Key Words 【トルクの立ち上がり率: rate of torque development、ストレングストレーニング: strength training、時間経過: time course】

レジスタンストレーニング誘発性の 力の立ち上がり率の向上はトレーニング 中断中も維持される:メタ分析

Resistance Training-Induced Gains in Rate of Force Development Are Maintained During Training Cessation: A Meta-Analysis

Jozo Grgic, ¹ Ph.D. Ivana Grgic, ²

要約

本メタ分析では、レジスタンストレーニングが力の立 ち上がり率(RFD)の向上に及ぼす影響を検証し、続いて トレーニング中断中に発生するRFDの変化を調査した。 5つのデータベースを利用して適格文献を検索した。文 献の方法論的質は、Downs & Blackのチェックリストを利 用して評価した。メタ分析にはランダム効果モデルを利 用した。最終的なメタ分析には、11のトレーニング群を 含む7件の研究が含められた。どの研究の質も「良い」ま たは「普通」であった。分析の結果、レジスタンストレー ニングはRFDを向上させていた(効果量d: 0.24、95%信 頼区間:[0.09, 0.38])。介入後とディトレーニング後の RFDの間に有意差は存在しなかった(効果量d:-0.02、 95%信頼区間:[-0.10, 0.06])。また、ディトレーニン グ期間(4週間以内と7~16週間)や被験者のトレーニ ングステータス(非鍛錬者と鍛錬者)によって分類したサ ブグループのメタ分析でも、介入後とディトレーニング後 のRFDの間に有意差は存在しなかった(すべてp>0.05)。 このメタ分析によって、レジスタンストレーニングがRFD を有効に向上させることが示された。さらに重要なこと に、RFDの向上はディトレーニング後も維持されていた。 したがって、一部のレジスタンストレーニング誘発性の適 応(筋力と筋持久力の増加)とは異なり、RFDの向上はディ トレーニング期間も維持されるとみられる。

はじめに

素早い力の発揮能力、すなわち力の立ち上がり率(RFD) は、力を発揮する時間が制限されている競技活動において、 パフォーマンスに不可欠の構成要素であると考えられる (19,26,35)。RFDは、肘関節屈曲/伸展、膝関節屈曲/伸展、 足関節底屈/背屈などの単関節課題において、等速性ダイナ モメータを利用して評価されることが多い(1,26)。一般に 単関節動作を利用して測定されるのは、制御下で実験を行な えるからである。しかし、フォースプレートやリニアフォー ストランスデューサを利用して、スクワット、レッグプレス、 ミッドサイプルなどの多関節エクササイズによってRFDを 評価した研究もある(26,29)。RFDの評価に多関節エクサ サイズが利用されるのは、多関節エクササイズのほうが、ト レーニング成果との関連性が高いと考えられるからである (26)。スプリント、パンチ、キック、ジャンプなどの運動動 作では、力発揮に利用できる時間はごくわずかである(50~ 250 ミリ秒) (19,26,35)。そのため多くの競技において、RFD はピークフォースを超える影響をパフォーマンスに及ぼす (19.26.35)。競技におけるRFDの重要性は、ラグビーユニオ ンの選手について収集されたデータから明らかである。デー タによると、RFDはジャンプの跳躍高とスプリントパフォー マンスに相関していた $(r=0.54 \sim 0.61)(35)$ 。RFDが関係 するのはアスリート集団だけではない(2,20)。例えば、RFD は高齢者における可動性の頑健な予測因子とみなされてい る(20)。RFDは日常活動を行なう能力と関連しており、高齢

¹Institute for Health and Sport, Victoria University, Melbourne, Australia

²County Hospital Schrobenhausen, Schrobenhausen, Germany

者における転倒予防の重要な因子である可能性がある(2)。

レジスタンストレーニングがRFDの向上に影響することはよく知られている(5,16)。しかし、レジスタンストレーニング誘発性の適応の多く(筋力の増大など)は一時的なものであり、トレーニング中断(ディトレーニング)後に消散する可能性がある(8,28)。トレーニングの中断は様々なシナリオで起こりうる。例えば、傷害、ポストシーズンの休息期間、多様なテーパリングプロトコルなどによって発生する。非アスリートの場合は、疾病、意欲の喪失、旅行などによってディトレーニングが発生しうる。そのため、エクササイズ処方を個別化するには、ディトレーニング中におけるRFDの経時的変化を確立することが重要であると考えられる。

