に増加させた場合よりも大きな筋疲労を引き起こした可能性が考えられる。

レジスタンストレーニングを行なっている人を対象にした場合も、やはり異なるレップ持続時間は介入後の筋力を同等に向上させた。しかし先行研究は、高速のレップ持続時間のほうがパワー発揮能力に有益であり、全体的なレジスタンストレーニング刺激として効果が高い可能性を示している。2件の研究が、トレーニングを行なっている人を対象とした実験のデザインにSSTプロトコルを採用している(5,16)。SSTの異なるプロトコル同士、およびそれらとSLT群が、介入前後の筋力の指標において比較された。筋力の有意な増加が両プロトコルを用いた介入後に認められ、また**図B**に示すように、群間で統計的差異はみられなかった。なおこの研究は、SSTトレーニングを専門とするトレーニング施設で実施され、その施設でトレーニングを行なっている人を被験者に採用している(5)。2件目の研究でも同様に、各群において有意かつ同等の筋力の増加がみられた。トレーニング後、SLT群は筋力の増加率がSST群をわずかに上回ったが(スクワットが6.8%と3.6%、ベンチプレスが9.1%と8.6%)、群間で統計的差異はみられなかった。またパワーの指標においては、SLT群がSST群を有意に上回り(スクワットジャンプが7%と3%の増加、カウンタームーブメントジャンプが7%と2%の増加)、ここでも高速のレップ持続時間とパワーパフォーマンスの関連性が示唆されている(16)。

3件の研究では、トレーニングを行なっている人を対象に、SLTおよびTTの介入を比較した(7,17,18)。3件のうち2件の研究では、両介入において有意かつ統計学的に類似した筋力の増加がみられた。うち1件の研究では、SLT群のほうが効果量が大きく、もう1件では、TT群のほうが1種類のエクササイズにおいて効果量が大きかった(7,18)。3件目の研究では、TT群の筋力増加がSLT群を上回った(17)。しかし、SLT群は特定のプロトコルに統一されていたわけではなく、各自が半分の速度でレップを実施するように指示されており、この速度は被験者によって異なっていた。TT群はまた、パワーの指標においてもSLT群を上回った。

レビュー論文：遅いレップ速度を用いたトレーニング

近年の2件のレビュー論文では、先行研究のデータを分析し、レップ持続時間が筋力と筋肥大に及ぼす影響についての現時点での実践的思慮をまとめている(6,24)。2017年のDaviesら(6)によるメタ分析およびレビューでは、レジスタンストレーニング中の動作速度をレップ持続時間によって変動させた15件の実験研究のデータを統合している。異なるレップ持続時間のプロトコルが、筋力にどのような影響を及ぼすかを検証するのが目的であった。その結果、速い動作速度と中程度～遅い動作速度(高速のレップ持続時間と中速～低速のレップ持続時間に相当)では、両方とも筋力が有意に向上していた。しかし、データ分析において中強度のエクササイズを抜き出してみると、単一の差別化要因が浮かび上がった。60～79%1RM強度においては、速い動作速度のほうが中程度～遅い動作速度に比べて筋力向上の効果が大きく、同レビュー論文ではこれを踏まえて、速い動作速度と中程度～遅い動作速度はいずれもトレーニング状態にかかわらず筋力向上に適切な刺激であったものの、速い動作速度のほうが中程度～遅い動作速度に比べてわずかではあるが意味のある優位性を示したと結論づけられた。

2015年のSchoenfeldら(24)によるメタ分析およびレビューでは、レップ持続時間と筋肥大の関係を検証した8件の実験研究のデータを統合した。その結果、0.5～8秒のレップ持続時間(レジスタンスエクササイズにおける短縮性、伸張性、および等尺性筋活動の合計時間)は、統計学的に類似した結果を筋肥大反応にもたらすことが明らかになった。また、レップ当たり10秒を超える非常に低速のレップ持続時間については、筋肥大の刺激として劣っているという限られた証拠が得られた。しかし、同レビューの採用ガイドラインを満たす適切な比較研究が不足していたため、決定的な結論は得られず、非常に低速のレップを調査したさらなる研究が必要であることが示唆された。

