©NSCA JAPAN
Volume 27, Number 2, pages 42-48

Key Words【筋力：strength、力の立ち上がり速度：rate of force development、パワーの向上：power development】

筋パワーを最大化するための最大筋力と力の立ち上がり速度の役割

Roles of Maximal Strength and Rate of Force Development in Maximizing Muscular Power

Christopher Taber, M.S. **Christopher Bellon,** M.A. **Heather Abbott,** M.Ed.
Garett E. Bingham, M.A.
East Tennessee State University, Johnson City, Tennessee

要約

この簡潔なレビューは、筋パワー発揮における最大筋力と力の立ち上がり速度の役割を考察する。最初に、パワー発揮について、またスポーツに対するパワーの重要性について追求し、次にこのパワー発揮の基本に基づき、最大筋力と力の立ち上がり速度の両方が最大パワー発揮に及ぼす影響を考察する。最後に、スポーツで成果を上げるために、なぜ試合期の力の立ち上がり速度の最大化が必要なのか、その合理的な根拠を示す。

はじめに

パワーはなぜ重要か？

パワー発揮能力は、おそらく、スポーツの成功に影響を及ぼす最も重要な特性であり、それは以前から示唆されている(54)。この概念の背景には、発揮パワーが、スプリント(65,66)、ジャンプ(20,34,38,40)、方向転換(41,48,52)、投てき(36,37)、ウエイトリフティング(11,26)など、様々な競技におけるパフォーマンスの向上と密接に関連しているという事実がある。トレーニング計画の中で、ある特定の時期に発揮パワーを最大化することは、多くの場合、ピリオダイゼーション法を用いる際の主要な目標である(32,55,59)。したがって、試合期における特定の時期に、ピークパワーを増大させることにより前述の競技スキルを強化することは、アスリートが万全の準備を整え、試合に勝利する確率を高めると思われる。

持久系競技に関しては、パワーについての概念に対する反論がしばしば聞かれる。それは、ランニングや自転車競技、水泳などの競技では、ピークパワーは肝心なパフォーマンス特性でないとみなされていることによる。しかし複数の研究により、長距離レース中の平均発揮パワーは無論のこと、レースの最終局面のスプリントで発揮されるピークパワーも、レースの結果を左右するきわめて重要な役割を果たすことが明らかになっている(42,44,58)。さらに、ピークパワーの違いが競技パフォーマンスの差をもたらすことを示唆する研究も存在する(4,6,7,9,21,25,30)。このような観点から、筋パワーの向上は有酸素性から無酸素性まで幅広いスポーツ領域にわたりきわめて重要である。

パワーとはなにか？

パワーは次の式で表される仕事率である。

パワー＝力×速度

パワーの式は、パワーの総出力を最大化しようとする時に考慮しなければならない2つの要素を反映している。第1の要素は速度であり、それは運動量に直接関係する。第2の要素は力であり、それは力積を通して運動量と関連づけられる。

パワー＝力×速度
力×Δ時間＝質量×Δ速度
（力積）　（運動量）

速度

大概の競技活動では質量の加速を伴

うため、パワーの式の速度要素を理解するために、運動量の変化を考察するという概念が用いられる。ここで問題にする質量は力を加える外部負荷であり、力積が変化しなければ、質量の変化は速度の変化をもたらす。この概念をアスリートが自らの体重を加速するスポーツ動作に適用すると、運動量のいかなる望ましい変化も速度を変えることによって達成しなければならず、そのためには力積の変化が必要となる。

力

スポーツにおける大部分の活動中において、発揮される力はその持続時間全体を通じて一定ではない。したがって、力積の値は積分を行なって求める。

$$力積 = \int 力 \Delta 時間$$

これにより、発揮される力は力-時間曲線の下の部分の面積として表わされる。研究によると、様々な競技スキルにおいて発揮される力の持続時間は短く、特に最高レベルのアスリートではその変化は無視できるほど小さい**(表)**。そのため、力積を大きくするためには、活動中に発揮する力を増大させねばならないという考えに繋がる。

最大筋力

最大筋力が力の立ち上がり速度(RFD:rate of force development)およびパワーと強い相関関係をもつことを示すエビデンスはますます増えている(5,6,8,38,39)。アスリートの最大力発揮能力は、各競技に特異的な課題の時間的制約により制限を受ける。この概念から明らかになることは、そのような競技特異的な要求による時間的制限内におけるRFDの重要性である。最大筋力は力発揮能力の上限であるから、最大筋力が増大すれば、速度の全範囲を通じて大きな力発揮能力が一層高まる。