RFDに対するディトレーニングの影響を調査した研究 は複数存在するが、一貫した調査結果は得られていない (4.13.17.25.27.31.32)。例えばHäkkinenら(17)の先駆的研究で は、12週間のディトレーニング後にRFDのごくわずかな変 化が観察されている。しかしこの研究では、24週間のレジス タンストレーニングプログラムを実施しても、RFDの向上が 観察されなかったことを付け加える必要がある(17)。別の研 究(27)では、最初、レジスタンストレーニングはRFDを17% 向上させたが、その後のディトレーニング期間に11%の低下 が観察された。メタ分析は一般に、エビデンスが曖昧なテー マについて、さらなる知見を提供するために実施される(7)。 メタ分析のデータは要約効果をもたらし、効果量のパターン に関する知見を追加し、潜在的な調整変数(ディトレーニン グ期間など)の検証を可能にする(7)。筋力や筋持久力など のいくつかのレジスタンストレーニング効果については、ト レーニング中断後の変化の軌跡に関するメタ分析データが 存在する(8)。しかし、RFDについてはそのような分析がま だ実施されていない。

現在のエビデンスにはこのような限界が存在するため、本稿はメタ分析によって、トレーニングの中断がRFDに及ぼす影響を検証する。したがって、(a) レジスタンストレーニングがRFDの向上に及ぼす総合的な有効性と、(b) トレーニングの中断がRFDに及ぼす影響の2点を分析する。

方法

検索方法

適格研究の検索は三段階に分けて実施した。第一段階では、書誌データベースを介した検索を行なった。具体的には、Academic Search Elite、PubMed/MEDLINE、Scopus、SPORTDiscus、Web of Scienceから検索した。これらのデータベースで利用した検索式は次のとおりである。(ディトレーニングORトレーニングの中断)AND(力の立ち上がり率ORトルクの立ち上がり率OR RFD OR RTD)。データベー

スの検索は2022年1月16日に完了した。完了後、検索の第二段階を実施して、選択された研究を引用した文献をGoogle Scholarで調査した(前方引用の追跡)。最後の第三段階では、選択基準を満たすことが判明した研究の参照文献リストのスクリーニングを行なった(後方引用の追跡)。

選択基準

本メタ分析の選択基準は以下のとおりである。

- ・被験者として人間を含んでいる。
- ・レジスタンストレーニングがRFDに及ぼす影響を検証して いる。
- ・被験者がエクササイズプログラムを中断するディトレーニング期間を組み込んでいる。
- ・ディトレーニング期間後にRFDを評価している。

これらの基準を満たさない研究はすべて分析から除外した。除外理由として最も多かったものは、RFDを評価していないことであった。

データの抽出

選択されたすべての研究から、以下のデータを抽出した。

- ・主執筆者の名前と発表年。
- ・被験者の特徴(性別、トレーニングステータスなど)。
- ・レジスタンストレーニングプログラムの説明。
- ・ディトレーニングの期間。
- ・RFDの評価に利用されたエクササイズ。
- ・介入前、介入後、ディトレーニング後のRFDの平均値 ± 標準 偏差。

2件の研究(4,32)はこれらのデータを図表で示していたため、Web Plot Digitizerを利用してデータ抽出を行なった。 3件の研究(4,25,32)は標準誤差を利用して示していたが標準偏差に変換した。

方法論的質

選択文献の方法論的質は、Downs&Blackのチェックリスト(11)を利用して評価した。原型のチェックリストには、研究の多様な側面を評価する 27 項目が含まれている。1~10 が報告の質、 $11\sim13$ が外的妥当性、 $14\sim26$ が内的妥当性、27 が統計的検出力である。本稿の選択文献はトレーニング介入の局面を含んでいるため、追加で 2つの項目、すなわち、28 としてトレーニングプログラムへのアドヒアランス、29 としてレジスタンストレーニングの監督を含めた(14,15)。チェックリストの各項目について、基準を満たせば1点、満たさなければ0点とした。合計スコアに基づいて研究の方法論的質を評価した。 $21\sim29$ 点を「良い」、 $11\sim20$ 点を「普通」、10点以下を「悪い」とした(14,15)。Downs

&Blackのチェックリストの合計スコアは、PEDroツールな どの一般に利用されているほかのチェックリストのスコア と相関する(r=0.71)ことが報告されている(3)。文献検索 の3つの段階、すなわち検索過程、データの抽出、質の評価は、 本稿の2名の筆者が個別に実施した。

