

筋力、パワー、筋肥大の向上に対する反復持続時間(総合的および異なる筋活動)の影響：系統的レビュー

Effect of Repetition Duration—Total and in Different Muscle Actions—On the Development of Strength, Power, and Muscle Hypertrophy: A Systematic Review

Adrián Moreno-Villanueva,¹ M.D. José Pino-Ortega,^{1,2} Ph.D. Markel Rico-González,^{2,3} Ph.D.

¹Faculty of Sports Sciences, University of Murcia, San Javier, Spain

²BIOVETMED & SPORTSCI Research Group, Department of Physical Activity and Sport, Faculty of Sport Sciences, University of Murcia, San Javier, Murcia

³Department of Didactics of Musical, Plastic and Body Expression, University of the Basque Country, UPV/EHU, Leioa, Spain

要約

本系統的レビューの目的は、(a)レジスタンストレーニング(RT)プログラム中の伸張性(ECC)および短縮性(CON)の筋活動における持続時間(MAD)の違いを検証した論文を特定し、(b)MADが筋力、パワー、筋肥大の適応にどのように影響するかを分析することであった。3つの電子データベースから24件の研究を選択した。結果として、特にテンポが2～4/0/1/0である中程度のECCのMADかつ高速でのCONのMADによるRTプロトコルは、トレーニングを行なっている者(18～24%)とトレーニングを行なっていない者(10～14%)の両方で、最大動的筋力の向上において最も高い向上が認められたことを示した。最大パワーの向上には、4秒未満の中程度MADによる総反復回数および8秒未満の長いMADでの総反復回数について、CONのMADが爆発的または速いという条件下で、トレーニングを行なっていない者と行なっている者に、それぞれ適しているようである(テンポ4～8/0/最大～3/0)。最後に、筋肥大は、トレーニングを行なっている者と行なっていない者の両方において、8秒未満のMADによる総反復回数で向上する可能性がある。筋肥大トレーニングの効果を最大化するための各筋活動の最適なテンポ設定はまだ完全には明らかにされていない。結論とし

て、MADの処方、トレーニングを行なっていない者および行なっている者に望ましい適応を起こすことを目的に、全体的に、そしてフェーズ特異的に考え計画される必要がある。

はじめに

筋活動持続時間(MAD)は、筋力、パワー、筋肥大の改善に影響を及ぼす可能性のある要因のひとつである(16,27,67)。さらに一連のエビデンスは、伸張性筋活動(ECC)および短縮性筋活動(CON)それぞれのMADが異なる神経筋および生理学的効果を誘発することを示唆している(16,17,27)。それゆえ、同じMADの総反復回数である場合、異なるECCおよびCONのMADは、異なる性質の神経筋適応を促進する可能性がある(23,54,64)。したがって、特定の目的のために異なるMADが処方されている(54,64)。

短縮性のMADは、負荷強度(1回の最大挙上重量[1RM]の割合[%])と負の相関があることが示されている(22)。したがって、MADは筋の力学的および代謝的ストレスを管理する方法であり、筋の適応の大きさに影響を与えるかもしれない(18,33,64)。さらに、各筋活動(CONまたはECC)の性質

も、必然的に神経筋適応の大きさと種類の両方を決定する要因となる(16,27)。例えばCormieら(6)は、ECCのMADよりも短いCONのMADが筋力の向上をより効果的に促進することを示唆した。さらにSchoenfeldら(54)は、他の研究で指摘されているように、適度な低負荷で行なわれる長いMADによる筋肥大の向上を、各セットにおいてコンセントリックフェーズで筋が疲労困憊に至る状況と関連づけた(33,62)。ただし、MADと負荷強度(1RMの%)との間に強い相関関係があるにもかかわらず、この関係性は筋活動フェーズに応じて異なる大きさで起こるのである(8,16,27,59)。この意味で、ECCはCONよりも多くのエネルギーを保持および蓄積することができるため、より高い負荷強度(CONの100% 1RMを超える相対値)を支えることができる(8,16,27)。その結果、筋力、パワー、および筋肥大の発達に対する影響を分析するために、両筋活動の持続時間を考慮して、様々なトレーニング頻度において調査することができる(18,35)。

レップ数に対するMADの影響を分析することへの関心が高まってきており、このトピックに関するいくつかのナラティブレビュー(38)および系統的レビュー(54)が発表されている。Lyons&Bagley(38)は、2~14秒の総反復MADでは、トレーニングを行なっている成人とトレーニングを行っていない成人の両方で筋力と筋肥大に類似した影響を及ぼしたことを示唆したが、前者のパワー発達には大きな違いが認められた。Schoenfeldら(58)は、系統的レビューを通じて、トレーニングを行なっている成人とトレーニングを行っていない成人の筋肥大適応における総反復MADの影響を分析し、合計MADが10秒を超える反復では、合計MADが10秒未満の反復と比較して、わずかながら筋肥大適応を促進すると結論づけた。最近、Wilkら(66)は、遅いECCのMADと速いCONのMADの組み合わせが、より大きな筋肥大の改善を促進している可能性があることを結論づけたが、著者らは特定のMADを示唆することはできなかった。言い換えれば、最大筋力、パワー、および筋肥大における、筋活動の各フェーズにおけるMADが与える影響はまだ理解できていない。したがって、本系統的レビューの目的は、(a)レジスタンストレーニング(RT)プログラム中におけるCONのMADとECCのMADを識別している論文を特定すること、(b)MADが筋力、パワー、および筋肥大適応にどのように影響するかを分析することであった。

方法

検索方法

系統的レビューおよびメタアナリシスガイドラインの報告すべき項目に従って系統的レビューを実施した。2021年6月16日までに公表された論文の中から特定するた

め、3つのデータベース(PubMed、Web of Sciences、Scopus)において系統的検索を実施した。著者らは、ジャーナル名や原稿の著者らについては盲検ではなかった。質問の具体的な文章を提供するため、PICO(患者、問題、または母集団/介入または曝露/比較、対照、または比較/結果)デザインを使用した。しかし、「母集団」と「比較」のセクションは、この研究にとって決定的であると考えられる残りのセクション(「介入」と「結果」)をより深くするために検索のために省かれた。さらに、最終的なデータベースは、臨床的側面よりもスポーツ的側面に焦点を当てた研究を優先した。2つの主要なグループからの単語:(a)介入においては、「短縮性の収縮」、「伸張性の収縮」、「エキセントリックトレーニング」、「エキセントリックエクササイズ」、「コンセントリックトレーニング」、「コンセントリックエクササイズ」、「反復速度」、「反復持続時間」、「収縮速度」、「収縮時間」、「筋活動持続時間」、「緊張時間」、および(b)結果においては、「筋力」、「筋肥大」、「パワー」が採用された。異なるグループの単語を組み合わせ、できるだけ多くの論文を抽出できるようにした。キーワードのグループ(介入および結果)は、各グループ内では“OR”で繋がられ、また“AND”を使用して2つのグループを統合した。

スクリーニング方法と研究選択

著者が検索(Adrián、Markel、およびJosé)を完了した際、同じ論文が認識されていないかを確認するためにその結果を比較した。次に、著者の1人(Adrián)が論文から主要なデータ(タイトル、著者、日付、およびデータベース)をダウンロードし、それらをExcelのスプレッドシート(Microsoft Excel、Microsoft、Redmond、USA)に移行した。そして、2名の著者(AdriánおよびJosé)が重複している部分を削除した。残りの論文は、2名の著者(AdriánおよびMarkel)により、それぞれ選択基準および除外基準(表1)と照らし合わせてスクリーニングおよびチェックが行なわれた。さらに、以前に認識されていない関連論文も同様にそれぞれスクリーニングされ、選択基準と除外基準に準じた研究がさらに選択され、「外部ソースから含まれたもの」と位置づけされた。

研究の質

選択された研究の質は、PEDroスケールを使用してそれぞれ評価された。この尺度は、理学療法とRTの研究の質を評価するために広く使用されており、許容できる検者間信頼性を示すランダム化試験(9)の方法論的質の妥当な指標であることが証明されている(44)。しかしオリジナルの11項目のPEDroスケールは、この系統的レビューで分析された研究では被験者と研究者を盲検化するプロセスが実行不可能で

表1 包含/除外基準

項目	包含基準	除外基準
母集団	傷害、疾患、その他の病態のない、18歳以上、65歳未満の対象者	研究の6ヵ月前以内に、関節や筋を受傷した18歳以上、65歳未満の対象者
介入または曝露	週1回以上のセッションの頻度で4週間以上の介入	
結果	速度および/または反復時間の測定、筋活動ごとの区別、短縮性局面および伸張性局面の組み合わせ筋力、パワー、筋肥大に関する結果を報告している研究	最大筋力、パワー、および/または筋肥大に関する生データの欠如および/または不十分なデータである研究 コントロール群のない研究
その他の基準	英語で記載された、査読済みの、全文が表示されている原著論文	その他の科学的な研究(書籍、会議、技術報告など)