力の立ち上がり速度

以上説明した概念は、RFDこそがスポーツにおけるパワー発揮を支えるメカニズムであるという理論的枠組みをもたらす。速度が変化する割合(加速度)を増大させることが目標である場合、アスリートの体重も力発揮する時間も容易には変更できないとすると、力発揮する速度を速めなければならない。本稿の目的は、筋パワーの最大化に関して、その根本にある最大筋力とRFDのメカニズムを詳説することである。

最大筋力

筋力は試合中に発揮される、トレーニング可能なスキルである。筋力は単に力を生み出す能力というだけではなく、RFD、力積、運動量、速度およびパワーなど、他の能力をもたらす手段にもなる。最大下から最大まで様々なレベルの筋力が存在するが、パフォーマンスに影響を与える最も主要な要素は最大筋力である(57)。研究によると、様々なスポーツにおいて、より筋力の強いアスリートは筋力の弱いアスリートに比べ、競技レベルの高い試合に出場していることが示され(4,9,25,27,30)、この情報から、スポーツの試合における最大筋力の重要性が明らかになってきた。しかし、最大筋力とピークパワーの正確な関係は環境や状況に依存するため、まだ完全に解明されたわけではない(54,56)。

力-速度関係

筋力は様々な速度や負荷で広範囲に発揮されるが、負荷の増加に伴い、力と速度には反比例の関係が生じる。力と速度は連続した曲線として表され、最大筋力と最大速度はその両極にある。現場での応用例でいえば、負荷が重いほど速度は遅くなり、負荷が軽いほど速度は速くなる。この力-速度曲線のちょうど中央で最大パワーが発揮されるため(61,63)、この力と速度の関係は重要である。ヒトの筋の短縮速度には限界があることが研究により示されている(43,49)。したがって、力-速度曲線を改善するためには、筋力の増大を達成しなければならない。

短縮速度はなぜ制限されるのか?

Nyitraiら(43)およびSargeant(49)による研究は、筋の短縮速度は骨格筋における酵素の反応速度により制限されていることを明らかにした。ヒトの筋は、ミオシンATPアーゼの活性反応により制限され、それよりも速くアクチンフィラメントからミオシン重鎖を切り離すことはできない。したがって、対象の筋線維のタイプにも考慮しなければならない。タイプⅡ(速筋線維)におけるクロスブリッジの分離は、タイプⅠ(遅筋線維)の4~9倍速く起こるからである(15,16)。このように短縮速度が制限されているため、より大きなパワーの増大を達成するための余力として、最大筋力が一層重要性を増すことになる(13,14,16,17)。

筋力の増大が力-速度曲線に及ぼす効果

力-速度曲線を変化させるためには、トレーニング経験のない非鍛錬者の場合、筋力トレーニングだけで力-速度関係を変える十分な刺激が提供できる(28)。しかし、トレーニング上級者で十分に発達した筋力を有するアスリートの場合は、パフォーマンスの継

続的な向上を達成するためには、混合トレーニングアプローチを実施する必要がある(67)。トレーニング歴が長くなるにつれて、最大筋力とパワーの両方の増大を図るために、最大筋力と最大速度の両方を鍛える混合トレーニングアプローチを用いることが必要である。より具体的に述べると、混合トレーニングアプローチを用いなければ、力-速度曲線は非対称的に変化する。したがって、望ましいトレーニング効果は、力-速度曲線が上方にも右方向にも動くことである。この曲線の移動は最大筋力と最大速度の両方が増加したことを表し、したがって最大発揮パワーが増大することを意味する**(図1～4)**。

この力-速度関係はパワーの向上の基礎として役立ち、トレーニングの構成と実施の理論的根拠を提供するという理由からも重要である。高速で大きな力を発揮するプロトコルは、筋力と速度のどちらか一方だけをトレーニングするよりも優れた結果をもたらす。しかし、混合トレーニング刺激の効果を最大化するためには、トレーニングを適切に配列しなければならない(46,47)。Harrisら(31)は、最大速度のトレーニングより前に最大筋力のトレーニングを行なうことが最も有益な適応をもたらすことを明らかにした。その理由はおそらく、部分的には、パフォーマンス向上の遅れ、そして骨格筋における短縮速度の限界によるとした。

最大筋力のためのトレーニングは、その際に用いる重い負荷でのパワー発揮に影響を与えるだけであると考えられた(31,39)。だがStoneら(55)は、重い負荷を用いたトレーニングが軽い負荷での発揮パワーにも効果を及ぼすことを証明した。例えばStoneら(54)は、最大筋力と発揮パワーとの関係は、分散の最大50%を説明することも明らかにした。この最大筋力と発揮パワーとの相関関係は、たとえトレーニングで用いる負荷が試合で実際に経験する負荷よりも大きいとしても、最大筋力をトレーニングの重点目標にすべきであることを示唆している。例えば、ゴルフのパッティングは発揮筋力の少ない活動であるが、筋力を向上させることによりプラスの変化がある。また、ドライバーの飛距離も、筋力とパワーが最終的にクラブのヘッドスピードを向上させるため、プラスの影響を受けるだろう(23,24)。アスリートは試合中に様々な力を発揮する。最大筋力を高めれば、最大下の活動で発揮される力の絶対値も高まる(50)。