統計学的分析

すべてのメタ分析は標準化平均差(Cohenのd)を利用して 行なった。RFDの平均値±標準偏差のデータを利用して、標 準化平均差(平均値の差をプールされた標準偏差で除する) を算出した。これらのデータに加えて、各研究のサンプルサ イズと試行間の相関関係を利用して、標準化平均差とそれぞ れの95%信頼区間(CI)を算出した。相関関係が報告されて いない場合は、Cochraneハンドブックの指針(21)に従ってそ れらの値を推計した。RFDの向上に対するトレーニングプ ログラムの有効性は、まず、介入前と介入後のデータを比較 して検証した。次に、トレーニング中断の影響を検証するた めに、介入後とディトレーニング後のデータを比較した。感 度解析は、一度に1件ずつ研究を取り除いてプールされた結 果を検証した。各研究のディトレーニング期間が異なって いたため、サブグループ分析によって、短期(4週間)のディ トレーニングの影響と中長期(7~16週間)のディトレーニ ングの影響を比較した。また、被験者のトレーニングステー タス(鍛錬者と非鍛錬者)の影響を検証するために、追加のサ ブグループ分析を実施した。3件の研究には複数の実験群 (異なる方法でトレーニングを実施したグループ)が含まれ ていたが、参加者は独立被験者であり、介入前、介入後、ディ トレーニング後のデータが個別に提示されていたため、こ れらのグループのデータは別々に分析した。効果量の解釈 は次の閾値に従った。 <0.20 は微小、0.20 ~ 0.49 は小、0.50 ~ 0.79 は中、≥0.80 は大とした(9)。メタ分析は、ランダム 効果モデル(23)を利用して行なった。異質性の評価には I^2 統計量を利用した。計算式は $I^2 = 100\% \times (Q - df) \div Q$ であ る。ここでQはカイ二乗統計量、dfは自由度を表す。 I^2 統計 量は、<50%で異質性低、50~75%で異質性中、>75%で異 質性高と解釈した。出版バイアスの存在は、ファンネルプ ロットの非対称性を検討することによって検証した。ただ し、サブグループの比較は10未満のグループについてしか 行なっていないため、2つの主メタ分析についてのみ行なっ た。統計的有意性の閾値はp < 0.05 とした。すべての分析は、 Comprehensive Meta-Analysis ver. 2(Biostat Inc.、イングル ウッド、ニュージャージー州)を利用して実施した。

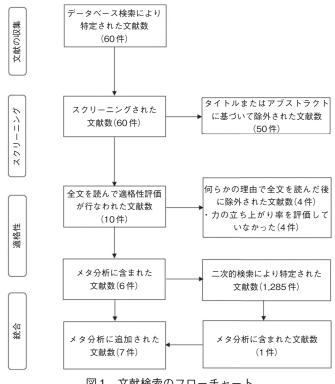
結果

検索結果

検索過程の第一段階では60件が特定された。タイトル やアブストラクトに基づいて、そのうち50件が除外され た。したがって、全文を読んで適格性評価を行なった文 献数は10件であり、そのうち6件がメタ分析に含まれた (4.13.25.27.31.32)。第二段階の検索(前方引用追跡)では、 1,081件が特定された。ここから追加で10件の全文を読ん だが、選択基準を満たすものは1件だけであった。最後に、後 方引用の追跡によって204件が特定されたが、ここからメタ 分析に含まれた文献は0件であった。最終的にメタ分析に含 まれる文献は7件となった(図1)(4.13.17.25.27.31.32)。文献 数は7件であるが、メタ分析では11のトレーニング群が分析 された。一部の文献には複数のトレーニング群が含まれて いた、または、異なるグループについて個別データが提供さ れていた。具体的にいうと、2件(27.31)には、異なるレジスタ ンストレーニングプログラム(高負荷レジスタンストレーニ ング、低負荷血流制限レジスタンストレーニング)を実施し た複数のグループが含まれていた。またBlazevichら(4)の調 査では、「応答者」と「非応答者」のデータが分けて提示されて いたため、この2つのグループのデータを個別に分析した。

諸研究の要約

全選択文献でプールされた被験者数は118名(平均14名) であった。レジスタンストレーニング介入は4~24週間に



文献検索のフローチャート

わたった。トレーニング頻度はどの研究でも週に2~3日であった。トレーニング介入後に組み込まれたディトレーニング期間は、4、7、12、14、16週間であった。5件の研究では、トレーニング介入期間がディトレーニング期間よりも長く、2件の研究では逆に短かった(表)。どの研究も下半身の筋組織のRFDを評価していた。ディトレーニング期間、すべての被験者は通常の日常活動を維持していたが、エクササイズトレーニングには一切参加していなかった。

方法論的質

Downs & Blackのチェックリストによる平均スコアは 22 ± 2 点であった。5件の質は「良い」、2件の質は「普通」であった (表)。

メタ分析の結果

レジスタンストレーニングの介入後、RFDの向上がみられた(効果量d:0.24、95% CI:[0.09,0.38]、p=0.001、 $I^2=66%$) (図2)。感度解析はこれらの結果に影響を及ぼさなかった。出版バイアスを示すエビデンスは存在しなかった。

