©NSCA JAPAN
Volume 26, Number 6, pages 19-26

CEU クイズ関連記事

Key Words【加齢：aging、爆発的筋力：explosive force、機能的能力：functional capacity、最大筋力：maximal strength、筋量：muscle mass、筋パワー：muscle power、パワートレーニング：power training、筋力トレーニング：strength training】

高齢者に対し高速レジスタンストレーニングを優先すべき理由

Why Fast Velocity Resistance Training Should Be Prioritized for Elderly People

Lucas Bet da Rosa Orssatto, [1] M.Sc. **Eduardo Lusa Cadore,** [2] Ph.D.
Lars Louis Andersen, [3,4] Ph.D. **Fernando Diefenthaeler,** [1] Ph.D.

[1]Biomechanics Laboratory, Sports Center, Federal University of Santa Catarina, Floriano´ polis, Santa Catarina, Brazil
[2] Exercise Research Laboratory, Physical Education School, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil
[3]National Research Centre for the Working Environment, Copenhagen, Denmark
[4]Sport Sciences, Department of Health Science and Technology, Aalborg University, Aalborg, Denmark

要約

近年の人口統計学的な変化は、高齢者比率の世界的な上昇を示しているため、高齢者の身体的な自立がますます重要になりつつある。この簡潔的なレビューは、高齢の非鍛錬者における、異なる筋収縮速度のレジスタンストレーニングに対する神経筋系の適応に関して、要点をまとめ考察する。低速トレーニングと高速トレーニングは、どちらも同程度に筋量と最大筋力の向上をもたらす。しかし、発揮パワーや爆発的筋力および機能的能力の向上には、高速レジスタンストレーニングがより優れている。したがって、高速レジスタンストレーニングは、一層効率的な神経筋系の適応を促し、同時に、高齢者の筋力、パワー、爆発的筋力、筋量および機能的能力も増大させる。

はじめに

加齢は徐々に進行する。神経筋系の避けがたい減損を伴うが(36,37)、その中には、筋萎縮および筋力、最大発揮パワー、爆発的筋力の低下などが含まれる(33,35,51)。加齢によるこれらの有害な影響を遅らせるためには、定期的な身体活動が本来きわめて重要である(29)。特にレジスタンストレーニングは、最大筋力(40)、筋の発揮パワー(8)、爆発的筋力(25)、骨格筋量(41)などの増大を促す効果的な方法であり、高齢者の健康および機能的能力の維持に重要な意味をもつ。例えば、爆発的筋力と発揮パワーは、機能的能力(8,38)やバランス(28,42)と関連がある。対照的に、年齢に伴い悪化する筋萎縮は、機能障害や身体障害に関連があり(30)、また筋力は、男性の全死因による死亡とがんによる死亡の独立危険因子である(50)。

レジスタンストレーニングプログラムの特異性は、筋力、発揮パワー、爆発的筋力および骨格筋量の増大に影響を及ぼす(31)。筋の収縮速度とトレーニング強度は、レジスタンストレーニングプログラムを作成する際に調節すべき2つの基本的な変数である。高速トレーニングは通常、エクササイズの短縮局面において、できる限り速く筋を収縮させようとする意図により特徴づけられるが、低～中速のトレーニングは、大抵、短縮性および伸張性筋活動を2～3秒かけてゆっくりと行なう(8)。トレーニング強度は、最大挙上重量(1 RM)に対して、低強度(<60％)、低～中強度(60～69％)、中～高強度(70～79％)および高強度(≧80％)に分けられる(40)。高齢者に関しては、最近のメタ分析とアメリカスポーツ医学会(ACSM)により、筋力と筋量の増大のためには、中強度の負荷を用い、低～中速でトレーニングを行なうことが推奨されている(5,13,40,47)。しかし、これらの筋力の向上に関する提言は、高齢者を対象に、低速の筋収縮を

用いて実施したいくつかの介入研究に基づいて決定されたのである。これらの研究は、高齢者集団においても、若年成人で観察されるように、高速の筋収縮が低速の筋収縮と同程度に最大筋力や筋量を増大させるかは考察していない(18,26)。さらに、高齢者の発揮パワーの向上のためには、低～中強度の負荷による高速トレーニングが低速トレーニングよりも効果的であるとの一致した見解がある(8,47)。しかも、この集団の爆発的筋力に関しても、中～高強度の負荷をできる限り速く収縮させようと意図して行なうことが推奨される(25)。反対に、低速トレーニングは効果が劣ると思われる(58)。しかし、60歳以上の高齢者のためのレジスタンストレーニングの推奨事項に関しては、例えば、低～中速トレーニングが発揮パワーや爆発的筋力に及ぼす影響や高速トレーニングが最大筋力や筋量に及ぼす影響、さらに、それらの適応が機能的な向上にどのように転移されうるかなど、非特異的な効果を考慮することも重要である。高齢者にとっては、自立と生活の質を最大限に高めるために、これらの特性をできる限り多く改善することが望ましいと思われる。

この簡潔的なレビューは、高齢者における異なる筋の収縮速度(低速「筋肥大タイプ」vs高速「パワータイプ」)に関して、レジスタンストレーニング後の筋力、発揮パワー、爆発的筋力、筋量および機能的能力の向上について論じる。本稿の考察は、高齢者集団のためのレジスタンストレーニングプログラムを作成する際に、適切な選択を行なうことに役立つだろう。