発揮パワーおよびパフォーマンスと最大筋力の関係

研究により、最大筋力と発揮パワーの間に高い相関関係が存在することが明らかになっており、最大筋力により産生されるパワーの上限が決まることが知られている(22,54,61-63)。したがって、筋力の大きなアスリートほどパワーの獲得に有利であることは明らかである(20,31)。筋力の弱いアスリートでは、最大筋力を増大させることがパワートレーニングだけを行なうよりも有効であり、RFDとパワーの大きな向上をもたらすことが示されている(19,20,31,46)。結局、最大筋力とパワーの間には密接な関係が存在し、RFDはこれら2つの要素を繋ぐ「橋」であると認識できるだろう。大抵の競技スキルは、それを実行する時間枠が最大の力を発揮できるだけ十分に長くはないからである(1,3,68)。さらに、最大筋力はこのパワーという重要なトレーニング変数を向上させる要素であるのに対

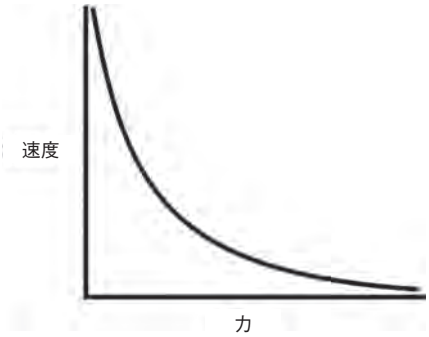

図1　力-速度曲線(速度:力)

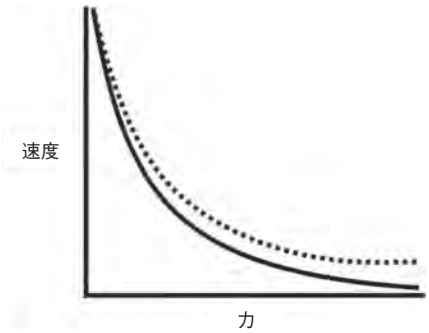

図2　高負荷トレーニングの効果(速度:力)

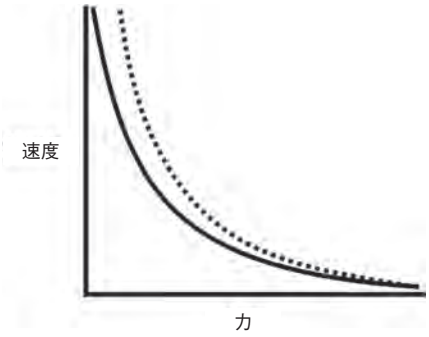

図3　高速トレーニングの効果(速度:力)

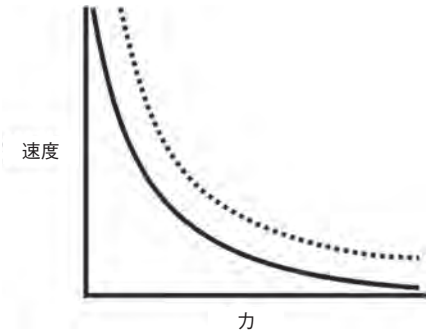

図4　混合トレーニングの効果(速度:力)

し、RFDは、競技中の大きな力発揮を達成する道すじを表しているといえる。

力の立ち上がり速度

最大筋力はスポーツで必要とされる大きな力発揮において、きわめて重要な要素である(54,59,68)。しかし、多くの競技特異的なスキルは、それを完了するために要求される時間が最大筋力を発揮するために必要な時間よりも短い(59,68)。具体的には、最大筋力を発揮するには少なくとも約300ミリ秒が必要である(1,2,59,68)。しかし、スプリント、ジャンプ、投球、キック、などのスキルを行なう時に力発揮する時間は約30～200ミリ秒である**(表)**。したがって、そのような短時間に力発揮する場合、その速度がスキルを行なう間に適用される力の総量を規定することになる。前述のように、所定の時間で加えられた力が大きければそれだけ大きな力積をもたらし、したがって、より大きな運動量と結果的にはより大きなパワー発揮を促進する。きわめて興味深いことに、筋パワーが競技アスリートの成功の差別化要因であることが繰り返し指摘されている(4,6,12,33,41,51)。多くの研究がパフォーマンスの向上を発揮パワーの向上に起因するとしたが、より正確には、パフォーマンスの向上は実はより大きなRFDに起因するのである。RFDがより大きな発揮パワーをもたらす根底のメカニズムだとみなせるからである。したがってStoneらが指摘したように(54)、RFDは幅広い競技種目にわたり、競技の成功にとっておそらく最も主要な要素である。この概念は、一般的な競技スキルでも、またスプリント(65,66)、ジャンプ(20,34,38,40)、方向転換能力(CODA：change of direction ability)(41,48,52)、投てき(36,37)、ウエイトリフティング(11,26)、さらに持久系活動(44,45,58)などの特定の競技スキルに関しても、多数の異なる研究により支持されている。