あったため、8項目に変更された(項目5~7の削除)。この系統的レビューに含まれる論文のうち(n=24)、5件は8点満点中8点、7件は8点満点中7点、10件は8点満点中6点、2件は8点満点中5点と採点された。質が低いために除外した研究はなかった(表2)。

データ分析

選択された研究から集められた情報は、次に示すような側面がある。(a)研究の特徴(手順や方法論など)、(b)介入グループの特徴(形態データや身体能力データなど)、(c)筋力、パワー、筋肥大について得られた結果、および(d)得られたデータを正当化し理解することを目的とした科学的な厳密さと客観性を踏まえた結論。トレーニングを行っていない者の定義は、介入前に少なくとも3ヵ月間通常のRTプログラムを行っていない参加者、または以前の推奨事項に従って著者によってトレーニングしていないと分類された参加者とした(1,49)。介入の直前に少なくとも3ヵ月間通常のRTプログラムに参加した者、3ヵ月以上の経験があった者、または著者の判断によりトレーニングを行なっている被験者とみなされたものもある(1,49)。

異なるMADの扱いや表示に関しては、Wilkらによって提案された、単一の筋活動の特定運動フェーズにおける、持続時間範囲の分類に関する命名法(66)が使用された。したがって、「爆発的な筋活動」とは、最大随意速度で産み出されたものであり、「速い筋活動」の時間は1~2.9秒、「中程度の筋活動」の時間は3~5.9秒、「遅い筋活動」の時間は6~9.9秒、そして「極端に遅い筋活動」の時間は10秒以上のものとされている。数値的には、4つの表示(例:4/0/2/0)も反復持続時間を表すために利用され(65)、最初の数字はECCの持続時間(例では4秒)、2つ目はCONへ移行する前の等尺性フェーズ(例では0秒)、3つ目はCON(例では2秒)、4つ目はECCへ移行する前の等尺性フェーズ(例では0秒)とされた。

最後に、様々な調査によって提供された結果は、それぞれにおける値の範囲の明確な分析を適切に行なうため、関連する統計用語およびその統計的有意性の両者を記述した。

表2 バイアス評価のリスク

	1	2	3	4	8	9	10	11	スコア
Azevedoら(1)	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	7
Carlsonら(4)	✓	✓		✓		✓	✓	✓	6
Dinizら(7)	✓		✓	✓		✓	✓	✓	6
Fisherら(14)	✓		✓	✓		✓	✓	✓	6
Fisherら(15)	✓	✓		✓		✓	✓	✓	6
Gilliesら(19)	✓	✓		✓	✓	✓	✓		6
Goisら(20)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8
Gonzalez-Badilloら(21)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8
Iglesias-Solerら(28)	✓		✓			✓	✓	✓	5
Ingebrigtsenら(30)	✓		✓	✓	✓	✓		✓	6
Lacerdaら(35)	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	7
Mikeら(43)	✓	✓	✓		✓	✓		✓	6
Neilsら(45)	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	7
Pareja-Blancoら(46)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	7
Pearsonら(47)	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	7
Pereiraら(48)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	7
Ranaら(50)	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	7
Santos-Chavesら(5)	✓	✓	✓			✓	✓	✓	6
Schuenkeら(55)	✓	✓	✓			✓	✓	✓	6
Tanimoto & Ishii(57)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8
Tanimotoら(58)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8
Unluら(60)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8
Unluら(61)	✓	✓	✓	✓		✓		✓	6
Walkerら(63)	✓		✓	✓		✓		✓	5

備考: 選択基準(項目1)、無作為化された割りつけ(項目2)、割りつけの秘匿化(項目3)、ベースライン比較(項目4)、追跡調査(項目8)、治療の意図による分析(項目9)、群間分析(項目10)、ポイント推定値と変動性(項目11)

結果

研究の特定と選択

合計3,570編(PubMedで806編、WoKで1607編、Scopusで1157編)の原著論文が前述したデータベースからまず取得され、そのうち1,268本が重複していた。よって、合計2,292の原著論文が選択された。タイトルと抄録がチェックされ、2,262編の論文が除外された。そして、残りの30編を全文解析し、基準の2つ目によって9つの論文が、基準の3つ目によって2つの論文が除外された(表1)。さらに、追加された出典から5つの論文も選択された。合計24編の論文がすべての包含基準を満たし、最終的にこの系統的レビューの分析対象となった(図)。

研究の特性

対象となった24編の論文のうち、14編はトレーニングを行っていない者(1,5,7,14,20,28,30,34,50,55,57,58,60,61)が対象であり(表3)、10編はトレーニングを行なっている者(4,15,19,21,43,45-48,63)が対象であった(表4)。具体的には、

これらの24編の論文から、20編は筋力に対するMADの影響(対象がトレーニングを行っていない者10編、および対象がトレーニングを行なっている者10編)を、10編は筋パワーに対する影響を(対象がトレーニングを行っていない者5編、および対象がトレーニングを行なっている者5編)、そして13編が筋肥大に対する影響を評価することが目的であった(対象がトレーニングを行っていない者9編、および対象がトレーニングを行なっている者4編)。

筋力

合計10編の論文が、ECCのMADがCONのMADよりも長いテンポ設定における筋力への影響を分析した(1,4,15,19,20,30,43,45,47,48)。この点においては、被験者がトレーニングされているかどうかにかかわらず、両方の対象者で、最大動的筋力(+6~24%)の有意な改善が報告された。具体的には、テンポ3/0/1/0と4/0/1/0は、トレーニングを行なっている者(それぞれ+18%[47]と+24%[48])とトレーニングを行なっていない者(それぞれ+10%[20,30]

と+14%[1])の両方で最大の改善率を報告した。CONのMADがECCのMADより長いテンポ設定のグループ(20,45)を含む研究では、被験者のトレーニング状況に関係なく改善はみられなかったか(20)、ECCのMADがCONのMADよりも長いグループ(+3~5%)と比較して程度が小さかった(45)。この傾向は、ECCのMADがCONのMADと等しい研究グループで実施され、ECCのMADがCONのMADよりも長い研究(1,4,15,19,20,30,43,45,47,48)と比較し、改善率はより少ない(+8~15%)ことが報告された(30,43,47)。

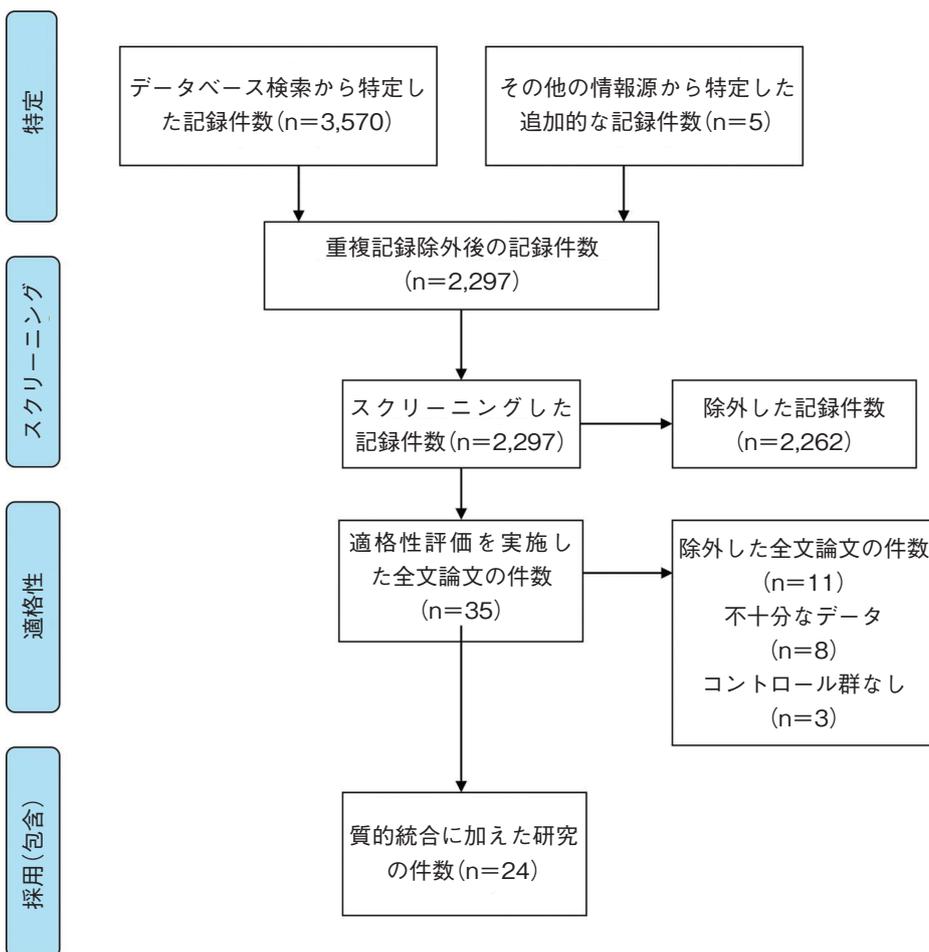


図 PRISMAフローチャート

PRISMA : Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
=系統的レビューおよびメタアナリシスのための優先的報告項目