トレーニングの特徴と適応

収縮速度の異なる低速と高速のレジスタンストレーニングを比較した研究も若干あるが、他の研究は、高速トレーニングか低速トレーニングのいずれかを個々に調査している。トレーニング変数(頻度、エクササイズ種目、強度、セット数、レップ数、量、休息時間、速度)の処方はそれぞれのトレーニングで異なり、その違いは、**表1**の低速トレーニングと**表2**の高速トレーニングに詳細にまとめられている。低速トレーニングを用いた研究では、短縮性と伸張性の両局面でそれぞれ2～3秒の持続時間が処方されている点に注目する必要がある。逆に、高速トレーニングを調査した研究では、短縮性筋活動はできるだけ速く行なうことを意図しているが、伸張性筋活動は、低速の処方と同じく2～3秒の持続時間で行なわれた。重要なこととして、トレーニング強度が高まれば、たとえできる限り速く行なう意図があったとしても、力-速度関係本来の特性により、収縮速度は自ずと低下する(24)。疲労の増大においても同じことが起こり、収縮速度はセットやセッションの終盤に向けて低下する(39)。

本レビューに含めた研究に基づき、**図1**は、レジスタンストレーニングに対する高齢者の最大筋力、ピークパワー、爆発的筋力、筋肥大および機能的能力の適応を低速および高速トレーニングに分けて表している。その目的は、研究全体にわたる結果をまとめることにより、高齢者における低速と高速トレーニングの比較を容易にすることである。読者は、結論を引き出す前に、これらの研究はトレーニング適応に影響を及ぼす可能性のあるレジスタンストレーニング変数の処方がそれぞれ異なることを心に留めておく必要がある。さらに、この図に含まれているトレーニング研究は、トレーニング期間も様々に異なるため、比較のためには時間に対する正規化(Δ%／週)が重要ではあるが、長期間の反応は完全に直線的ではなく、数ヵ月後には反応が低下する可能性があることも忘れてはならない(31)。

最大筋力

ACSMは、初心者(非鍛錬者)および中程度の経験者(少なくとも6ヵ月のレジスタンストレーニングを経験)である高齢者に対し、60～80%1RMの負荷を用いて、低～中速でトレーニングを行なうことを提言している(47)。最近のメタ分析(5)によると、より具体的には、70～79%1RMの負荷で、ゆっくりとした1レップ6秒の筋の収縮時間が推奨される。しかし、これが高齢者の最大筋力を増大させる唯一の方法ではないことは、中強度の負荷で低速の場合と低～中強度の負荷で高速の場合の効果を比較した研究により示唆される。結果的に、高速と低速の両群において、動的最大筋力(3,6,17,20,27,34,44)または等尺性最大筋力(27,34)の有意な増加が認められた。同様の結果は、単に低速(56–58)または高速(12,15,43,46,48)のトレーニングだけを評価した研究でも観察された。動的筋力の週当たりの向上は、低速と高速の間で類似しているように思われる(それぞれ1.95±0.90%と2.16±0.94%)。しかし、等尺性最大筋力に関しては、傾向として、高速トレーニングがより効率的であると認められた(それぞれ1.23±0.52%と1.80±0.86%)(**図1**)。

神経的因子と筋の横断面積は最大発揮筋力と関係がある(47)。しかし、トレーニング経験のない高齢者や若年成人では、レジスタンストレーニング後の神経適応が筋肥大以上に筋力の増加

に大きな影響を及ぼす(7,9,57)。高速と低速、どちらの筋収縮も最大随意収縮の活動レベルを促進できるが、高速の収縮は比較的低強度であっても、低速の収縮よりも運動単位の活性化レベルを高める(19)。また、同じ外部負荷では、遅い収縮と速い収縮の間には、表面筋電図の筋放電量の大きさに明らかな違いがある(11,55)。したがって、中～高強度のレジスタンストレーニングをできる限り高速で行なうことは、同じ強度で低速のレジスタンストレーニングよりも、結果的に大きな改善をもたらすと思われる。最近のメタ分析によると、高齢者においては、70～79％1RMで各レップ6秒の収縮持続時間で行なうトレーニングが筋力の増大を至適化することが示唆されているが、この分析はトレーニング速度が考慮されていなかった(5)。重要なこととして、高強度で高速の収縮は、低強度の場合よりも大きな筋力の増加をもたらすと思われる(8)。

筋発揮パワー

発揮パワーの向上に対する提言には、低～中強度の負荷(30～60％1RM)と高速の筋収縮が含まれる(8,47)。したがって、最大筋力と筋量が低速でも高速でも効果的に刺激されるのとは対照的に、筋パワーの適応は、より高速の収縮によって至適化される(8,53)。直接的な比較から、高齢者のパワーの向上のためには、低速に比べると高速でのトレーニングに利点があることが示唆される(6,17,27,44)。低速トレーニングがパワーに及ぼす効果には一貫性がなく、発揮パワーの増加を報告した研究もあるが(3,6,20,27,44)、他の研究では増加したという報告はなされなかった(17,56,58)(1.06±0.86％／週)。しかし、幅広い強度に関して(30～85％1RM)、高速トレーニングがより大きなパワーの向上をもたらすこと(2.20±1.34％／週)に関しては一致した見解がある(3,6,12,15,17,20,27,43,44,46,48)。

筋の発揮パワーとは、筋収縮の力と速度の積である。若年の被験者では、最大速度を意図したトレーニングがパワーの向上に大きな影響を及ぼすことが報告されているが、これは最大筋力と力の立ち上がり速度がともに増大し(32)、筋の活性化速度(すなわち、筋放電量の上昇速度)(16)が短縮されるからである(1,49)。一方、低速トレーニングは、若年の被験者(2,4)と高齢の非鍛錬者(58)において、筋力には好ましい影響を与えるものの、より速い筋の活性化や短縮能力に関する効果は限定的である。したがって、パワー発揮能力に対しては、高速トレーニングと低速トレーニングの間に際立った差がある(53)。それでもなお、高齢者における高速トレーニングは、高強度と低強度のどちらを用いた場合でも、発揮パワーに同程度の増加をもたらすと思われる(8)。したがって、実際の外部負荷にかかわらず、できる限り速い筋収縮に焦点を合わせることが重要であると思われる。