遅いレップ速度を用いたトレーニングが筋肥大に及ぼす影響

筋肥大は、筋線維がCSA(並列に並んだサルコメア[筋節])、あるいは長さ(直列に並んだサルコメア)を増加させることで生じる。筋線維は力学的負荷を受けることで成長し(3)、それが一連の生理学的応答を引き起こす結果、タンパク質合成速度が上昇し、ひいてはサルコメアおよびクロスブリッジの形成能力が増加する。本レビューの結果は、レップ持続時間の違いにかかわらず筋肥大の効果は同等であることを示している(24,25,27,34)。筋肥大が力学的負荷に依存し、異なるレップ持続時間によって有意に変動しないとするなら、レップ持続時間は力学的負荷に影響を及ぼさないとの推測は成り立つだろうか？

力学的負荷は、挙上重量と個々の筋線維に生じる疲労レベルの両方に関連している。低～中負荷を挙上する場合、最初は低閾値の運動単位が課題の遂行

に動員される。低閾値の運動単位に関連する筋線維が疲労すると、引き続き重量を動かすために高閾値の運動単位が動員される(15)。高閾値の運動単位が支配する筋線維は、低閾値の運動単位に比べてはるかに数が多く、トレーニングによって成長する能力が高い(20)。また高負荷を挙上する際は、高閾値の運動単位が直ちに重量を動かすために動員される。したがって、高閾値の運動単位がトレーニング負荷の下で刺激されるかぎりにおいて、負荷とレップ持続時間はいずれも単独で筋肥大に影響を及ぼすことはないと考えられる。それ以上レップを繰り返せなくなる状態を目指してセットを実施すると、筋肥大を刺激するレップを実施している可能性が高まる(26)。筋肥大の刺激を生じさせるには、一時的な筋の疲労困憊(主働筋が急性疲労を起こし、それ以上レップを適切なフォームで重ねられなくなる状態)、あるいはなるべくその付近までトレーニングを実施することが重要になるとみられる。

低速のレップ持続時間を用いる場合、セットの遂行中に代謝ストレスが増加するため、一般的に重量を減少させる必要がある。外的負荷が減少することから、これは筋肥大にとってやや問題である。しかし中負荷を用いると、低閾値の運動単位がセットの前半で疲労する(10RMのセットであれば5レップ目)。セットを継続するために、その後は高閾値の運動単位が動員されるが(6～10レップ目)、セット前半のレップで生じた疲労のために、重量は引き続きゆっくりと動かすことになる(26)。クロスブリッジの形成は、力-速度曲線によって説明されるとおりに最大化され(収縮速度が遅いほど大きな力が発揮される)(19)、また筋肥大を刺激するレップは、高閾値の運動単位が動員された場合に実施される。高閾値の運動単位を刺激するレップの回数を最大化することが、筋肥大の刺激を最大化することに繋がる。セットが一時的な筋の疲労困憊まで遂行された場合、そのセットにおいて筋肥大を刺激するレップが最大回数実施されたとみなすことができる(26)。

より伝統的なレップ持続時間においては、低速のレップ持続時間を用いる場合に比べて負荷は大きくなると考えられる。これは個々の筋線維に加わる力学的負荷を増大させ、また高閾値の運動単位をより早期に刺激する。高負荷トレーニングが同じく一時的な筋の疲労困憊まで遂行された場合、やはり筋肥大を刺激するレップが最大回数に達する可能性が高い。初期のレップが高速で実施されたとしても、筋疲労が生じるセット終盤に入ると、残りのレップは低速で実施される。これは、筋が能力の最大限に近い力を発揮した結果である。最初にどのようなレップ持続時間を用いたとしても、一時的な筋の疲労困憊まで遂行されるセットの場合、終盤のレップでは力-速度曲線が定める原理に従い、動作速度が低下して最大レベルの力が発揮される(12)。

以上のことから、筋肥大はレップ持続時間に関連していないとみられる。それ以外の要因、例えば筋肥大を刺激するレップがセットにおいて実施されたか否か(26)、あるいは総トレーニング量(23)のほうが重要な影響を及ぼすと考えられる。