表3 トレーニングを行っていない者を対象とした研究の実験の詳細

研究	被験者	介入	筋群(エクササイズ)	評価テスト	他の条件	トレーニングの筋力への影響	トレーニングのパワーへの影響	トレーニングの筋肥大への影響
Azevedoら(1)	男性8名 女性2名 年齢: 21.4±1.2 BMI: 23.1±1.2	8週間(週2回) 70% 1RMでECC1: 5×70% 1RM (2/0/1/0) ECC2: 5×70% 1RM (4/0/1/0)	膝関節伸筋群(レッグエクステンション)	漸増的1RMテスト A-モード超音波	カフェイン摂取なし	ECC1 およびECC2 における1RMの向上(それぞれ14%)	—	ECC1 およびECC2 における筋厚の増加(それぞれ+15%、+18%)
Dinizら(7)	女性44名 年齢: 22.2±2.87 BMI: 22.9±0.78	10週間(週3回) 50% 1RMで3~5×6回 CC:(1/0/5/0) TRAD:(3/0/3/0) EC:(5/0/1/0)	膝関節伸筋群(レッグエクステンション)	漸増的1RMテスト MRI	—	—	—	TRAD*、CC*、およびEC*における大腿四頭筋遠位でのCSAの増加(それぞれ、+6.3%、+6.4%、+5.5%) TRAD、CC、およびECにおける大腿四頭筋中部でのCSAの増加(それぞれ、+5.1%、+5.9%、+4.9%) CC†*、EC†*およびTRADにおける大腿四頭筋近位でのCSAの増加(それぞれ+4.3%、+3.9%、+3.4%)
Fisherら(14)	男性9名 年齢: 21.4±1.2 BMI: 24.4±1.8	6週間(週2回) 80% RM MF: 25回 (2/0/2/1) NMF5×5:(2/0/2/1)	膝関節伸筋群(レッグエクステンション)	最大等尺性筋力(7つの角度で)	—	MF*およびNMF*においてMIF*が向上	—	—
Goisら(20)	男性105名 年齢: 21±2.6 BMI: 23.7±3.2	4週間(週2~3回) CC(1/0/3/0) EC(3/0/1/0) セッション 漸増(筋が疲労困憊になるまで): 3×8、3×6、3×4、3×2、3×1	膝関節伸筋群(レッグエクステンション)	漸増的1RMテスト	カフェイン摂取なし、温度および湿度	EC*におけるMDF(1RM)の向上(+10%)	—	—
Iglesias-Solerら(28)	男性6名 女性7名 年齢: 22±3 BMI: 22.35±2.03	5週間(週2回) CG: 4×8(10RM) TRAD: 32回 (10RM、レップ間17.4秒)	膝関節伸筋群(レッグエクステンション)	漸増的1RMテスト 漸増的10RMテスト	—	—	F-V比: どのグループにおいても最大パワーの向上なし CG***におけるF0の向上(+26.2%)、およびTRAD**におけるV0の向上(+3.0%)	—

表3 トレーニングを行っていない者を対象とした研究の実験の詳細(つづき)

研究	被験者	介入	筋群(エクササイズ)	評価テスト	他の条件	トレーニングの筋力への影響	トレーニングのパワーへの影響	トレーニングの筋肥大への影響
Ingebrigtsenら(30)	男性39名 年齢: 23±3	4週間(週3回) TRAD: 60% 1RMで5×10 (3/0/3/0) EC: 60% 1RMで5×10 (3/0/1.5/0) CG: 30% 1RMで10×10 (3/0/0.6/0)	肘関節屈曲筋群(バイセップスカール)	等尺性筋力テスト(120°) 等速性筋力テスト(30°、90°、240°、300°)	—	EC**およびCGでのMDFの向上(それぞれ+9.7%、+4.4%) 30°でのTRADにおけるMIFの向上(+8.5%)	RFDにおいてはグループ間で有意な差はなし(100m/秒の時点において)	—
Lacerdaら(35)	男性10名 年齢: 23.1±4.63 BMI: 23±1.83	14週間(週3回) 3~4 ×50~60% 1RM TRAD1: (1/0/1/0) TRAD2: (3/0/3/0)	膝関節伸筋群(レッグエクステンション)	等尺性筋力テスト(30°、90°) 漸増的1RMテスト 超音波画像	—	—	—	TRAD1***およびTRAD2***における大腿直筋と外側広筋のOCSAの増加
Ranaら(50)	女性34名 年齢: 21.1±2.7 BMI: 24.23	6週間(週3回) TRAD: 6~10RM (1~2/0/2/0) ET: 20~30RM (1~2/0/1~2/0) SS: 6~10RM (4~5/0/10/0)	膝関節伸筋群(レッグプレス、バックスクワット、およびレッグエクステンション)	1RMテスト、トライ&エラー 筋持久力テスト(60% 1RMで筋が疲労状態に達するまで) パワー(自転車車エルゴメータ) 最大 $\dot{V}O_2max$ テスト	—	相対的フォース レッグプレスでの向上 TRAD*,†(+61.8%)>SS*(+26.9%)>ET*(+23.4%) バックスクワットでの向上 TRAD*,†(+45.5%)>SS*(+26.6%)>ET*(+21.6%) レッグエクステンションでの向上 TRAD*,†(+53.1%)>SS*(+30.0%)>ET*(+16.8%) MDF(1RM): レッグプレスでの向上 TRAD*,†(+62.4%)>SS*(+26.8%)>ET*(+23.8%) バックスクワットでの向上 TRAD*(+46.2%)>SS*(+26.8%)>ET*(+22.0%) レッグエクステンションでの向上 TRAD*,†(+53.9%)>SS*(+30.2%)>ET*(+17.1%)	TRAD*における垂直跳びの向上(+8.3%)	—

表3 トレーニングを行なっていない者を対象とした研究の実験の詳細(つづき)

研究	被験者	介入	筋肉群(エクササイズ)	評価テスト	他の条件	トレーニングの筋力への影響	トレーニングのパワーへの影響	トレーニングの筋肥大への影響
Santos-Chavesら(5)	男性20名 年齢: 24.7±2.9 BMI: 24.54	8週間(週2回) TRAD: 70% 1RM 3セット (2/0/2/0) MF: 70% 1RMで3セット (自身で選択した時間) NMF: 70% 1RMで2~ 3セット(自身で選択 した時間) 量はMF2と同等	膝関節伸筋 群(レッグエク ステンション)	片側での1RM テスト、トラ イ&エラー Bモード超音 波	—	全てのグループでMDF(1RM) の向上***(+10~13%)	—	全てのグループにおいて***CSA (外側広筋)の増加(+8~10%)
Schuenke ら(55)	女性34名 年齢: 21.1±2.7	6週間(週3回) SS: 10RMで3×6 (4/0/10/0) ET: 3×20~30RM(1~ 2/0/1~2/0) TRAD: 3×6~10RM(1~ 2/0/1~2/0)	膝関節伸筋 群(レッグ プレス、スク ワット、および レッグエク ステンション)	漸増的1RM テスト 筋持久力テス ト(60%RM で筋が疲労困 憊に達するま で) 筋バイオプ シー	—	筋線維タイプの割合: SS**, 井において IIcが増加(+ 390%) TRAD**において IIaが増加(+ 23%) TRAD*, SS**, およびET**におい て IIaxが増加(それぞれ+30%、 +30%、+34%) TRAD*, SS**, ET**において II xの減少(それぞれ-56%、- 47%、-49%)	筋線維CSA: TRAD***における Iの向上(+ 21%) TRAD***およびSS*における II aの向上(それぞれ+24%、+ 11%) TRAD***およびSS*における II xの向上(それぞれ+27%、+ 16%)	
Tanimoto & Ishii (57)	男性24名 年齢: 19.4±0.6 BMI: 20.76	12週間(週3回) SCE: 8RMで3セッ ト(3/0/3/0) TRAD: 8RMで3セット (1/0/1/0) CG: 50%RMで3×8 (1/0/1/0)	膝関節伸筋 群(レッグエク ステンション)	等尺性筋力テ スト(80°) 等速性筋力 テスト(90°、 200°、300°/ 秒) MRI	—	MIFの向上 TRAD*, †(+)>SCE*(+) TRAD*およびSCEにおけるMDF (1RM)の向上(それぞれ+25%、 +22%)	CSAの向上 SCE*(+5.4%) †およびTRAD*, †(+4.3%)>CG	
Tanimoto ら(58)	男性36名 年齢: 19.4±0.6 BMI: 20.97	13週間(週2回) SCE: 8RMで3セット (3/0/3/0) TRAD: 8RMで3セット (1/0/1/0)	膝関節伸筋 群(スクワッ ト) 胸筋群(ベンチ プレス) 広背筋(プルダ ウン)	各エクササ イズにおけ る1RMテス ト、トライ&エ ラー MRI	—	TRAD*とSCE*におけるMDF(エ クササイズの1RMの総和)の向 上(それぞれ+41%、+33%)	SCEおよびTRAD*における筋厚 (総和)の増加(それぞれ+7%、+ 9%) SCE*における肩甲下の脂肪の増 加(+10%)、およびTRAD*, †に おける肩甲下の脂肪の減少(- 3%)	