介入後とトレーニング後のRFDに有意差はなかった(効果量d:20.02,95% CI:[20.10, 0.06]、p=0.60、 $I^2=0\%$) (図3)。

感度分析はこれらの結果に影響を与えなかった。出版バイアスの証拠はなかった。

ディトレーニング期間によるサブグループメタ分析では、介入後とディトレーニング後のRFDに有意差がみられなかった。ディトレーニング期間が4週間の場合は効果量d: -0.07,95% CI: $[-0.17,0.04],p=0.21,I^2=0\%,7\sim16週間の場合は効果量<math>d:0.03,95\%$ CI:[-0.08,0.15],p=0.56、 $I^2=0\%$ であった。

トレーニングステータスによるサブグループメタ分析では、介入後とディトレーニング後のRFDに有意差がみられなかった。非鍛錬者の場合は効果量d:-0.07、95% CI:[-0.20, 0.06]、p=0.30、 $I^2=33$ %、鍛錬者の場合は効果量d:0.03、95% CI:[-0.08, 0.14]、p=0.60、 $I^2=0$ %であった。

考察

メタ分析で示した結果によって、レジスタンストレーニングがRFDを効果的に向上させることが確証された。おそらくそれ以上に重要な発見であるのは、ディトレーニング期間にかかわらず、介入後とディトレーニング後のデータに有意差がみられず、RFDの向上がディトレーニング後も維持されると考えられることであろう。また、本メタ分析におけ

表の選択された文献の概要					
研究	被験者	レジスタンストレーニング	ディトレー ニング期間	RFD評価	Downs&Blackの チェックリスト によるスコア
Blazevich 6 (4)	21 名の非鍛錬の若 年男女	10 週間、週に 3 日、等速性ニーエクステンションを 4 ~ 6 セット	14週間	ニーエクス テンション	21点(良い)
Granacher ら(13)	14名の高校生男女	8週間、週に2日、レッグプレス、ニーエクステンション/フレクション、カーフレイズ、ヒップアブダクション/アダクション、バックスクワットを4セット	7週間	レッグプレス	26点(良い)
Häkkinen 6 (17)	11 名のレジスタン ストレーニング経験 のある男性	24週間、週に3日、スクワット削除を3~30	12週間	ニーエクス テンション	19点(普通)
Lovell 6 (25)	12名の非鍛錬の高 齢男性(70~80歳)	16週間、週に3日、スクワットを3セット	4週間	スクワット	20点(良い)
Mendonca 6 (27)	30名の非鍛錬の若 年男女	4週間、週に5日、高負荷プランターフレクションを4セットか、低強度血流制限プランターフレクションを4セット	4週間	プランター フレクショ ン	22点(良い)
Presland 6 (31)	20 名のレジスタン ストレーニング経験 のある若年男性	6週間、週に2日、コンベンショナルまたはエキセントリックまたはコンセントリックのフライホイールレッグカールを4~6セット	4週間	ニーエクス テンション	23点(良い)
Sakugawa 6 (32)	10名の非鍛錬の中 年男女(63~68歳)		16週間	ニーエクス テンション	21 点(良い)

RFD=力の立ち上がり率

る95% CIの上限値と下限値は微小効果の範囲内にあり、ここで見出されない実際の効果があったとしても、おそらく現実的にはごくわずかなものであると考えられる。さらに、被験者のトレーニングステータスによって分類すると、鍛錬者と非鍛錬者のRFDには有意差が認められなかった。トレーニングの観点からみると、これらの結果は、様々な理由である時期にレジスタンストレーニングを中断する可能性のある人々(期分けされたトレーニングプログラム、旅行、疾病、意欲の喪失、その他の理由によって)と関係する。

本メタ分析は、レジスタンストレーニングがRFDを効果的に向上させることについて、さらなるエビデンスを提供した(5,16,36)。RFDの向上が観察されたが、先行メタ分析の結果よりも効果量(Cohenのd:0.24)が小さかった。具体的にいうと、Blazevichら(5)は、レジスタンストレーニングによるRFDの向上の効果量を0.38~0.58と報告していた。RFDの向上を最大にするには、素早い力発揮の意図によって、速い動作スピードでレジスタンストレーニングを実施するとよい(5)。これは動作スピードとして考えられるべきであり、力発揮の意図は複数の研究で報告されていなかった(25,27,32)。したがって、選択文献はRFDを最大化するトレーニングプログラムを利用していなかったと考えられる。おそらくRFDは、様々な評価の総合的プールに含まれる分析対象の成果のひとつでしかなかったためであろう。しかし、最大化はされ