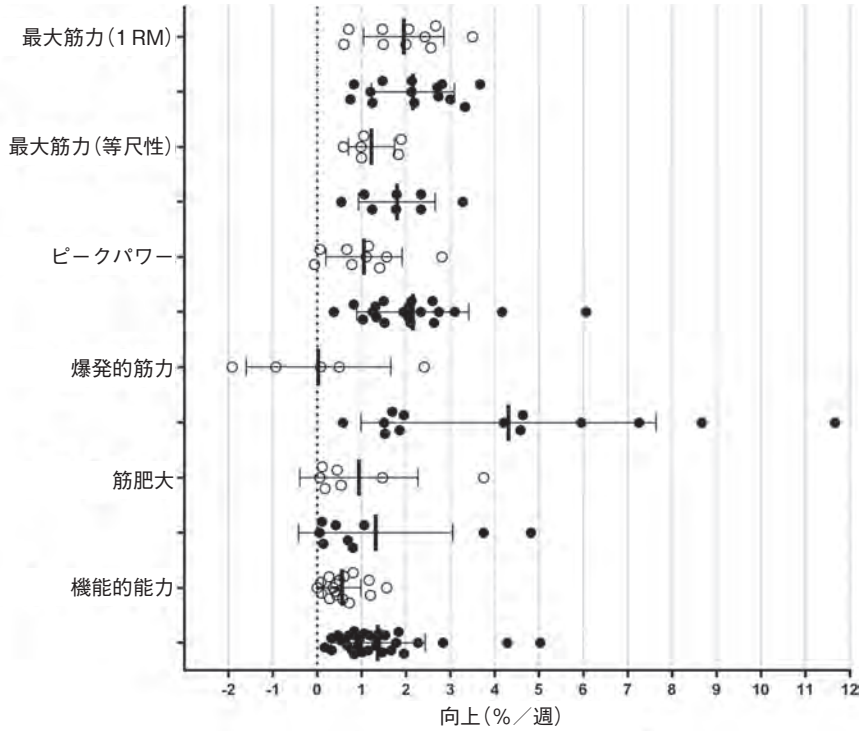

図1　低速(○)および高速(●)のレジスタンストレーニング後に、高齢者の最大筋力(1RMと等尺性)、ピークパワー、爆発的筋力、筋肥大および機能的能力の向上を調査した研究のまとめ(トレーニング週に対し正規化、すなわち週ごとの向上率)。最大筋力1RM:低速(3,6,17,20,27,44,56–58)と高速(3,6,14,17,20,27,44,46,48)、等尺性筋力:低速(20,27,34,56–58)と高速(12,14,27,34)、ピークパワー:低速(3,6,17,20,27,44,56,58)と高速(3,12,15,17,20,27,44,46,48)、爆発的筋力:低速(17,34,58)と高速(12,15,17,34)、筋肥大:低速(17,27,56–58)と高速(15,17,27,48)、機能的能力:低速(3,6,17,27,34,44,56)と高速(3,6,14,17,27,34,44–46,48)

©National Strength and Conditioning Association Japan

表1　低速レジスタンストレーニングデザインのまとめ

研究	サンプル	年齢（歳）	期間（週）	頻度（回／週）	下肢のエクササイズ	強度	セット数	レップ数	休息（秒）	速度（秒）
Balachandranら(3)	*n*=9（♀=8、♂=1）	71±8.2	15	2	レッグプレス、レッグカール、ヒップアダクション、カーフレイズ	70% 1 RM	3	10～12	60～120	Con:2 Ecc:2
Bottaroら(6)	*n*=9(♂)	66.3 ±4.8	10	2	レッグプレス、ニーエクステンション、ニーフレクション	40～60% 1 RM	3	8～10	90	Con:2～3 Ecc:2～3
Correaら(17)	*n*=14(♂)	67±5	6	2	レッグプレス、ニーエクステンション、ニーフレクション	RM	3～4	8～12	120	Con:2 Ecc:2
Fieldingら(20)	*n*=15(♀)	72.1 ±1.3	16	3	レッグプレスおよびニーエクステンション	70% 1 RM	3	8	NR	Con:2 Ecc:2
Henwoodら(27)	*n*=19（♀=9、♂=10）	69.6 ±1.1	24	2	レッグプレス、プローンレッグカール、レッグエクステンション	75% 1 RM	3	8	60	Con:3 Ecc:3
Lopesら(34)	*n*=14(♀)	69±7.3	12	3	ホリゾンタルレッグプレス、ニーエクステンション、ニーフレクション、ステップ上でのプランターフレクション、アブダクター＆アダクターマシーン	60% 1 RM、RM	3	8	60	Con:2 Ecc:2
Ramirez-Campilloら(44)	*n*=15(♀)	68.7 ±6.4	12	3	レッグプレス、プローンレッグカール、レッグエクステンション	75% 1 RM	3	8	60	Con:3 Ecc:3
Walkerら(57)	*n*=26(♂)	65±4	10	2	レッグプレス、ニーエクステンション、ニーフレクション	60～85% 1 RM	2～5	8～14	60～120	Con:2 Ecc:2
Walkerら(58)	*n*=27(♂)	65±4	20	2	レッグプレス、ニーエクステンション、ニーフレクション	60～85% 1 RM	2～4	8～14	60～120	Con:2 Ecc:2
Walkerら(56)	*n*=81（♀=46、♂=35）	♀=68.6 ±2.0 ♂=69.8 ±2.4	12	2	レッグプレス、ニーエクステンション、ニーフレクション、シーティッドカーフレイズ	50～60% 1 RM	2 3	16～20 14～16	30～240	Con:2 Ecc:2