表3 トレーニングを行っていない者を対象とした研究の実験の詳細(つづき)

研究	被験者	介入	筋群(エクササイズ)	評価テスト	他の条件	トレーニングの筋力への影響	トレーニングのパワーへの影響	トレーニングの筋肥大への影響
Unluら (60)	男性41名 年齢: 21.1±1.8 BMI: 22.0±2.6	12週間(週3回)	膝関節伸筋群(レッグエクステンション)	漸増的1RMテスト	—	—	—	—
	SC・SE: 6~8RM(2.5秒CONもしくはECC) FC・FE: 8~10RM(0.5秒CONもしくはECC) TRAD: 8~10RM(1/0/1/0)	等尺性レジスタンステスト 筋量 MRI	60°/秒*および180°/秒でのTRADにおけるMIFの向上(それぞれ+32%、+20%)	—	—	TRADにおける筋量の増加(+7%) TRADの3週*、6週*、9週**および12週におけるMDF(1RM)の向上(合計+41.5%)	—	—
Usuiら (61)	男性16名 年齢: 22.3±1.3 BMI: 23.7±0.16	8週間(週3回) SCE: 50% 1RMで3×10(3/0/3/0) TRAD: 50% 1RMで3×10(1/0/1/1)	膝関節伸筋群(スクワット)	漸増的1RMテスト Bモード超音波	—	ヒップエクステンションのSCE*におけるMIFの向上(+18%) SCE*におけるMDF(1RM)の向上(+10%)	どのグループでも拳上パワーには効果なし どのグループにもレッグエクステンションパワーには効果なし	SCE*における外側広筋の中央部と遠位部、大腿直筋遠位部の増加(それぞれ+6%、+9%、+10%)

1RM: 1回最大上重量、BMI: 体格指数、CC: 短縮性収縮グループ、CON: 短縮性筋活動、CG: 対照群、CSA: 横断面積、EC: 伸張性収縮グループ、ECC: 伸張性筋活動、ET: 持久系トレーニング、F-V: 力-速度、FC: 高速の短縮性収縮、FE: 高速の伸張性収縮、MDF: 最大動力的発揮、MIF: 最大等尺性フォース、NMF: 筋の疲労困憊の手前、Pmax: 最大パワー、RFD: 力の立ち上がり率、SC: 速い短縮性収縮、SCE: 速い短縮性収縮と伸張性収縮、SE: 速い伸張性収縮、SS: ごく速い反復、TRAD: 伝統的な方法グループ
トレーニング前後におけるグループ内の有意差: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ グループ間の有意差: † $p < 0.05$, ‡ $p < 0.01$

表4 トレーニングを行なっている被験者を対象とした研究の実験の詳細

参照	被験者	介入	筋群(エクササイズ)	評価テスト	他の条件	トレーニング効果		
						筋力	パワー	筋肥大
Carlsonら (4)	女性34名 男性25名 年齢: 40±12.6 BMI: 25.79±0.17 トレーニング 歴: 6ヵ月以上	10週間(週2回) EC: 8~12RM(4/0/2/0) SS1: 3~5RM(10/0/10/0) SS2: 1~5RM(30秒CON+30秒 ECC+30秒CON)	膝関節伸筋 群(レッググ レス) 胸筋群(ベン チプレス) 広背筋(プル ダウン)	10RMから算 出した1RM 身体測定	—	MDF(1RM): EC*, SS1*および SS2*におけるベンチプレスの向 上 EC*, SS1*およびSS2*における レッグプレスの向上 EC*, SS1*およびSS2*における プルダウンの向上	—	どのグループでも平均 の腕および大腿の周囲 径に効果はなし
Fisherら (15)	女性29名 男性30名 年齢: 39.3±12.3 BMI: 25.4±3.36 トレーニング 歴: 6ヵ月以上	10週間(週2回) EC: 奇数セッション: 8~12RM(4/0/2/0) 偶数セッション: ECCのみで奇数セッションの 負荷の30%(10/0/0/0) EC-A: 6RM(10/0/2/0) TRAD: 8~12RM(4/0/2/0)	膝関節伸筋 群(レッググ レス、レッグ エクステン ション) 胸筋群(ベン チプレス、ベ クトラルフラ イ) 広背筋(プル ダウン)	筋パフォーマンス テスト: 8~12RM (2:4) 推定1RM	—	すべてのグループにおいてMDF (1RM)の向上、グループ間では有 意差なし	—	—
Gilliesら (19)	男性28名 年齢: 24.3±1.1 BMI: 24.7±0.7 トレーニング 歴: 3ヵ月以上	10週間 CC: 6~8RMで2セット (2/0/6/0) EC: 6~8RMで2セット (6/0/2/0)	膝関節伸 筋群(レッグ プレス、スク ワット、およ びレッグエク ステンション) 胸筋群(ベン チプレス)	1RM(LP) CON、ECC、 およびCON/ ECCを失敗 まで 筋バイオブ シーおよび身 体測定	月経サイ クルの調 整 食事コン トロール (2週間 に3日)	両グループにおいて、以下の条件 でMDF(1RM)の向上 ECC*, †(+43.6%) > ECC/ CON*(+25.2%) > CON*(+ 21.3%)	タイプ別筋繊維の割合: EC*におけるIの増加 EC*におけるタイプIIの減少 CC†におけるタイプIIaの増加	筋繊維CSA: CC*およびEC**におけ るタイプIの増加(それ ぞれ+16.4%、+11%) CC***におけるタイプII aの増加(+25.8%) CC*およびEC*における 大腿中間位の周囲径の 増加(それぞれ+1%、+ 1%)
Gonzalez- Badilloら (21)	男性20名 年齢: 21.9±2.9 BMI: 22.63±0.23 トレーニング 歴: 2~4年	6週間(週3回) 最大速度および最大の半分の 速度で筋が疲労困憊になるま で セッションと漸増3×6、3× 5、3×5、4×3、4×3、3×2	胸筋群(ベン チプレス)	1回目の回復 スピードから 推定された漸 増的1RM	温度と湿 度	MDF(1RM)の向上 最大速度***, †(+18.2%) > 最大 の半分の速度**(+9.7%)	AVの向上 最大速度***, †(+20.8%) > 最大 の半分の速度***(+10.0%) 0.8m/秒以上のAVの向上 最大速度***, †(+11.5%) > 最大 の半分の速度*(+4.5%) 0.8m/秒未満のAVの向上 最大速度***, †(+36.2%) > 最大 の半分の速度***(+17.3%)	—

表4 トレーニングを行なっている被験者を対象とした研究の実験の詳細(つづき)