ていないにせよ、わずかな向上は観察されている。

2013年にBosquetら(8)は、トレーニングの中断が筋のパ フォーマンスに及ぼす影響を検証したメタ分析を発表した。 それによって、トレーニングの中断が筋のパフォーマンスの 構成要素(筋力、筋持久力、筋パワーなど)を低下させること が示された(効果量 $d: -0.20 \sim -0.62$)。メタ分析では、ディ トレーニングの15~28日目の間に筋パフォーマンスの有 意な低下の発生が観察された。しかし、トレーニングの中断 がRFDに及ぼす影響は検証されておらず、その点において、 本稿で提示したデータは新しいものである。本稿のデータ はBosquetら(8)のメタ分析とは結果を一にせず、介入後とト レーニング中断後のRFDデータに有意差が見出されなかっ た。先に述べたように、本メタ分析では、RFDの向上に対す るトレーニング介入の有効性も分析したが、その結果、小さ な効果(効果量d:0.24)が見出された。RFDはレジスタン ストレーニング後の向上が大きくなかったため、ディトレー ニング後に大きく低下しなかったということかもしれない。 例えばいくつかの先行研究では、レジスタンストレーニング が筋力に大きな効果を及ぼすこと(効果量d>1.0)が報告さ れている(30,33,34)。したがって、トレーニング介入の間に 頑健な変化を示した成果には、トレーニングの中断がマイナ スの影響を及ぼすと主張することもできる。この仮説を裏 づける研究が1件ある。Häkkinenら(17)は、介入前、介入後、

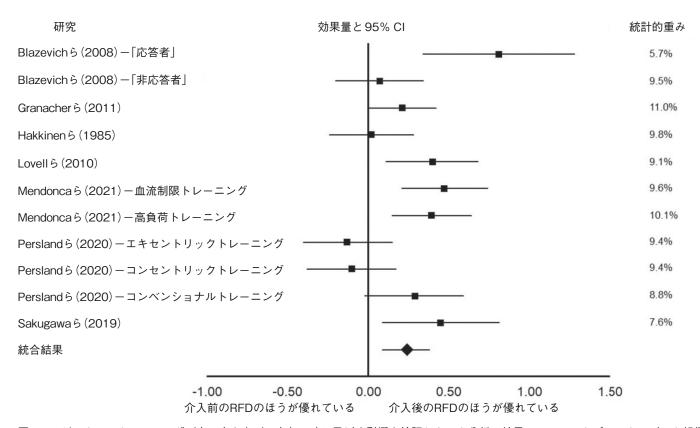


図2 レジスタンストレーニングが力の立ち上がり率 (RFD) に及ぼす影響を検証したメタ分析の結果のフォレストプロット。データ報告はCohenのd(効果量) と95% 信頼区間 (CI) による。最下段の菱形は統合結果を示す。四角形は効果量を示し、ひげ部分は95% CIを示す。

ディトレーニング後の各時点で、RFDのごくわずかな変化 $(0.4 \sim 0.6\%$ の差)を報告した。しかしその同じ研究で、レジスタンストレーニングによって筋力が大幅に増加し(27%)、その後、ディトレーニング後に大きく低下した(-11%)ことが報告されている。

本稿では主分析に加えてサブグループのメタ分析を実施 して、ディトレーニング期間の影響を検証した。筋パフォー マンスの構成要素の低下は、ディトレーニング期間の長さと ともに増加するように思われたからである(8)。この見方を 裏づける研究が1件ある。Kuboら(23)は12週間のトレーニ ング介入後に12週間の中断期間を設けて、4週間ごとに筋力 を評価した。まず、レジスタンストレーニングによって筋力 が40%増加し、ディトレーニング期間の4、8、12週目で、それ ぞれ5、8、10%減少した。しかし、本サブグループのメタ分析 では、4週間のディトレーニングでも、7~16週間のディト レーニングでも、介入後とディトレーニング後のRFDのデー タに有意差は観察されなかった。RFDの重要な決定因子の ひとつは、最大運動単位発火頻度である(10)。レジスタンス トレーニングが最大運動単位発火頻度の向上に有効である ことは研究によって確立されており、したがってRFDを向上 させると考えられる(22,24)。そのため、最大運動単位発火頻 度はレジスタンストレーニング期間に増加し、その後、長期 のディトレーニングにわたって維持されるとみられる。本稿の選択文献はいずれも最大運動単位発火頻度を評価していなかったため、この点については今後の研究において分析し、RFDの維持を支えるメカニズムに関する知見を得る必要がある。