Con＝短縮性、Ecc＝伸張性、NR=報告なし、RM＝最大反復回数

表2　高速レジスタンストレーニングデザインのまとめ

研究	サンプル	年齢（歳）	期間（週）	頻度（回／週）	下肢のエクササイズ	強度	セット数	レップ数	休息（秒）	速度（秒）
Balachandranら(3)	*n*=8(♀)	71.6 ±7.8	15	2	レッグプレス、レッグカール、ヒップアダクション、カーフレイズ	50～65% 1 RM	3	10～12	60～120	Con:AFAP Ecc:2
Bottaroら(6)	*n*=9(♂)	66.3 ±4.8	10	2	レッグプレス、ニーエクステンション、ニーフレクション	40～60% 1 RM	3	8～10	90	Con:AFAP Ecc:2～3
Conlonら(14,15)	非ピリオダイゼーション群　*n*=10 (♀=6、♂=4)	70.4 ±6.1	22	3	シーティッドレッグプレス、シーティッドレッグカール、レッグエクステンション	RM	3	10	90～120	Con:AFAP Ecc:2
	ブロックピリオダイゼーション群 *n*=13 (♀=6、♂=7)	71.8 ±5.4	22	3	シーティッドレッグプレス、シーティッドレッグカール、レッグエクステンション	RM	3	5, 10 or 15	90～120	Con:AFAP Ecc:2
	日ごとの非線形ピリオダイゼーション群　*n*=10 (♀=5、♂=5)	71.2 ±4.2	22	3	シーティッドレッグプレス、シーティッドレッグカール、レッグエクステンション	RM	3	5, 10 or 15	90～120	Con:AFAP Ecc:2
Correaら(17)	パワートレーニング群　*n*=13(♂)	67±5	6	2	レッグプレス、ニーエクステンション、ニーフレクション	RM	3～4	8～12	120	Con:AFAP Ecc:2
	高速筋力トレーニング群 *n*=14(♂)	67±5	6	2	ラテラルボックスジャンプ、ニーエクステンション、ニーフレクション	RMとボックス高(10～30 cm)	3～4	8～12	120	Con:AFAP Ecc:2
Fieldingら(20)	*n*=15(♀)	73.2 ±1.2	16	3	レッグプレス、ニーエクステンション	70% 1 RM	3	8	NR	Con:AFAP Ecc:2
Henwoodら(27)	*n*=19 (♀=12、♂=7)	71.2 ±1.3	24	2	レッグプレス、プローンレッグカール、レッグエクステンション	40～75% 1 RM	3	8～10	60	Con:AFAP Ecc:3
Lopesら(34)	*n*=12(♀)	67 ±7.4	12	3	ホリゾンタルレッグプレス、ニーエクステンション、ニーフレクション、ステップ上でのプランターフレクション、アブダクションとアダクションマシーン	40～80% 1 RM (初期値)	3～4	8	180	Con:AFAP Ecc:2
Radaelliら(43)	少量群 *n*=13	64.8 ±3.2	12	2	ニーエクステンション、バイラテラルレッグカール、ヒップアブダクション、ヒップアダクション	30～60% 1 RM	1	8～12	180	Con:AFAP Ecc:2～3
	多量群 *n*=13	66.2 ±2.4	12	2	ニーエクステンション、バイラテラルレッグカール、ヒップアブダクション、ヒップアダクション	30～60% 1 RM	3	8～12	180	Con:AFAP Ecc:2～3

Ⓒ National Strength and Conditioning Association Japan

表2　高速レジスタンストレーニングデザインのまとめ（つづき）

研究	サンプル	年齢（歳）	期間（週）	頻度（回／週）	下肢のエクササイズ	強度	セット数	レップ数	休息（秒）	速度（秒）
Ramirez-Campilloら（44）	*n*＝15（♀）	66.3±3.7	12	3	レッグプレス、プローンレッグカール、レッグエクステンション、CMJ[a]	40～75％1 RM	3 2[a]	8 3[a]	60	Con：AFAP Ecc：3
Ramirez-Campilloら（45）	週２回群 *n*＝8（♀）	70.0±6.9	12	2	レッグエクステンション、CMJ[a]	75％1 RM（初期値）	3	8 4[a]	60	Con：AFAP Ecc：3
	週３回群 *n*＝8（♀）	71.9±6.3	12	3	レッグエクステンションCMJ[a]	75％1 RM（初期値）	2	8 4[a]	60	Con：AFAP Ecc：3
Ramirez-Campilloら（46）	高度監督群 *n*＝30（♀）	67.5±5.3	12	3	レッグプレス、プローンレッグカール、レッグエクステンション、CMJ[a]	40～75％1 RM（初期値）	3 2[a]	8 3[a]	60	Con：AFAP Ecc：3
Reidら（48）	低強度群　*n*＝25（♀＝15、♂＝10）	78.3±5	16	2	シーティッドレッグプレス、シーティッドニーエクステンション	40％1 RM	3	10	NR	Con：AFAP Ecc：2
	高強度群　*n*＝27（♀＝18、♂＝9）	77.6±4	16	2	シーティッドレッグプレス、シーティッドニーエクステンション	70％1 RM	3	10	NR	Con：AFAP Ecc：2

[a]エクササイズによりセット数とレップ数は異なる。
RM＝最大反復回数、AFAP＝できるだけ速く、NR＝報告なし、CMJ＝カウンタームーベントジャンプ、Con＝短縮性、Ecc＝伸張性