参照	被験者	介入	筋群(エクササイズ)	評価テスト	他の条件	トレーニング効果		
						筋力	パワー	筋肥大
Mikeら (43)	男性30名 年齢: 23±3.5 BMI: 25.88±0.05 トレーニング 歴: 3±1年	4週間(週2回) TRAD: 6RMで4セット(2/0/2/1) EC1: 6RMで4回セット(4/0/2/1) EC2: 6RMで4回セット(6/0/2/1)	膝関節伸筋群(バックスクワット)	漸増的1RMテスト パワーテスト ト:負荷をかけたプライオメトリックス(45% 1RM) CMJ	カフェイン摂取なし	TRAD**、EC1***およびEC2***における最大パワーの向上(それぞれ+10%、+8%、+9%) TRAD***、EC1**およびEC2**における中程度のパワーの向上(それぞれ+10%、+8%、+7%) TRAD*におけるCMJの向上(+4%)	—	
Nelisら (45)	女性10名 男性6名 年齢: 22.3±2.2 BMI: 24.02±0.21 トレーニング 歴: 3ヵ月以上	8週間(週3回) EC: 6~8RM(4/0/2/0) SS: 6~8RM(5/0/10/0)	膝関節伸筋群(スクワット、およびレッグエクステンション) 胸筋群(ベンチプレス) 肘関節屈筋群(バイセツプスカール)	推定1RM (BPおよびSQ) パワー(スクワット) ジャック CMJ	—	MDF(1RM): EC*およびSS*におけるベンチプレスの向上(それぞれ+6%、+5%) EC*(+6%)>SS*(+3%)におけるスクワットの向上	—	
Pareja-Blancoら (46)	男性21名 年齢: 23.3±3.2 BMI: 23.49±0.18 トレーニング 歴: 1.5~4年	6週間(週3回) 最大速度および最大の半分の速度 セッションと漸増3×6、3×5、3×5、4×3、4×3、3×2両グループのエキセントリックの速度=0.5~0.65m/秒	膝関節伸筋群(バックスクワット)	CMJ 漸増的等慣性負荷: (ECC0.5~0.65m/秒および最大スピードでのCON)	—	最大速度***および最大の半分の速度**におけるAVの向上(それぞれ+15%、+8%) 最大速度***および最大の半分の速度***における1m/秒未満のAVの向上(それぞれ+18%、+13%) 最大速度***における1m/秒以上のAVの向上(+11%) 最大速度***におけるCMJの向上(+9%)	—	
Pearsonら (47)	男性18名 年齢: 23.4±2.7 体重(kg): 77.7±10.3 トレーニング 歴: 3年以上	8週間(週2回) TRAD: 8~10RMで3セット(1/0/1/0) EC: 8~10RMで3セット(3/0/1/0)	膝関節伸筋群(レッグエクステンション)	漸増的1RMテスト 身体測定	カフェインとプロテインをそれぞれトレーニング前後に摂取	EC*およびTRAD*におけるMDF(1RM)の向上(それぞれ+18%、+15%)	—	TRAD*およびEC*における筋厚の向上(それぞれ+5%、+3%)

表4 トレーニングを行なっている被験者を対象とした研究の実験の詳細(つづき)

参照	被験者	介入	筋群(エクササイズ)	評価テスト	他の条件	トレーニング効果		
						筋力	パワー	筋肥大
Pereira (48)	男性12名 年齢: 29.3±6.9 BMI: 24.71±0.28 トレーニング 歴: 12ヵ月以上	12週間(週2回) TRAD: 8RMで3セット(1/0/1/0) EC: 8RMで3セット(4/0/1/0)	肘関節屈曲筋 群(スコット カール)	漸増的1RM テスト Bモード超音 波	—	EC*におけるMDF(1RM)の向上 (+24%)	—	筋肥大 EC*における上腕二頭 筋CSAの増加(+14%)
Walker (63)	男性28名 年齢: 21±3 BMI: 23.94±0.22 トレーニング 歴: 6ヵ月以上	10週間(週2回) TRAD y EC-A: (2/0/2/0) 奇数セッション: 6RMで3セット 偶数セッション: 10RMで3セット EC-Aでは、ECの負荷+TRAD より+40%	膝関節伸筋 群(レッグブ レス、および レッグエクス テンション) 膝関節屈曲筋 群(レッグフ レクション)	等速性最大 筋力(2× 3RM) 等尺性最大筋 力(110°で) 等尺性ランブ 収縮	トレーニ ング後に ホエイブ ロテイン 23g摂取	EC-A*およびTRAD*における MDF短縮性筋活動(1RM)の向上 (それぞれ+10%、+8%) EC-A*におけるMDF伸張性筋活動 (1RM)の向上(+9%) EC-A*およびTRAD*におけるMIF (1RM)の向上(それぞれ+18%、 +11%)	—	—

1RM: 1回最大上重量、AV: 平均速度、BMI: 体格指数、CMJ: カウンタームーブメントジャンプ、CON: 短縮性筋活動、CSA: 横断面積、EC: 伸張性筋活動、EC-A: 伸張性筋活動の強調、MDF: 最大動的力発揮、SJ: スクワットジャンプ、SS: ごく速い反復、TRAD: 伝統的な方法グループ、トレーニング前後におけるグループ内の有意差: *p<0.05、**p<0.01、***p<0.001、グループ間の有意差: †p<0.05、‡p<0.01

筋パワー

ECCのMADがCONのMADよりも長いトレーニングテンポにおける筋パワーへの影響を調査した研究では、この変数を調査した唯一の研究において、トレーニングを行なっていない者に有意な差は認められなかった(30)。しかし同じ条件下でトレーニングを行なっている者では、4~6/0/2/0~1のテンポで7~8%の改善が報告され(43)、8%のカウンタームーブメントジャンプ(CMJ)の改善が報告された(45)。ECCのMADより長いCONのMADのトレーニングテンポで、この変数を調査したトレーニング条件の研究はなかった。しかし、ECCのMADと同等のCONのMADのトレーニングテンポでこの変数を分析した調査研究では、トレーニングを行なっていない者(+8.5%)(50)とトレーニングを行なっている者(+4%)(43)におけるCMJ値の増加を示し、また後者において最大パワーと平均パワーの有意な増加(+10%)も示した。爆発的な収縮を伴うトレーニングを行なっている者のグループで、この変数を調査した研究では、0.8m/s(+36%)(21)および1m/s(+18%)(46)未満の速度でもパワー発揮能力の改善が報告された。

トレーニングを行なっていない者(55)とトレーニングを行なっている者(19)の両方において、筋線維の割合の変化を分析することに焦点を当てた研究は限られていた。どちらの場合も、ECCのMADよりもCONのMADが長いグループでは、タイプIIa線維の増加(+30%)がみられた(55)。

筋肥大

ECCのMADがCONのMADよりも長いテンポのグループでは、筋厚において有意な向上が報告され、同様のテンポ(それぞれ4/0/1/0および3/0/1/0)では、トレーニングを行なっていない者(15~18%)(1)のほうがトレーニングを行なっている者(+3%)(47)よりもかなり大きな向上の度合いを示した。さらに、ECCのMADがCONのMADと同等の長さによるテンポを用いた研究では、トレーニングを行なっていない者において筋厚の増加(+6~10%)を示し(58,60,61)、この対象者での研究の中で、最も長い反復持続時間(3/0/3/0)において改善の最

大値を示した(61)。この傾向は、それを評価した唯一の研究(1/0/1/0、+5%)において、トレーニングを行なっている者にも反映されていた(47)。

最後に、筋横断面積(CSA)に関する適応について、各集団で広範囲に研究が行なわれている。トレーニングを行なっていない者(5,7,34,55,57)において、ECCのMADがCONのMAD(+3.4~27.0%)と同等のテンポで、1~2/0/1~2/0(55)より長い設定、またはCONのMADがECCのMAD(+4.3~25.8%)(7,19)よりも長い設定である、2/0/6/0(19)で、最高値が記録された。

考察

本系統的レビューの目的は、(a)RTプログラム中においてCONのMADとECCのMADを区別して行なった論文を特定し、(b)動作のテンポが筋力、パワー、筋肥大の適応にどのように影響するかを分析することであった。主な発見として、筋活動の各フェーズにおけるMADが最大筋力、パワー、および筋肥大の発達にかなりの影響を及ぼすことを明らかにしている。最大筋力の向上を最大化するためには、トレーニングを行なっていない者(10~14%)(1,20,30)とトレーニングを行なっている者(18~24%)(47,48)の両方において、2~4/0/1/0のテンポが推奨される。最大パワーの発達のために、4秒未満の中程度の総反復MADはトレーニングを行なっていない者(+8.3%、 $p<0.05$)(28,50)、およびCONのMADが短く2秒未満であり、ECCのMADが長く8秒未満の場合(21,43,46)のトレーニングを行なっている者(+8~36%)で有意な改善を認めた。最後に、ECCのMADがCONのMADよりも長い設定では、トレーニングを行なっていない者(1,55,58,61)は非常に遅い総反復MAD(10~14秒)、トレーニングを行なっている者(47,48)は4~7秒の総反復MADで、筋肥大を向上させることが示唆されている。

筋力

反復持続時間は、その調整が最大筋力の発達を最適化できるRT変数のひとつである(66)。総反復MADの長さを変更することによる最大筋力の潜在的な改善は、ECCのMADおよびCONのMAD(52)を示す筋活動のテンポの処方、および特にそれらが高負荷によって向上が促進される場合、筋活動の各フェーズにおける強度を特定することでより大きくなる(10,13)。さらに、与えられた強度およびMADに対する即時的な変化は、トレーニング状況に応じて異なる(38)。現在公開されている文献では、トレーニング状況に応じて、どのECCおよびCONのMADが最大筋力の発達に最も適しているのか、または最大筋力の発達を促すための最適な強度を具体的に特定することはできないが、本系統的レビューの結果

は、3/0/1/0および4/0/1/0のテンポが、他のトレーニング(1,20,30)と比較し、トレーニングを行なっている者(47,48)とトレーニングを行なっていない者の両方において、最大筋力のより大きな発達を促進することを示唆している(表3、4)。これらの改善は、筋線維の動員における、より大きな最適化(12,38,56)によるものであり、トレーニングを行なっている者(47,48)において改善がより大きかった(+18~24%)であった。