トレーニングの介入期間とディトレーニング期間の長さ の決定において、選択文献はそれぞれアプローチが異なって いた。5件の研究(13,17,25,27,31)は、ディトレーニング期間は 介入期間と等しい、またはそれ以下のデザインを利用してい た。しかし2件の研究(4,32)では、ディトレーニング期間が 介入期間よりも長かった(14週間と10週間、16週間と12週 間)。研究デザインのこの側面について触れておかねばなら ない。最近、中年や高齢の被験者において、ディトレーニン グが筋力に及ぼす影響が調査されたが(37)、ディトレーニン グ期間が介入期間よりも長ければ、筋力の向上は維持されず (37)、ディトレーニング期間が介入期間よりも短ければ、レ ジスタンストレーニングが筋力に及ぼす効果が維持されて いた。ところが、介入期間よりもディトレーニング期間が長 い2件の研究では、どちらもRFDが低下しなかった(4,32)。 しかし、このデザインを利用した研究は2件だけであるため、 このテーマに関してはさらに調査が必要である。

トレーニングステータスによるサブグループのメタ分析

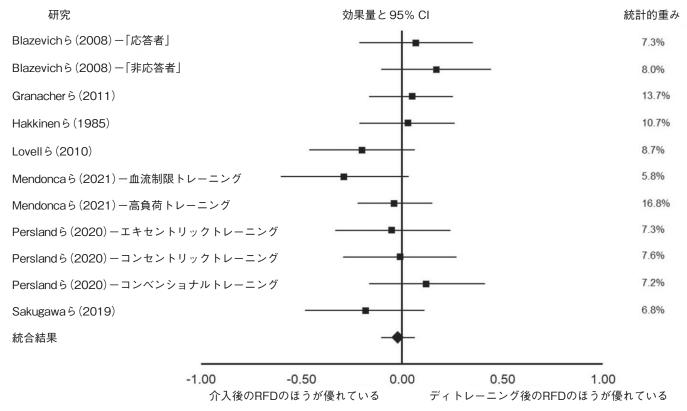


図3 トレーニングの中断(ディトレーニング)が力の立ち上がり率(RFD)に及ぼす影響を検証したメタ分析の結果のフォレストプロット。データ報告はCohenのd(効果量)と95%信頼区間(CI)による。最下段の菱形は統合結果を示す。 四角形は効果量を示し、ひげ部分は95% CIを示す。

においても、ディトレーニングがRFDの変化に有意な影響を 及ぼすことは見出されなかった。ディトレーニングが筋力 などの筋の質に及ぼすマイナスの影響は、鍛錬者よりも非鍛 錬者のほうが大きいとかつて主張されていた(8)。しかし、 本メタ分析の結果はこの説を支持しない。RFDは、鍛錬者 においても非鍛錬者においてもディトレーニング後に維持 されるとみられる。ただし、本稿の選択文献はいずれも、こ の2つのタイプの被験者のどちらかしか含んでいなかった ことに注意する必要がある。つまり、多様なトレーニングス テータスを有する被験者において、ディトレーニングがRFD に及ぼす影響を直接比較した研究は現在のところ入手でき ない。これは今後の研究課題である。

どの文献も、方法論的質は「普通」または「良い」に分類された。しかし、Downs&Blackのチェックリストの一部の項目は、複数の文献で満たされていなかった。例えば、トレーニングへのアドヒアランスを報告しなかった文献が3件あった(4,17,32)。エクササイズセッションへの参加頻度はレジスタンストレーニングへの適応に影響するため、この側面は考慮する必要がある(12)。さらに、研究デザインの一環として盲検化を組み込んでいる研究は1件もなかった(18)。したがって、今後の研究では(多様なレベルで)盲検化を組み込んで、バイアスリスクを低減させる必要がある。