爆発的筋力（力の立ち上がり速度）

筋をできる限り速く収縮させることを意図してトレーニングすることは、爆発的な力、すなわち、静的筋活動中に測定される力の立ち上がり速度を改善する効果がある（25）。高齢者の低速トレーニング後の爆発的筋力の適応を調査した研究は少数しかないが、そのような低速で行なった中強度のトレーニングでは、向上は全く、またはごくわずかしか認められなかった（0.03±1.63％／週）（17,34,58）。対照的に、高速レジスタンストレーニングの結果、高齢者の爆発的筋力は大きく増加し（4.31±3.32％／週）、発揮パワーの向上さえも大きかった（12,15,17,34,43）。

大きな爆発的筋力を発揮するためには、収縮の開始時に、神経系が可能な限り多くの運動ニューロンを可能な限り最大の発火頻度で活性化することが必須条件である。爆発的筋力の向上を支える神経筋系の適応を調査した研究は、圧倒的に、若年成人を対象に実施されている（2,4）。速い筋収縮で構成されたレジスタンストレーニングは、神経伝達を増大させることにより（4）、また最大筋力を増大させることにより（2）、爆発的筋力にプラスの影響を与えることができる。他方、筋の素早い活性化を促進するためには、遅い筋収縮と中強度の負荷のレジスタンストレーニングは、速い筋収縮ほど効果的ではない（4）。したがって、収縮の後半（例えば、開始からの0.2秒）における爆発的筋力の増大は、最大筋力の適応により効果的に達成できる（2,4）。

筋肥大

レジスタンストレーニングの初心者である高齢者やいくらか経験のある高齢者の筋肥大に関しては、ACSMの提言は筋力に関する提言と同じである。すなわち中強度の負荷（60～85％1 RM）で低～中速（47）で行なうことを推奨している。だがこれは、筋肥大を達成する唯一の方法ではない。高齢者の筋肥大に関しては、中強度の負荷（50～85％1 RM）で行なう低速（2～3秒の短縮性筋活動と2～3秒の伸張性筋活動）のトレーニング効果と、低～中強度の負荷（30～85％1 RM）で行なう高速トレーニング（できる限り速い短縮性筋活動またはプライオメトリックス）の効果とを比較した研究はきわめて少ない（17,27）。これらの研究では、

介入期間中に筋量または除脂肪量の有意な増加が認められたが、群間の有意差はなかった。低速(56–58)か高速(15,43,48)か、どちらか一方のレジスタンストレーニングを調査した研究はいくつかある。これらの研究に基づくと、低速と高速のどちらのトレーニング方法も、同程度の筋量の増加を示した(それぞれ0.94±1.33と1±1.26%／週)。

筋肥大の適応は、レジスタンストレーニング後の力学的また代謝的ストレスにより生じる(21–23)。高齢の非鍛錬者において筋肥大が筋力の増大に及ぼす影響は、神経的な因子と比較するとわずかである(9,10,54,57)。したがって、筋量の増加は、高齢の初心者のレジスタンストレーニング中に観察される機能的能力の向上の主要因子ではないと思われる。しかし、骨格筋量が代謝や内分泌にもたらす利益は疑う余地がない(52)。さらに、低レベルの骨格筋量は機能障害や身体障害にも結びつく。したがって、高齢者のトレーニングでは、筋量の増加も優先的に処方すべきである。この点において、高速トレーニングは低速トレーニングと同程度に効果的であると思われるが、筋量の増加には総負荷が重要な刺激となるため、トレーニングのピリオダイゼーションを通して、高負荷を用いる低速の筋活動も、低負荷での高速トレーニングと組み合わせて取り入れるとよいだろう。

機能的能力

最大筋力、発揮パワー、爆発的筋力および骨格筋量は機能的能力(歩行、着座、階段昇降などの日常生活活動を行なう能力)に影響を及ぼす(8,30,38)。したがって、これらの身体特性を同時に向上させることは、機能の向上にとって有益であると思われる。高齢者の機能的能力の改善(タイムアップ＆ゴー、歩行スピード、階段昇降、30秒間の椅子立ち上がりテストなど)は、様々な高速レジスタンストレーニング研究において観察されている(3,6,14,17,27,34,43–45,48)。中強度の負荷を用いた低速トレーニングを調査した研究の一部も、機能的能力の向上を明らかにした(3,17,27,44)。しかし、他の研究では、筋力および／または筋量が増大した場合でも、機能的能力の向上は観察されなかった(6,34,56)。異なるトレーニング速度を比較すると、低速トレーニングを用いた研究は、高速トレーニングを用いた研究よりも、機能的能力の向上が劣る(それぞれ0.56±0.43%／週と1.37±1.15%／週)。したがって、高速トレーニング中に観察されたより大きな発揮パワーと爆発的筋力が、単なる最大筋力の増大と比べ、機能的能力により大きな影響を及ぼしたと思われる。その考えられる理由としては、日常生活活動の多くは、ゆっくりとコントロールされた筋活動というよりも、加速と減速の反復的な循環運動だからであると思われる。

おわりに

この簡潔的なレビューは、高齢の非鍛錬者においては、低速(筋肥大タイプの)トレーニングも高速(パワータイプの)トレーニングも、同程度に筋量の増大をもたらすというエビデンスを提供する。しかし、高齢の非鍛錬者においては、低速に比べると、同程度の負荷を用いた高速トレーニングによって、最大筋力と発揮パワーおよび爆発的筋力のより大きな向上が誘発される。これらの適応は、高速トレーニング後に、機能的能力の一層効率的な向上をもたらす。したがって、高齢の非鍛錬者における神経筋および機能の向上のためには、高速トレーニングが低速トレーニングよりも利益をもたらす。大多数の研究では、シーティッドレッグプレス、ニーエクステンション、レッグカールなどが用いられた。しかし、スクワットのバリエーションやカーフレイズなど、その他の下肢のエクササイズやプライオメトリックトレーニングも同様に効果的であることが示されている(**表1と2**)。