前述したとおり、いくつかの研究では、トレーニングを行なっていない者の最大筋力(5,20,30,50,57,58,60,61)を改善する方法を解明するために、様々なMADを提示している。例えば、Ranaら(50)は、6~10RMの強度で1~2/0/1~2/0のテンポで実施した者では、超低速でのトレーニング設定(6~10RMで4~5/0/10/0)および中程度のMAD(20~30RMで1~2/0/1~2/0)で持続的なRTを実施した者よりも、最大動筋力と相対筋力の有意な増加を報告した。これらの結果は、より大きな負荷強度(36,37)と総反復MAD(23,64)が要因であると考えられる。ストレッチショートニングサイクルにおいてCONのMADとECCのMADを区別する研究が近年増加していることを念頭に置き(11,20,29,30,35,50,55)、Azevedoら(1)、Goisら(20)、Ingebrigtsenら(30)などの一部の研究者は、CONのMADが短く、中程度のECCのMAD設定では、最大動筋力のより大きな向上に繋がる可能性があることを発見した(10~14%、 $p<0.01~0.05$)。具体的には、実験群のテンポは2~4/0/1/0(1,20,30)であったのと比較し、対照群はそれぞれ1/0/3/0および3/0/3/0であった。

同様にいくつかの研究では、トレーニングを行なっている者における、異なるCONのMADおよびECCのMADの活用について調査している。例えば、González-Badilloら(21)は異なるCONのMADの影響を調査し、爆発的なCONは、最大短縮速度(+9.7%、 $p<0.01$)の2倍の時間で実施したCONと比較して、最大動筋力のより大きな改善(+18.2%、 $p<0.001$)に繋がることを発見した(21)。これは、運動速度が速いほど、より多くのタイプIIb線維が動員され、その結果、最大動筋力の発達が誘発されている可能性がある(2,24,31)。一方、一部の研究者らは、最大動筋力におけるCONとECCの両方の影響を調査している。Pereiraら(48)とPearsonら(47)は、それぞれ4/0/1/0および3/0/1/0の設定が、1/0/1/0の設定での対照群よりも大きな改善(+18~24%)を誘発することを発見し、それはCarlsonら(4)、Mikeら(43)、およびNeilsら(45)によって行なわれた研究によっても裏づけられている。したがって、中程度のECCのMAD(3~4/0/1/0)かつ高速CONのMAD設定で行なうことは、トレーニングを行なっている者がECCにおいて弾性エネルギーを保持し、続くCONに移行させることを考えた場合、適切な戦略である可能性がある(39,42)。

簡潔に言えば、中程度のECCのMAD(3~4/0/1/0)と組み合わせた高速CONのMADは、トレーニングを行なっている者(47,48)とトレーニングを行なっていない者(1,20,30)の両方で、最大動的筋力のより大きな改善を誘発する可能性がある。これは、部分的には、ECCがCONと比較し、より低い神経発火(27,39)および代謝コスト(8)で、より高いピーク筋力を発揮する能力(26)に起因しているかもしれない。結果として、それはフェーズ間における力学的ストレスのより効率的かつ効果的な移行のために、ECC中の弾性エネルギーの保持とCONへの移行として捉えられている(39,42)。

筋パワー

パワーは、力と速度に密接に関係する(32)。そのため、特異性の原理(3,51)に従って、中程度の負荷強度(60~80% 1RM)(32,41)での爆発的で意図的な全反復MADを用いたRTの処方 は合理的である。しかし、最大パワー向上のための神経筋適応が減少し始める総反復MADの限界、およびトレーニングのレベルがこれらの値に影響を及ぼすかどうかは不明である。本調査の主な結果は、トレーニング処方 は、現在のトレーニングレベルに応じて1RMの60~95%にすべきであり、トレーニングを行なっていない者においては中程度の総反復MADを4秒未満(60~80% 1RMおよび2/0/2/0)(28,50)、およびトレーニングを行なっている者においては8秒未満の長い総反復MAD(60~95% 1RM、およびCONのMADが高速で2秒より短いという条件)であるべきだと示唆している(21,43,46)。全体として、ECCのMAD>CONのMAD(19,21,43,45,46)が最大パワーの大幅な改善に繋がる可能性があることが強調されている。しかしこれらの適応は、トレーニング状況および/または過去のトレーニング経験によって異なるかもしれない(19,55)。

トレーニングを行なっていない者を対象に実施された研究では、本系統的レビューに含まれる文献内(28,30,61)で示されたように、1RMの60%を超えるトレーニング強度の活用が重要であるように思われる(32,68)。運動速度に関して、Schuenkeら(55)は、各筋活動における異なるMADが筋力の発達にどのように影響するかを分析した。この研究では、著者らは、ECCのMADに等しいCONのMAD(すなわち、1~2/0/1~2/0)が、より高速でのトレーニングと密接に関連しているタイプII線維のより大きな動員(+23%タイプIIa、+30%タイプIIax)を伴って、パワーの改善を誘発することを発見した(24,67)。しかし、この同じトレーニングテンポにおいて、タイプIIx線維の割合(-56%)の減少も報告されている。今後の研究では、トレーニングを行なっていない者で最大パワーを向上させるために、異なるCONおよびECC比で、2秒未満のMADの効果を分析する必要がある。

トレーニングを行なっていない者を対象とした研究とは異なり、いくつかの研究では、CONのMADとECCのMADが最大または相対的なパワーに及ぼす影響を評価することを試み、動員する筋線維の割合を高めるための筋活動時間を考えた場合、合計反復MADを8秒未満(21,43,45,46)にすることを推奨している。さらにGilliesら(19)は、等しい総反復MADを有する異なるCONのMADおよびECCのMADの効果が、動員された筋線維タイプの割合に関連する異なる適応を誘発することを発見した(19)。本研究では、MADが6/0/2/0のグループでは、タイプII線維の割合が有意に減少(-15%、 $p < 0.05$)し、タイプI線維が増加した(+10%、 $p < 0.05$)。一方で、MADが2/0/6/0のグループは、タイプI線維の割合は減少しなかったが、タイプIIa線維の割合の増加(+7%、 $p > 0.05$)がみられた。したがって、より長いECCのMADを使用したトレーニング処方 は、より大きな力学的ストレスと代謝ストレスの両方を誘発する可能性があり(8,27,42)、タイプI線維の特性を活用してそのようなトレーニング処方の要求を満たすことができるが(24)、一方で最大パワーを改善する確率は低くなると結論づけられるかもしれない。そのため、トレーニングを行なっている者の最大パワーを改善することを目的としたトレーニング処方 は、8秒未満の総反復MADを使用することを頭に入れておくべきである。具体的には、2秒未満のCONのMADとCONのMADよりわずかに長いECCのMADは、より多くの弾性エネルギーが蓄えられ(8,27)、CONへのより効率的な負荷の移行が促進される(39,42)と考えられる。この考えは、6/0/2/0のMADによるトレーニングを行なっている者で、より大きなパワー発揮能力を認めたMikeら(43)の研究と一致している。したがって、筋活動の性質は、トレーニングを行なっている者におけるパワー発揮のための適応メカニズムを、少なくともある程度は決定すると結論づけることができる。それゆえ、最大2秒のCONのMADが筋パワーを向上させるための適切な基準であるということに賛同できる。しかし、今後の研究では、ECCの時間の最適な長さを調査する必要はある。

要約すると、筋活動における各フェーズの持続時間は、パワー発揮能力、ならびにタイプII線維の活動割合で生じる適応に大きな影響を与える(2,16,67)。トレーニングを行なっていない者では、強度は1RMの60~80%を使用し、4秒未満の中程度の総反復MADとすることが推奨されている(28,50)。トレーニングを行なっている者の場合、CONのMADが2秒未満の高速で、ECCのMADが8秒を超えないように設定すれば、最大8秒の総反復MADで最大パワーの大幅な改善が得られるだろう(21,43,46)。しかし、爆発的なCONで最大の改善が報告されたことにも留意しておくことが重要である(21,46)。

筋肥大

CONとECCの両方に異なるMADを使用することで、異なる生理学的調節(53,54)と形態学的適応(25,53,62)に繋がる可能性があるため、トレーニングを行っていない者とトレーニングを行なっている者に、より大きな筋肥大を誘発するためにどのMADを処方すべきかを要約することは有用なことだろう。