本メタ分析には複数の制限がある。第一に、選択文献で分 析された被験者にばらつきが存在した。例えば、被験者とし て高校生を含む研究もあれば、高齢者に注目する研究もあっ た(13,32)。これを説明するために、本メタ分析ではランダ ム効果モデルを利用した。ランダム効果モデルは、プールさ れた効果に影響する可能性のある文献間の方法論的差異を 考慮に入れている(6)。さらに、トレーニングの中断に関す る分析では、選択文献のほとんどで95% CIが重複しており、 対象被験者にかかわらず効果が類似していることが示され た。とはいえ、今後の調査によって、多様な年齢の被験者に おいてトレーニングの中断がRFDに及ぼす影響を検証して、 年齢依存の影響が存在するかどうかを決定する必要がある。 次に、選択文献はどれも下半身のRFDを評価していた。した がって、これらの結果が上半身の筋組織に一般化されるとは 限らない。第三に、一部の選択文献で利用されたレジスタン ストレーニングのアプローチでは、RFDが最大化されなかっ た可能性を考慮する必要がある。そのため、RFDの向上の至 適化を目指して設計されたレジスタンストレーニングを実 施し、介入後に、トレーニングの中断がRFDに及ぼす影響を 検証する必要がある。第四に、RFDの評価においてはテスト - 再テストの信頼性の点で制限があることはよく知られてい る(26)。テスト-再テストの信頼性の低さは、統計的検出力 にマイナスの影響を及ぼし、第二種の過誤を増やす可能性が ある。残念ながら、選択文献はRFD評価のラボ特異的な信頼 性を報告していないため、全般的な制限として認める必要が ある。

おわりに

レジスタンストレーニング中断後の変化の軌道は、筋力な どの筋の質に関してはすでに確立されている。しかし、ト レーニングの中断がRFDに及ぼす影響に関してはまだよく 知られていない。本稿は、まず、レジスタンストレーニング がRFDの向上に及ぼす影響を検証し、続いてトレーニング中 断中に発生するRFDの変化を探った。その結果、レジスタン ストレーニングはRFDを効果的に向上させることが判明し た。しかしさらに重要なことに、RFDの向上が、ディトレー ニング期間の長さにかかわらず(4週間でも7~16週間で も)、ディトレーニング後も維持されることが示された。し たがって、筋力の増加など、その他のレジスタンストレーニ ング誘発性の適応と異なり、RFDの向上はディトレーニング 後も維持されると考えられる。これらの結果は、様々な理由 である時期にレジスタンストレーニングを中断する可能性 のある人々(期分けされたトレーニングプログラム、旅行、疾 病、意欲の喪失、その他の理由によって)と関係する。◆

References

- Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Neural adaptation to resistance training: Changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J Appl Physiol* 92: 2309–2318, 2002.
- Aagaard P, Suetta C, Caserotti P, Magnusson SP, Kjaer M. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: Strength training as a countermeasure. Scand J Med Sci Sports 20: 49–64, 2020.
- Aubut JAL, Marshall S, Bayley M, Teasell RW. A comparison of the PEDro and Downs and Black quality assessment tools using the acquired brain injury intervention literature. *NeuroRehabilitation* 32: 95–102, 2013.
- 4. Blazevich AJ, Horne S, Cannavan D, Coleman DR, Aagaard P. Effect of contraction mode of slowspeed resistance training on the maximum rate of force development in the human quadriceps. *Muscle Nerve* 38: 1133–1146, 2008.
- Blazevich AJ, Wilson CJ, Alcaraz PE, Rubio-Arias JA. Effects of resistance training movement pattern and velocity on isometric muscular rate of force development: A systematic review with metaanalysis and meta-regression. Sports Med 50: 943–963, 2020.
- Borenstein M, Hedges LV, Higgins JPT, Rothstein HR. A basic introduction to fixed-effect and random-effects models for metaanalysis. Res Synth Methods 1: 97-111, 2010.
- Borenstein M, Hedges LV, Higgins JP, et al. *Introduction to Meta-Analysis*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2021.
- Bosquet L, Berryman N, Dupuy O, et al. Effect of training cessation on muscular performance: A meta-analysis. Scand J Med Sci Sports 23: e140–e149, 2013.
- 9. Cohen J. A power primer. Psychol Bull 112: 155-159, 1992.