遅いレップ速度を用いたトレーニングが筋力に及ぼす影響

簡潔に説明すると、筋力とは力発揮の尺度である。しかし筋力、ひいては力発揮は、状況特異的なものである。例えば、負荷を用いたスクワットは力発揮のひとつの指標であるが、垂直跳びもまた下半身における力発揮の指標である。それなら、スクワットで500ポンド(約230kg)を挙上するパワーリフティング選手は、スクワットをほとんど実施しないバスケットボール選手より高く跳躍することができるのだろうか？　それはまず考えられない。「筋力の特異性」というレジスタンストレーニングの原理は、本レビューにおける筋力向上の結果が示す傾向を説明するのに役立つ。レップ速度と筋力向上の相互作用を評価した研究の大半において、すべての群が筋力を有意に増加させており、群間で有意差はみられなかった(1,5,13,16–18,25,27,28,31,32,34)。しかし一方で、パワーの指標における効果量や、もたらされたトレーニング刺激の程度は、比較的速いレップ速度を用いた群のほうが大きい傾向を示した(1,6,10,11,13,14,16,18,25)。

高速のレップ持続時間(ただし、パワー向上に特化したトレーニングほど高速ではない)が、自発的に低速のレップ持続時間に比べて筋力向上に有益な効果をもたらしうるのはなぜか？　高負荷の使用は筋腱複合体に大きな刺激をもたらし、筋線維と結合組織の両方に適応を引き起こして最大の力発揮を増大させる(2,21)。負荷が軽くなると、最大の力発揮に対する刺激も低下する。自発的に低速のレップ持続時間は、筋の緊張時間が長くなることでエクササイズ中に代謝産物が蓄積し、筋疲労を引き起こすため、速い／伝統的なレップ持続時間(ただし、パワー向上に特化した最大または最大に近い速度ではない)を用いることは、負荷の最大化を可能にする。さらには低速で伸張性局面を実施すると、個々の筋線維に大きな疲労効果をもたらし、それらが伸張性動作において力を発揮する能力を高める一方、同じエクササイズ中に続けて行なう短縮性動作の能力を低下させる可能性がある。ほとんどの力発揮はエクササイズの短縮性局面において測定されるため(1RMなど)、自発的に遅い速度は、伸張性局面における筋の緊張時間を有意に増加させ、ひいては同じエクササイズにおける最大の短縮性力発揮能力を低下させる可能性がある

(8)。したがって、随意的に遅い速度を用いることは、特にエクササイズの短縮性局面において、トレーニングを十分な高負荷で実施し、筋力向上を最大化する能力を低下させると考えられる。

筋力を高めるもうひとつの方法は、負荷に特異的な神経系のコーディネーションを発達させることである。高負荷(>85% 1RM)を用いる際は、動作全体を通じて運動単位を最大限に動員させる必要があるが、トレーニングを通じて神経系の適応が生じ、高負荷エクササイズにおいて運動単位の動員を最大化する能力を補助するようになる。一方、中負荷トレーニングでは、たとえトレーニング量(セット数やレップ数)を高負荷より増やしても、同じ効果は生じないとみられる。先に説明したとおり、自発的に遅いレップ速度は、特にセット当たりのレップ数が3以上の場合には負荷を減少させるため、負荷に特異的な神経系のコーディネーションは最大化されない。

筋力は特異性を有するため、自発的に低速のレップ持続時間を用いたトレーニングは、そのトレーニングに類似したテストにおける最大筋力の発揮に繋がる。しかし、実際の身体活動における筋収縮は、そのような遅い随意速度で発揮されることは少ないため、随意的に低速のレップ持続時間を用いた筋力増加が、競技パフォーマンスの向上や日常生活動作の最適化に繋がる可能性は低い。低速でのトレーニングは、遅いレップ速度を用いた筋力テストのパフォーマンスを向上させるかもしれないが、筋力向上効果を一般的な動作に転移させる上で最も効率的なトレーニングではおそらくない。このことは、専ら低速のプロトコルをストレングストレーニングに用いている専門職にとって大きな懸念事項である。自発的に遅い速度を用いたトレーニングでは、筋肥大および一定の筋力向上を得られる可能性があり、そのどちらもが健康と生活の質に確実に大きな利益をもたらすが、高速のレップ持続時間を用いても筋力と筋肥大に同等の効果が期待でき(1,17,34)、またそれと同時に、競技パフォーマンスと日常生活動作の強化に繋がる。