分析した研究における介入は、4～14秒(1,5,7,19,34,47,48,55,57,58,60,61)の総反復MADであり(1,5,7,34,47,48,57,58,60,61)、ほとんどの調査で7秒未満の総反復MAD(1,5,7,34,47,48,57,58,60,61)であった。これらのトレーニング処方、筋の疲労困憊に至るまで実施すれば、0.5～8秒の総反復MADでトレーニングを行なった際の筋肥大の改善と類似していることを発見したSchoenfeldら(54)の研究の内容と一致している。しかし、筋活動の各フェーズ(CONおよびECC)におけるMADは、筋肥大において重要であるようである(11,16,27,67)。具体的には、Schuenkeら(61)は、持久系トレーニングに焦点を当てた1～2/0/1～2/0のテンポに対し、4/0/10/0のテンポがタイプII線維のCSA増大(+11～16%)を促すことを発見した。これは、中等度の持続時間のCONによって代謝ストレスが発生し(8,31)、残存するIIa線維とIIx線維の関与が強まったためと考えられる(17,24)。さらにこのMADでは、総反復MAD(23,24,64)の強度が低いため、タイプI線維のCSAが増加することが予想されるが、この点に関する研究は少ないため、この仮説は慎重に解釈されるべきである。一方、他の研究では、トレーニングを行っていない者では筋厚(+6～18%)(1,58,61)が大幅に向上し、ECCのMADがCONのMADよりも長い場合は、より大きな向上がみられた(3/0/3/0で6～10%、2～4/0/1/0で15～18%)。これらの発見は、ECCのMADにおける機械的張力(すなわち、爆発的なCON)に対する耐性と蓄積する能力が高いことを示唆する先行研究の仮説を支持している(8,27)。この要因は、特定のトレーニング負荷に対する神経筋適応を得るためのトレーニングを行っていない者においてはより高い感度になり(38)、トレーニングを行なっている者で実施された同様の研究によって報告された結果よりも大きな改善をもたらす(3/0/1/0テンポで筋厚が+3%[47]vs. 2～4/0/1/0テンポで+15～18%[1])。

トレーニングを行なっている者に関して、Gilliesら(19)およびPereiraら(48)は、筋のCSAに対する異なるトレーニング処方プロトコルの効果を評価した(それぞれ2/0/6/0と6/0/2/0、1/0/1/0と4/0/1/0)。結果として、トレーニングを行なっている者は、本系統的レビューに含まれる論文にみられる有意な改善(+11～25.8%、 $p<0.001$ ～ $p<0.05$)を考慮して、5～8秒の総反復MADを活用することを頭に入れる必

要がある。重要なことに、トレーニング処方が1/0/1/0のグループは、筋のCSAの改善がみられなかった唯一のグループであった(19)。著者らは、筋肥大の改善がない理由として、不十分な強度およびトレーニング量によるものと説明した(48)。同様に、Gilliesら(19)は、2/0/6/0の設定を用いて、タイプIおよびタイプII線維(8,31)におけるCSAの有意な増加を示した。しかしECCのMADがより長いグループ(6/0/2/0)は、タイプI筋線維のCSAの有意な増加(+11%、 $p<0.01$)のみを報告し、総反復MADは比較グループと同等であった。これは、ECCが高い力のピークを生成しながらも、代謝コストは低く(8)、神経活性化(27,39)も起こり、そしてそれに耐える能力がより高いためであり(26)、その結果、ECCのMADがより長い被験者のトレーニング負荷が、タイプII線維の筋肥大の変化を促進するためには、十分な強度ではなかったかもしれない(24)。この点に関する文献が乏しく、まだ筋肥大の適応経路が複数あるため、CONのMADよりも長いECCのMADが、あるいはその逆が筋肥大の改善を最適化するための必須条件であることを示唆することはできない。

要約すると、トレーニングを行っていない者の筋肥大の改善は、最大14秒の合計反復MADで発生する可能性があることが示唆されているが(5,55,57)、8秒を超えると、改善の程度は減少する(54,55)。トレーニングを行なっている者の場合、筋肥大適応を促進するためには、4～7秒の総反復MADが推奨されている(47,48)。さらに、8秒未満の総反復MADは、トレーニングを行なっている者とトレーニングを行っていない者の両方で筋肥大の改善を得ることができる。重要なことは、筋肥大トレーニングの結果を最大化するための各筋活動の最適なタイミングは、まだ完全には明らかではないことである。

結論と現場への応用

ストレングス&コンディショニング(S&C)コーチは、各フェーズ特有のMAD(つまり、伸張性局面、短縮性局面、および等尺性局面)が、最大筋力、パワー、および筋肥大の発達に大きく影響を与えることを考慮する必要がある。最大筋力の改善のために、中程度のECCのMADと速いCONのMAD(3～4/0/1/0)は、実施者のトレーニング状況とは無関係に、最大動的筋力を改善すると考えることができる。最大パワーの向上について、その改善を最大化するためには、トレーニングを行っていない者とトレーニングを行なっている者それぞれにおいて中程度(4秒未満)および遅い(8秒未満)ECCを伴った爆発的なCONが強く推奨される。結論として、各筋活動の最適なテンポは不明であるが、8秒未満の総反復MADは、トレーニングを行なっている者とトレーニングを行っていない者の両方で筋肥大の改善が得られる。これ

らの結論により、S&Cコーチは、アスリートのトレーニング状況を考慮し、現在利用可能な知識を活用して、総合的および各筋活動における反復持続時間から得られたRT適応を最適化するために、十分な手段を持ち合わせておくべきである。

筋力トレーニングとその結果としての適応に関する複雑さは、知識の不足が結果の一般的な可能性を制限する可能性があるため、その結果を慎重に解釈する必要があることを意味している。例えば、筋活動の移行時に一旦停止をするかしないかにかかわらず、運動の効果についての知識は限られている(40)。一方、各筋活動のMADは、等しい総反復MADで特定の筋肥大およびパワーの適応を引き起こすようにみえるが(19)、この点に関する知識体系はまだ不足している。選択されたエクササイズの種類、マシンで行なわれるかフリーウェイトで行なわれるか、その筋群は研究されたものが選択されているのか、そしてそれらがどのように評価され、モニタリングされるのか、さらにそれらに関する運動プロトコルの構成は、厳密で正確な結論を引き出すことを困難にしている。それゆえ、今後の研究では、筋力、パワー、および筋肥大に対する各筋活動のMADの影響について、より確かな結論を生み出すのを促進させるため、それらの要因に着手する必要がある。◆

References

1. Azevedo PHSM, Oliveira MGD, Schoenfeld BJ. Effect of different eccentric tempos on hypertrophy and strength of the lower limbs. *Biol Sport* 39: 443-449, 2021.
2. Balshaw TG, Massey GJ, Maden-Wilkinson TM, Tillin NA, Folland JP. Training-specific functional, neural, and hypertrophic adaptations to explosive vs. sustained-contraction strength training. *J Appl Physiol* (1985) 120: 1364-1373, 2016.
3. Buckner SL, Jessee MB, Mattocks KT, et al. Determining strength: A case for multiple methods of measurement. *Sports Med* 47: 193-195, 2017.
4. 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, 2019.
5. Chaves TS, Pires de Campos Biazon TM, Marcelino Eder Dos Santos L, Libardi CA. Effects of resistance training with controlled versus self-selected repetition duration on muscle mass and strength in untrained men. *PeerJ* 8: e8697, 2020.
6. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 1-biological basis of maximal power production. *Sports Med* 41: 17-38, 2011.
7. Diniz RCR, Tourino FD, Lacerda LT, et al. Does the muscle action duration induce different regional muscle hypertrophy in matched resistance training protocols? *J Strength Cond Res* 2020. [Epub ahead of print].
8. Dudley GA, Tesch PA, Harris RT, Golden CL, Buchanan P. Influence of eccentric actions on the metabolic cost of resistance exercise. *Aviat Space Environ Med* 62: 678-682, 1991.
9. Elkins MR, Herbert RD, Moseley AM, Sherrington C, Maher C. Rating the quality of trials in systematic reviews of physical therapy interventions. *Cardiopulm Phys Ther J* 21: 20-26, 2010.
10. English KL, Loehr JA, Lee SMC, Smith SM. Early phase musculoskeletal adaptations to different levels of eccentric resistance after 8 weeks of lower body training. *Eur J Appl Physiol* 114: 2263-2280, 2014.
11. Farup J, Rahbek SK, Riis S, et al. Influence of exercise contraction mode and protein supplementation on human skeletal muscle satellite cell content and muscle fiber growth. *J Appl Physiol* 117: 898-909, 2014.
12. Fernandes JFT, Lamb KL, Twist C. Exercise-Induced muscle damage and recovery in young and middle-aged males with different resistance training experience. *Sports (Basel)* 7: 136, 2019.
13. Fisher J, Steele J, Smith D. High- and low-load resistance training: Interpretation and practical application of current research findings. *Sports Med* 47: 393-400, 2017.
14. Fisher JP, Blossom D, Steele J. A comparison of volume-equated knee extensions to failure, or not to failure, upon rating of perceived exertion and strength adaptations. *Appl Physiol Nutr Metab* 41: 168-174, 2016.
15. 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.
16. Franchi MV, Atherton PJ, Reeves ND, et al. Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiol (Oxf)*: 642-654, 2014.
17. Franchi MV, Reeves ND, Narici MV. Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs. Concentric loading: Morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Front Physiol* 8: 447, 2017.
18. Gentil P, Oliveira E, Bottaro M. Time under tension and blood lactate response during four different resistance training methods. *J Physiol Anthropol* 25: 339-344, 2006.
19. Gillies EM, Putman CT, Bell GJ. 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, 2006.
20. Gois MO, Campoy FAS, Alves T, et al. The influence of resistance exercise with emphasis on specific contractions (concentric vs. eccentric) on muscle strength and post-exercise autonomic modulation: A randomized clinical trial. *Braz J Phys Ther* 18: 30-37, 2014.
21. González-Badillo JJ, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-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.
22. 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.
23. Hatfield DL, Kraemer WJ, Spiering BA, et al. The impact of velocity of movement on performance factors in resistance exercise. *J Strength Cond Res* 20: 760-766, 2006.
24. Herbison GJ, Jaweed MM, Ditunno JF. Muscle fiber types. *Arch Phys Med Rehabil* 63: 227-230, 1982.
25. Herman JR, Rana SR, Chleboun GS, et al. Correlation between