- 10. Del Vecchio A, Negro F, Holobar A, et al. You are as fast as your motor neurons: Speed of recruitment and maximal discharge of motor neurons determine the maximal rate of force development in humans. J Physiol 597: 2445–2456, 2019.
- 11. Downs SH, Black N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *J Epidemiol Community Health* 52: 377–384, 1998.
- 12. Gentil P, Bottaro M. Effects of training attendance on muscle strength of young men after 11 weeks of resistance training. *Asian J Sports Med* 4: 101–106, 2013.
- 13. Granacher U, Muehlbauer T, Doerflinger B, Strohmeier R, Gollhofer A. Promoting strength and balance in adolescents during physical education: Effects of a short-term resistance training. J Strength Cond Res 25: 940–949, 2011.
- 14. Grgic J, Schoenfeld BJ, Davies TB, et al. Effect of resistance training frequency on gains in muscular strength: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 48: 1207–1220, 2018.
- Grgic J, Schoenfeld BJ, Skrepnik M, Davies TB, Mikulic P. Effects of rest interval duration in resistance training on measures of muscular strength: A systematic review. Sports Med 48: 137–151, 2018
- 16. 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 metaanalysis. Exp Gerontol 102: 51–58, 2018.
- 17. Häkkinen K, Alén M, Komi PV. Changes in isometric force and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. Acta Physiol Scand 125: 573–585, 1985.
- 18. Hecksteden A, Faude O, Meyer T, Donath L. How to construct, conduct and analyze an exercise training study? *Front Physiol* 9: 1007, 2018.
- 19. Hernández-Davó JL, Sabido R. Rate of force development: Reliability, improvements and influence on performance. A review. *Eur J Hum Mov* 33: 46–69, 2014.
- Hester GM, Ha PL, Dalton BE, et al. Rate of force development as a predictor of mobility in community-dwelling older adults. *J Geriatr Phys Ther* 44: 74–81, 2021.
- 21. Higgins JPT, Deeks JJ, Altman DG, et al. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.1.0. Chapter 16.1.3.2: Imputing Standard Deviations for Changes from Baseline. Chichester, UK: The Cochrane Collaboration, 2011.
- 22. Kamen G, Knight CA. Training-related adaptations in motor unit discharge rate in young and older adults. *J Gerontol A Biol SciMed Sci* 59: 1334–1338, 2004.
- 23. Kubo K, Ikebukuro T, Yata H, Tsunoda N, Kanehisa H. Time course of changes in muscle and tendon properties during strength training and detraining. *J Strength Cond Res* 24: 322–331, 2010.
- Leong B, Kamen G, Patten C, Burke JR. Maximal motor unit discharge rates in the quadriceps muscles of older weight lifters. *Med Sci Sports Exerc* 31: 1638–1644, 1999.
- 25. Lovell DI, Cuneo R, Gass GC. The effect of strength training and short-term detraining on maximum force and the rate of force development of older men. Eur J Appl Physiol 109: 429–435, 2010.
- 26. Maffiuletti NA, Aagaard P, Blazevich AJ, et al. Rate of force development: Physiological and methodological considerations. *Eur J Appl Physiol* 116: 1091–1116, 2016.
- 27. Mendonca GV, Vila-Chã C, Teodósio C, et al. Contralateral training

- effects of low-intensity blood-flow restricted and high-intensity unilateral resistance training. *Eur J Appl Physiol* 121: 2305–2321, 2021
- 28. Mujika I, Padilla S. Detraining: Loss of traininginduced physiological and performance adaptations. Part I: Short term insufficient training stimulus. *Sports Med* 30: 79–87, 2000.
- 29. Nuzzo JL, McBride JM, Cormie P, McCaulley GO. Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *J Strength Cond Res* 22: 699–707, 2008.
- 30. Polito MD, Papst RR, Farinatti P. Moderators of strength gains and hypertrophy in resistance training: A systematic review and meta-analysis. *J Sports Sci* 39: 2189–2198, 2021.
- 31. Presland JD, Opar DA, Williams MD, et al. Hamstring strength and architectural adaptations following inertial flywheel resistance training. *J Sci Med Sport* 23: 1093–1099, 2020.
- 32. Sakugawa RL, Moura BM, Orssatto LBdR, et al. Effects of resistance training, detraining, and retraining on strength and functional capacity in elderly. *Aging Clin Exp Res* 31: 31–39, 2019.
- 33. Saric J, Lisica D, Orlic I, et al. Resistance training frequencies of 3 and 6 times per week produce similar muscular adaptations in resistance-trained men. *J Strength Cond Res* 33: S122–S129, 2019.
- 34. Schoenfeld BJ, Contreras B, Krieger J, et al. Resistance training volume enhances muscle hypertrophy but not strength in trained men. *Med Sci Sports Exerc* 51: 94–103, 2019.
- 35. Tillin NA, Pain MTG, Folland J. Explosive force production during isometric squats correlates with athletic performance in rugby union players. *J Sports Sci* 31: 66–76, 2013.
- 36. Van Cutsem M, Duchateau J, Hainaut K. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol* 513(Pt 1): 295–305, 1998.
- 37. Yang Y, Chen SC, Chen CN, et al. Training session and detraining duration affect lower limb muscle strength maintenance in middle-aged and older adults: A systematic review and metaanalysis. *J Aging Phys Act* 30: 552–566, 2022.

From Strength and Conditioning Journal Volume 45, Number 3, pages 325-332.

著者紹介



Jozo Grgic:
Victoria Universityの健康スポーツ研究所の特別研究員。



ドイツのシュロベンハウゼンのCounty Hospital Schrobenhausenの医学博士。