パワー／爆発的トレーニングは高齢者にとって安全で効率的な方法であるが(9)、それにもかかわらず、この種のトレーニングを処方する際は、パーソナルトレーナーが然るべき注意を払う必要がある。パーソナルトレーナーは、レジスタンストレーニングプログラムで高速の筋収縮を用いる前に、この種のトレーニング(特にプライオメトリックトレーニング)により、悪化するおそれのある骨格筋系の傷害の既往歴がないかを確認する必要がある。例えば、高齢のクライアントに、椎間板ヘルニア、むち打ち症、重度の関節炎、放散痛などの既往歴がないかを確認した上で、クライアントが適切なテクニックを用いて各エクササイズを行なうことを保証しなければならない。レジスタンストレーニング初心者のためには、ゆっくりとコントロールした収縮速度だけを用いて行なうフリーウェイトエクササイズとともに、ニーエクステンション、シーティッドレッグカール、シーティッドレッグプレスなどのエクササイズを用いることが、一層実施しやすく安全であると思われる。フリーウェイトエクササイズは優れた動的バランスを必要とする。したがって、本質的にエクササイズ中の転倒リスクを高めるため、高速のフリーウェイトエクササイズやプライオメトリックエクササイズは、中～上級のクライアン

トであれば遂行可能であろう。それでも、パーソナルトレーナーは、各クライアントの準備状態を評価した上で、この種のトレーニングを実施すべきである。動的バランスを必要とするエクササイズ中は、安全対策(安定した構造物につかまることやパーソナルトレーナーが近くで見守ることなど)を講じる必要がある。プライオメトリックトレーニングは、素早い伸張性筋活動の直後に素早い短縮性筋活動を行なうことが特徴であり、その後の筋損傷や筋痛を増加させるため、トレーニングセッション間には比較的長い回復時間が必要である。さらに、一時的に誘発されたレジスタンストレーニングに関連のある筋損傷は、機能的能力を低下させ、回復中の高齢者の転倒リスクを高める可能性もある(39)。

高齢のクライアントのための安全なパワー／爆発的トレーニングのセッションは、完全な監督下で行なうべきであり(46)、また、筋骨格系の傷害に対する危険性の低下を目的として、適切な一般的および特異的なウォームアップと動的可動性エクササイズから開始しなければならない。トレーニング量と強度は漸進的に増加させる。初心者は1セッションにつき各エクササイズを1セットだけ行なうことが効果的であり(43)、継続的な適応を確実にするために徐々にセット数を増加させる。さらに、この集団には、失敗するまで行なうことのないレジスタンストレーニングを用いることが最適な神経筋系の適応を可能にすると思われ(54)、短縮性筋活動を失敗するまで反復することは心臓血管系のリスクを増大させる(心拍数と血圧をより大きく上昇させる)可能性がある(10)。さらに、高齢の非鍛錬者においては、トレーニングの安全性と継続性を保証するために、30～60％1RMの低～中強度の負荷から開始し、85％1RMまで漸進的に負荷を増大させることが推奨される(39)。セット間の休息時間に関しては、研究によると、60～180秒取れば回復にとって十分であることが示唆される(**表2**)。しかし、より長く休息することにより、さらに大きな神経筋の回復(より少ない疲労)が可能となり、次のセットにおいて一層優れたパフォーマンスをもたらすだろう。とはいえパーソナルトレーナーは、各クライアントがトレーニングに利用できる限られた時間とのバランスを取る必要がある。高齢者のパワー／爆発的な様式のトレーニングに対する、セッション間の至適回復時間は依然として不明である。しかし、クライアントの反応はそれぞれ異なると思われるため(39)、パーソナルトレーナーは、トレーニングプログラムを個別に調節できるように、一人ひとりのクライアントの漸進をモニタリングする必要がある。◆

※「References」は誌面の都合によりウェブサイトのみ掲載いたします。参照ご希望の方は、

http://www.nsca-japan.or.jp

から会員専用ページにログインしてご覧ください。

From *Strength and Conditioning Journal*
Volume 41, Number 1, pages 105-114.

著者紹介

Lucas Bet da Rosa Orssatto：ブラジルのUniversidade Federal de Santa Catarinaの研究員。

Eduardo Lusa Cadore：ブラジルのUniversidade Federal do Rio Grande do Sulの教授。

Lars Louis Andersen：デンマークのNational Research Centre for the Working Environmentの教授。