- muscle fiber cross-sectional area and strength gain using three different resistance-training programs in college-aged women. *J Strength Cond Res* 24: 1, 2010.
26. Hollander DB, Kraemer RR, Kilpatrick MW, et al. Maximal eccentric and concentric strength discrepancies between young men and women for dynamic resistance exercise. *J Strength Cond Res* 21: 34–40, 2007.
 27. Hortobágyi T, Hill JP, Houmard JA, et al. Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *J Appl Physiol (1985)* 80: 765–772, 1996.
 28. Iglesias-Soler E, Fernández-Del-Olmo M, Mayo X, et al. Changes in the force-velocity mechanical profile After short resistance training programs differing in set configurations. *J Appl Biomech* 33: 144–152, 2017.
 29. Ikezoe T, Kobayashi T, Nakamura M, Ichihashi N. Effects of low-load, higher-repetition vs. High-load, lower-repetition resistance training not performed to failure on muscle strength, mass, and echo intensity in healthy young men: A time-course study. *J Strength Cond Res* 34: 3439–3445, 2020.
 30. Ingebrigtsen J, Holtermann A, Roeleveld K. Effects of load and contraction velocity during three-week biceps curls training on isometric and isokinetic performance. *J Strength Cond Res* 23: 1670–1676, 2009.
 31. Kawakami Y, Abe T, Kuno SY, Fukunaga T. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 72: 37–43, 1995.
 32. Kawamori N, Haff GG. The optimal training load for the development of muscular power. *J Strength Cond Res* 18: 675–684, 2004.
 33. Krzysztofik M, Wilk M, Wojdala G, Golas A. Maximizing muscle hypertrophy: A systematic review of advanced resistance training techniques and methods. *Int J Environ Res Public Health* 16, 2019.
 34. Lacerda LT, Marra-Lopes RO, Lanza MB, et al. Resistance training with different repetition duration to failure: Effect on hypertrophy, strength and muscle activation. *PeerJ* 9: e10909, 2021.
 35. Lacerda LT, Martins-Costa HC, Diniz RCR, et al. Variations in repetition duration and repetition numbers influence muscular activation and blood lactate response in protocols equalized by time under tension. *J Strength Cond Res* 30: 251–258, 2016.
 36. Lasevicius T, Ugrinowitsch C, Schoenfeld BJ, et al. Effects of different intensities of resistance training with equated volume load on muscle strength and hypertrophy. *Eur J Sport Sci* 18: 772–780, 2018.
 37. Lopez P, Radaelli R, Taaffe DR, et al. Resistance training load effects on muscle hypertrophy and strength gain: Systematic review and network meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 53: 1206–1216, 2020.
 38. Lyons A, Bagley JR. Can resistance training at slow versus traditional repetition speeds induce comparable hypertrophic and strength gains? *Strength Cond J* 42: 48–56, 2020.
 39. Maroto-Izquierdo S, García-López D, Fernández-Gonzalo R, et al. Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: A systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport* 20: 943–951, 2017.
 40. Martínez-Cava A, Hernández-Belmonte A, Courel-Ibáñez J, et al. Effect of pause versus rebound techniques on neuromuscular and functional performance after a prolonged velocity-based training. *Int J Sports Physiol Perform* 16: 927–933, 2021.
 41. McDonagh MJ, Davies CT. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 52: 139–155, 1984.
 42. Meylan C, Cronin J, Nosaka K. Isoinertial assessment of eccentric muscular strength. *Strength Cond J* 30: 56–64, 2008.
 43. Mike JN, Cole N, Herrera C, et al. The effects of eccentric contraction duration on muscle strength, power production, vertical jump, and soreness. *J Strength Cond Res* 31: 773–786, 2017.
 44. Moseley AM, Herbert RD, Sherrington C, Maher CG. Evidence for physiotherapy practice: A survey of the physiotherapy evidence database (PEDro). *Aust J Physiother* 48: 43–49, 2002.
 45. 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: 883–887, 2005.
 46. 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.
 47. Pearson J, Wadhi T, Barakat C, et al. Does varying repetition tempo in a single-joint lower body exercise augment muscle size and strength in resistance-trained men? *J Strength Cond Res* 2021. Publish Ahead of Print. Available at: https://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/9000/Does_Varying_Repetition_Tempo_in_a_Single_Joint.94100.aspx.
 48. Pereira PEA, Motoyama YL, Esteves GJ, et al. 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.
 49. Petré H, Hemmingsson E, Rosdahl H, Psilander N. Development of maximal dynamic strength during concurrent resistance and endurance training in untrained, moderately trained, and trained individuals: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 51: 991–1010, 2021.
 50. Rana SR, Chleboun GS, Gilders RM, et al. Comparison of early phase adaptations for traditional strength and endurance, and low velocity resistance training programs in college-aged women. *J Strength Cond Res* 22: 119–127, 2008.
 51. Reilly T, Morris T, Whyte G. The specificity of training prescription and physiological assessment: A review. *J Sports Sci* 27: 575–589, 2009.
 52. Roig M, O'Brien K, Kirk G, et al. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med* 43: 556–568, 2009.
 53. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res* 24: 2857–2872, 2010.
 54. 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.
 55. Schuenke MD, Herman JR, Gliders RM, et al. Early-phase muscular adaptations in response to slow-speed versus traditional resistance-training regimens. *Eur J Appl Physiol* 112: 3585–3595, 2012.
 56. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH. The importance of muscular strength: Training considerations. *Sports Med* 48: 765–785, 2018.
 57. 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* 1985 100: 1150–1157, 2006.

58. 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.
59. Timmins RG, Ruddy JD, Presland J, et al. Architectural changes of the biceps femoris long head after concentric or eccentric training. *Med Sci Sports Exerc* 48: 499–508, 2016.
60. Ünlü G, Çevikol C, Melekoglu T. Comparison of the effects of eccentric, concentric, and eccentricconcentric isotonic resistance training at two velocities on strength and muscle hypertrophy. *J Strength Cond Res* 34: 337–344, 2020.
61. 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.
62. Vieira AF, Umpierre D, Teodoro JL, et al. Effects of resistance training performed to failure or not to failure on muscle strength, hypertrophy, and power output: A systematic review with meta-analysis. *J Strength Cond Res* 2021.
63. Walker S, Trezise J, Haff GG, et al. Increased fascicle length but not patellar tendon stiffness after accentuated eccentric-load strength training in already-trained men. *Eur J Appl Physiol* 120: 2371–2382, 2020.
64. Wilk M, Golas A, Stastny P, et al. Does tempo of resistance exercise impact training volume?. *J Hum Kinet* 62: 241–250, 2018.
65. Wilk M, Tufano JJ, Zajac A. The influence of movement tempo on acute neuromuscular, hormonal, and mechanical responses to resistance exercise—a mini review. *J Strength Cond Res* 34: 2369–2383, 2020.
66. Wilk M, Zajac A, Tufano JJ. The influence of movement tempo during resistance training on muscular strength and hypertrophy responses: A review. *Sports Med* 51: 1629–1650, 2021.
67. Wilson JM, Loenneke JP, Jo E, et al. The effects of endurance, strength, and power training on muscle fiber type shifting. *J Strength Cond Res* 26: 1724–1729, 2012.
68. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 41: 687–708, 2009.

From Strength and Conditioning Journal
Volume 44, Number 5, pages 39-56.

著者紹介



Adrián Moreno-Villanueva :
スペインのUniversity of Murciaにおける、ストレングス & コンディショニングの学生。



José Pino-Ortega :
スペインのUniversity of Murciaにおけるスポーツ科学の教授。



Markel Rico-González :
スペインのUniversity of Basque Country (UPV/EHU) における音楽、造形、身体的表現教育学部の講師。