結論と現場への応用

先に述べたとおり、本稿における超低速のレップ持続時間は、少なくともひとつのエクササイズ局面(短縮性または伸張性局面)の持続時間が≧10秒、または合計レップ持続時間が≧14秒のものと定義された。また低速のレップ持続時間は、短縮性局面と伸張性局面のいずれか、または両方が2～6.5秒で、合計レップ持続時間が4～13秒のものと定義された。伝統的なレップ持続時間は、レップ持続時間(短縮性局面と伸張性局面の合計)が<4秒のものと定義された。

レジスタンストレーニング初心者は、上記3つのレップ持続時間のプロトコルのうち、いずれを用いても筋力および筋肥大の指標に同等の効果が得られる。ただし3つとも効果的ではあるものの、比較的高速のレップ持続時間を用いたほうが、筋力およびパワーの指標の向上効果はわずかに高いとみられる。超低速および低速のレップ持続時間のプロトコルは、レジスタンストレーニング初心者、傷害から回復中の人、あるいはリハビリテーション中の人にとって安全性の高いトレーニング刺激となる(22)。また低速のレップ持続時間は、マインド-マッスルコネクション(運動中、目標とする筋を意識し神経の興奮を意識的にその筋へ向けること)を促進する可能性があり、初心者がレジスタンストレーニングの動作スキルを向上させるのにより適切と考えられる。加えて、自発的に低速のレップ持続時間は、トレーニングサイクルにおける特定のタイミングに新規の抵抗刺激を短期的にもたらすという形で、熟練者向けの期分けされたトレーニングプログラムの補強にも用いることができる。とはいえ、アスリートやレジスタンストレーニング経験者に最適な競技への転移効果や筋力およびパワーの向上をもたらすためには、伝統的なレップ持続時間がおそらく最も適切なトレーニング方法である。◆

References

1. Bottaro M, Machado SN, Nogueira W, Scales R, Veloso J. Effect of high versus low-velocity resistance training on muscular fitness and functional performance in older men. *Eur J Appl Physiol* 99: 257–264, 2007.
2. Brughelli M, Cronin J. A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping: Methodology and implications. *Scand J Med Sci Sports* 18: 417–426, 2008.
3. Burkholder TJ. Mechanotransduction in skeletal muscle. *Front Biosci* 12: 174, 2007.
4. Burd NA, Andrews RJ, West DW, et al. Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men. *J Physiol* 590: 351–362, 2012.
5. Carlson L, Jonker B, Westcott WL, Steele J, Fisher JP. Neither repetition duration nor number of muscle actions affect strength increases, body composition, muscle size, or fasted blood glucose in trained males and females. *Appl Physiol Nutr Metab* 44: 200–207, 2018.
6. Davies TB, Kuang K, Orr R, Halaki M, Hackett D. Effect of movement velocity during resistance training on dynamic muscular strength: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 47: 1603–1617, 2017.
7. Fisher JP, Carlson L, Steele J. The effects of muscle action, repetition duration, and loading strategies of a whole-body, progressive resistance training programme on muscular performance and body composition in trained males and females. *Appl Physiol Nutr Metab* 41: 1064–1070, 2016.
8. Gonzalez-Badillo JJ, Rodrfguez-Rosell D, Sanchez-Medina L, Gorostiaga EM, Pareja-Blanco F. Maximal intended velocity training induces greater gains in bench press performance than deliberately slower half-velocity training. *Eur J Sport Sci* 14:

772–781, 2014.
9. Greer BK. The effectiveness of low velocity (superslow) resistance training. *Strength Cond J* 27: 32–37, 2005.
10. Hatfield DL, Kraemer WJ, Spiering BA, HÄkkinen K. The impact of velocity of movement on performance factors in resistance exercise. *J Strength Cond Res* 20: 760, 2006.
11. Ide BN, Leme TC, Lopes CR, et al. Time course of strength and power recovery after resistance training with different movement velocities. *J Strength Cond Res* 25: 2025–2033, 2011.
12. Izquierdo M, González-Badillo JJ, Häkkinen K, et al. Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *Int J Sports Med* 27: 718–724, 2006.
13. Keeler LK, Finkelstein LH, Miller W, Fernhall BO. 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, 2001.
14. Keogh JW, Wilson GJ, Weatherby RE. A cross-sectional comparison of different resistance training techniques in the bench press. *J Strength Cond Res* 13: 247–258, 1999.
15. Kukulka CG, Clamann HP. Comparison of the recruitment and discharge properties of motor units in human brachial biceps and adductor pollicis during isometric contractions. *Brain Res* 219: 45–55, 1981.
16. Neils CM, Udermann BE, Brice GA, Winchester JB, McGuigan MR. Influence of contraction velocity in untrained individuals over the initial early phase of resistance training. *J Strength Cond Res* 19: 883, 2005.
17. Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, Gorostiaga EM, González-Badillo JJ. Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *Int J Sports Med* 35: 916–924, 2014.
18. Pereira PEA, Motoyama YL, Esteves GJ, Quinelato WC, Botter L, Tanaka KH, Azevedo P. 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, 2016.
19. Piazzesi G, Reconditi M, Linari M, et al. Skeletal muscle performance determined by modulation of number of myosin motors rather than motor force or stroke size. *Cell* 131: 784–795, 2007.
20. Pope ZK, Hester GM, Benik FM, DeFreitas JM. Action potential amplitude as a noninvasive indicator of motor unit-specific hypertrophy. *J Neurophysiol* 115: 2608–2614, 2016.
21. Roberts TJ. Contribution of elastic tissues to the mechanics and energetics of muscle function during movement. *J Experi Biol* 219: 266–275, 2016.
22. Scarin S, Aspesi V, Malchiodi Albedi G, et al. Slow versus traditional strength training in obese female participants: Preliminary results. *Int J Rehab Res* 42: 120–125, 2019.
23. Schoenfeld BJ, Ratamess NA, Peterson MD, et al. Effects of different volume-equated resistance training loading strategies on muscular adaptations in well-trained men. *J Strength Cond Res* 28: 2909–2918, 2014.
24. Schoenfeld BJ, Ogborn DI, Krieger JW. Effect of repetition duration during resistance training on muscle hypertrophy: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 45: 577–585, 2015.
25. Schuenke MD, Herman JR, Gliders RM, et al. Early-phase muscular adaptations in response to slow-speed versus traditional resistance-training regimens. *Euro J Appl Physiol* 112: 3585–3595, 2012.
26. Sundstrup E, Jakobsen MM, Andersen CH, et al. Muscle activation strategies during strength training with heavy loading vs. repetitions to failure. *J Strength Cond Res* 26: 1897–1903, 2012.
27. Tanimoto M, Ishii N. Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *J Appl Physiol* 100: 1150–1157, 2006.
28. Tanimoto M, Sanada K, Yamamoto K, et al. Effects of whole-body 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, 2008.
29. Tran QT, Docherty D. Dynamic training volume: A construct of both time under tension and volume load. *J Sports Sci Med* 5: 707, 2006.
30. Usui S, Maeo S, Tayashiki K, Nakatani M, Kanehisa H. Low-load slow movement squat training increases muscle size and strength but not power. *Int J Sports Med* 37: 305–312, 2016.
31. Watanabe Y, Tanimoto M, Ohgane A, et al. Increased muscle size and strength from slow-movement, low-intensity resistance exercise and tonic force generation. *J Aging Phys Act* 21: 71–84, 2013.
32. Watanabe Y, Madarame H, Ogasawara R, Nakazato K, Ishii N. Effect of very low-intensity resistance training with slow movement on muscle size and strength in healthy older adults. *Clin Physiol Funct Imaging* 34: 463–470, 2014.
33. Westcott WL, Winett RA, Anderson ES, Wojcik JR. Effects of regular and slow speed resistance training on muscle strength. *J Sports Med Phys Fitness* 41: 154, 2001.
34. Young WB, Bilby GE. The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development. *J Strength Cond Res* 7: 172–178, 1993.

From Strength and Conditioning Journal
Volume 42, Number 5, pages 48-56.

著者紹介

Amichai Lyons：
San Francisco State Universityのキネシオロジー学の修士号取得候補。

James R. Bagley：
San Francisco State Universityのキネシオロジー学助教。