Fernando Diefenthaeler：ブラジルのFederal University of Santa Catarinaの准教授。

©NSCA JAPAN
Volume 26, Number 6, pages 19-26

高齢者に対し高速レジスタンストレーニングを優先すべき理由

Why Fast Velocity Resistance Training Should Be Prioritized for Elderly People

References

1. Andersen LL, Andersen JL, Magnusson SP, Suetta C, Madsen JL, Christensen LR, Aagaard P. Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *J Appl Physiol* 99: 87–94, 2005.
2. Andersen LL, Andersen JL, Zebis MK, Aagaard P. Early and late rate of force development: Differential adaptive responses to resistance training? *Scand J Med Sci Sport* 20: 162–169, 2010.
3. Balachandran A, Krawczyk SN, Potiaumpai M, Signorile JF. High-speed circuit training versus hypertrophy training to improve physical function in sarcopenic obese adults: A randomized controlled trial. *Exp Gerontol* 60: 64–71, 2014.
4. Balshaw TG, Massey GJ, Maden-Wilkinson TM, Tillin NA, Folland JP. Training-specific functional, neural, and hypertrophic adaptations to explosive- versus sustained-contraction strength training. *J Appl Physiol* 120: 1364–1373, 2016.
5. Borde R, Hortobágyi T, Granacher U. Dose-response relationships of resistance training in healthy old adults: A systematic review and meta-analysis. *Sport Med* 45: 1693–1720, 2015.
6. 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.
7. Buckner SL, Dankel SJ, Mattocks KT, Jessee MB, Mouser JG, Counts BR, Loenneke JP. The problem of muscle hypertrophy: Revisited. *Muscle Nerve* 54: 1012–1014, 2016.
8. Byrne C, Faure C, Keene DJ, Lamb SE. Ageing, muscle power and physical function: A systematic review and implications for pragmatic training interventions. *Sport Med* 46: 1–22, 2016.
9. Cadore EL, Izquierdo M. Muscle power training: A hallmark for muscle function retaining in frail clinical setting. *J Am Med Dir Assoc* 19: 190–192, 2018.
10. Cadore EL, Pinto RS, Reischak-Oliveira Á, Izquierdo M. Explosive type of contractions should not be avoided during resistance training in elderly. *Exp Gerontol* 102: 81–83, 2018.
11. Calatayud J, Vinstrup J, Jakobsen MD, Sundstrup E, Colado JC, Andersen LL. Influence of different attentional focus on EMG amplitude and contraction duration during the bench press at different speeds. *J Sports Sci* 36: 1162–1166, 2018.
12. Caserotti P, Aagaard P, Buttrup Larsen J, Puggaard L. Explosive heavy-resistance training in old and very old adults: Changes in rapid muscle force, strength and power. *Scand J Med Sci Sport* 18: 773–782, 2008.
13. Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Fiatarone Singh MA, Minson CT, Nigg CR, Salem GJ, Skinner JS. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 41: 1510–1530, 2009.
14. Conlon JA, Newton RU, Tufano JJ, Banyard HG, Hopper AJ, Ridge AJ, Haff GG. Periodization strategies in older adults. *Med Sci Sport Exerc* 48: 2426–2436, 2016.
15. Conlon JA, Newton RU, Tufano JJ, Peñailillo LE, Banyard HG, Hopper AJ, Ridge AJ, Haff GG. The

efficacy of periodised resistance training on neuromuscular adaptation in older adults. *Eur J Appl Physiol* 117: 1–14, 2017.

16. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. *Med Sci Sports Exerc* 42: 1566–1581, 2010.
17. Correa C, LaRoche D, Cadore EL, Reischak-Oliveira A, Bottaro M, Kruel LF, Tartaruga MP, Radaelli R, Wilhelm EN, Lacerda FC, Gaya AR, Pinto RS. 3 Different types of strength training in older women. *Int J Sports Med* 33: 962–969, 2012.
18. 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. *Sport Med* 47: 1603–1617, 2017.
19. Desmedt BJE, Godaux E. Ballistic contractions in man: Characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J Physiol* 264: 673–693, 1977.
20. Fielding RA, Lebrasseur NK, Cuoco A, Bean J. High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak. *J Am Coll Cardiol* 50: 655–662, 2002.
21. Glass DJ. Signalling pathways that mediate skeletal muscle hypertrophy and atrophy. *Nat Cell Biol* 5: 87–90, 2003.
22. Glass DJ. Skeletal muscle hypertrophy and atrophy signaling pathways. *Int J Biochem Cell Biol* 37: 1974–1984, 2005.
23. Goldberg AL, Etlinger JD, Goldspink DF, Jablecki C. Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Med Sci Sports* 7: 248 0 261, 1975.
24. González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med* 31: 347–352, 2010.
25. Guizelini PC, de Aguiar RA, Denadai BS, Caputo F, Greco CC. Effect of resistance training on muscle strength and rate of force development in healthy older adults: A systematic review and meta-analysis. *Exp Gerontol* 102: 51–58, 2018.
26. Hackett DA, Davies TB, Orr R, Kuang K, Halaki M. Effect of movement velocity during resistance training on muscle-specific hypertrophy: A systematic review. *Eur J Sport Sci* 12: 1–10, 2018.
27. Henwood T, Riek S, Henwood TR, Riek S, Taaffe DR. Strength versus muscle power-specific resistance training in community-dwelling older adults. *Journals Gerontol Ser A Biol Sci Med Sci* 8: 83–91, 2008.
28. Izquierdo M, Aguado X, Gonzalez R, López JL, Häkkinen K. Maximal and explosive force production capacity and balance performance in men of different ages. *Eur J Appl Physiol* 79: 260–267, 1999.
29. Izquierdo M, Rodriguez-Mañas L, Casas-Herrero A, Martinez-Velilla N, Cadore EL, Sinclair AJ. Is it ethical not to precribe physical activity for the elderly frail? *J Am Med Dir Assoc* 17: 779–781, 2016.
30. Janssen I, Heymsfield SB, Ross R. Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability. *J Am Geriatr Soc* 50: 889–896, 2002.
31. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc* 36: 674–688, 2004.
32. Kyrolainen H, Avela J, McBride JM, Koskinen S, Andersen JL, Sipila S, Takala TE, Komi PV. Effects of power training on muscle structure and neuromuscular performance. *Scand J Med Sci Sport* 15: 58–64, 2005.
33. Leyva A, Balachandran A, Signorile JF. Lower-body torque and power declines across six decades in three hundred fifty-seven men and women: A cross-sectional study with normative values. *J Strength*

Cond Res 30: 141–158, 2016.

34. Lopes PB, Pereira G, Lodovico A, Bento PC, Rodacki AL. Strength and power training effects on lower limb force, functional capacity and static and dynamic balance in older female adults. *Rejuvenation Res* 19: 385–393, 2015.
35. Manini TM, Clark BC. Dynapenia and aging: An update. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 67: 28–40, 2012.
36. Manini TM, Hong SL, Clark BC. Aging and muscle: A neuron's perspective. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 16: 1–10, 2013.
37. Miljkovic N, Lim JY, Miljkovic I, Frontera WR. Aging of skeletal muscle fibers. *Ann Rehabil Med* 39: 155, 2015.
38. Moura BM, Sakugawa RL, Orssatto LBDR, de Lima LAP, Pinto RS, Walker S, Diefenthaeler F. Functional capacity improves in-line with neuromuscular performance after 12 weeks of non-linear periodization strength training in the elderly. *Aging Clin Exp Res, In Press*, 2017.
39. Orssatto LBR, Moura BM, Bezerra ES, Andersen LL, Oliveira SN, Diefenthaeler F. Influence of strength training intensity on subsequent recovery in elderly. *Exp Gerontol* 106: 232–239, 2018.
40. Peterson MD, Rhea MR, Sen A, Gordon PM. Resistance exercise for muscular strength in older adults: A meta-analysis. *Ageing Res Rev* 9: 226–237, 2010.
41. Peterson MD, Sen A, Gordon PM. Influence of resistance exercise on lean body mass in aging adults: A meta-analysis. *Med Sci Sport Exerc* 43: 249–258, 2011.
42. Pijnappels M, van der Burg JCE, Reeves ND, van Dieën JH. Identification of elderly fallers by muscle strength measures. *Eur J Appl Physiol* 102: 585–592, 2008.
43. Radaelli R, Brusco CM, Lopez P, Rech A, Machado CL, Grazioli R, Müller DC, Cadore EL, Pinto RS. Higher muscle power training volume is not determinant for the magnitude of neuromuscular improvements in elderly women. *Exp Gerontol* 110: 15–22, 2018.
44. Ramírez-Campillo R, Castillo A, de la Fuente CI, Campos-Jara C, Andrade DC, Álvarez C, Martínez C, Castro-Sepúlveda M, Pereira A, Marques MC, Izquierdo M. High-speed resistance training is more effective than low-speed resistance training to increase functional capacity and muscle performance in older women. *Exp Gerontol* 58: 51–57, 2014.
45. Ramirez-campillo R, Cristi-montero C, Ramirez-campillo R, Diaz D. Effects of different doses of high-speed resistance training on physical performance and quality of life in older women: A randomized controlled trial. *Clin Interv Aging* 11: 1–8, 2016.
46. Ramírez-Campillo R, Martínez C, de La Fuente CI, Cadore EL, Marques MC, Nakamura FY, Loturco I, Caniuqueo A, Cañas R, Izquierdo M. High-speed resistance training in older Women : The role of supervision. *J Aging Phys Act* 25: 1–9; 2017.
47. Ratamess A, Alvar BA, Evetoch TK, Housh TJ, Kibler WB, Kraemer WJ, Triplett NT. American college of sports medicine position Stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 41: 687–708, 2009.
48. Reid KF, Martin KI, Doros G, Clark DJ, Hau C, Patten C, Phillips EM, Frontera WR, Fielding RA. Comparative effects of light or heavy resistance power training for improving lower extremity power and physical performance in mobility-limited older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 70: 374–380, 2015.
49. Reid KF, Pasha E, Doros G, Clark DJ, Patten C, Phillips EM, Frontera WR, Fielding RA. Longitudinal decline of lower extremity muscle power in healthy and mobility-limited older adults: Influence of muscle mass, strength, composition, neuromuscular activation and single fiber contractile properties. *Eur J Appl*

Physiol 114: 29–39, 2014.

50. Ruiz JR, Sui X, Lobelo F, Morrow JR, Jackson AW, Sjostrom M, Blair SN. Association between muscular strength and mortality in men: Prospective cohort study. *BMJ* 337: a439, 2008.
51. Schettino L, Luz CPN, de Oliveira LEG, de Assunção PL, da Silva Coqueiro R, Fernandes MH, Brown LE, Machado M, Pereira R. Comparison of explosive force between young and elderly women: Evidence of an earlier decline from explosive force. *Age (Omaha)* 36: 893–898, 2014.
52. Schnyder S, Handschin C. Skeletal muscle as an endocrine organ: PGC-1a, myokines and exercise. *Bone* 80: 115–125, 2015.
53. Steib S, Schoene D, Pfeifer K. Dose-response relationship of resistance training in older adults: A meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 42: 902–914, 2010.
54. da Silva LXN, Teodoro JL, Menger E, Lopez P, Grazioli R, Farinha J, Moraes K, Bottaro M, Pinto RS, Izquierdo M, Cadore EL. Repetitions to failure versus not to failure during concurrent training in healthy elderly men: A randomized clinical trial. *Exp Gerontol* 108: 18–27, 2018.
55. Vinstrup J, Calatayud J, Jakobsen MD, Sundstrup E, Andersen LL. Focusing on increasing velocity during heavy resistance knee flexion exercise boosts hamstring muscle activity in chronic stroke patients. *Neurol Res Int* 2016: 6523724, 2016.
56. Walker S, Haff GG, Häkkinen K, Newton RU. Moderate-load muscular endurance strength training did not improve peak power or functional capacity in older men and women. *Front Physiol* 8: 1–11, 2017.
57. Walker S, Häkkinen K. Similar increases in strength after short-term resistance training due to different neuromuscular adaptations in young and older men. *J Strength Cond Res* 28: 3041–3048, 2014.
58. Walker S, Peltonen H, Häkkinen K. Medium-intensity, high-volume “hypertrophic” resistance training did not induce improvements in rapid force production in healthy older men. *Age (Omaha)* 37: 9786, 2015.