一般的な競技スキル

例えばスプリントは、スポーツの中でおそらく最も普遍的なスキルであろう。Weyandらの行なった先駆的研究(66)により、速いランナーは遅いランナーに比べ、有意に大きな力発揮とストライド長、より短い接地時間(GCT ground contact time)を有することが明らかにされた。しかし、次のステップの前に脚部を入れ替えるのに必要な時間、すなわち「遊脚期」の時間には、群間の有意差は認められなかった。言い換えると、速いランナーはストライドごとに、より長い距離をより短い接地時間で走るということであり、次のステップまでに、遅いランナーよりも有意に速く脚を振り出すわけではないということである。実際、著者らは最も遅い女性ランナーでも、世界最速の100mスプリンターとほぼ同じ時間で、ストライド間で脚部を入れ替えることができたと指摘した。したがって著者らは、速いランナーが達成するより速いスプリント速度は、空中で手足をいかに早く入れ換えるかよりむしろ、いかに大きな地面反力を適用するかに起因するとした。しかし、速いランナーはより短い接地時間でより大きな地面反力を示したことから、産生される大きな力を支えている主要なメカニズムは、力発揮する速さであると推論できる。この見解はWeyandらによって確認されている(65)。著者らは、スプリントパフォーマンスはアスリートの力発揮能力によって制限されるのではなく、むしろスプリント中にみられる、短い接地時間に高いRFDを達成する能力によって制限されると結論づけた。

スプリントに加えて、ジャンプはもうひとつのきわめて重要なスキルであり、バスケットボール、バレーボール、アメリカンフットボール、野球そしてサッカーなど様々なスポーツで用いられる。**表**に示したように、様々なジャンプ課題の離陸時間は、およそ100～300ミリ秒であり、そのように限られた時間内に最大筋力を発揮できる可能性はないといえる。それゆえ多数の研究により、RFDとその関連要素である力積とパワーがジャンプパフォーマンスの主要な貢献因子であることが示されている(18–20,38,40,60)。

Newtonら(40)は、大学生の男子バ

表　力発揮に必要な時間

出典	課題	時間(秒)
Zatsiorsky & Kraemer(68)	スプリントの接地時間	0.08～0.10
Zatsiorsky & Kraemer(68)	走り幅跳びの踏切時間	0.11～0.12
Zatsiorsky & Kraemer(68)	高跳びの踏切時間	0.17～0.18
Zatsiorsky & Kraemer(68)	やり投げの投てき動作	0.16～0.18
Zatsiorsky & Kraemer(68)	砲丸投げの投でき動作	0.15～0.18
Zatsiorsky & Kraemer(68)	跳馬の着手	0.18～0.21
Schmidtbleicher(50)	垂直跳び	～0.3
Stoddenら(53)	野球の投球	0.145
Koenigら(35)	野球／ソフトボールのスイング	0.22～0.31

レーボール選手を対象に、8週間にわたり研究を行ない、ジャンプスクワット(JS)とバックスクワットおよびレッグプレスが垂直跳びに及ぼす効果を調査した。スクワットの1RM筋力は、試験の前後で群間に有意差は認められなかったが、JS群は垂直跳びのパフォーマンスが有意に向上し、またコントロール群との比較においても有意に大きな変化を示した。データの分析から、改善されたジャンプパフォーマンスの主要なメカニズムは、離地前の大きな力発揮とより速いRFDであることが示された。したがって、8週間のトレーニング期間中にバリスティックなエクササイズに焦点を合わせたアスリートは、離地前の短時間により速い速度での力発揮能力が優れていたのであり、それがより大きな力発揮とその結果としてのジャンプパフォーマンスの向上を説明する。さらに、ジャンプパフォーマンスはCODAなど他の一般的な競技スキルにも関係がある。

我々の知るかぎり、RFDとCODAの関係を直接調査し、これらの変数間の良好な関係を明らかにした研究は1件しかない(60)。今後埋めるべき研究の間隙がある一方で、ジャンプパフォーマンスとCODAの間の強力な相関関係は十分に確立されている(10,34,41,48,52,64)。RFDがジャンプパフォーマンスを決定する主要なメカニズムであることを理解すれば(40,60)、RFDとCODAにも相関関係が存在する可能性が高いことが推論できる。

特異的な競技スキル

特異的な競技課題に関しても、RFDはそれらのスキルの強化において重要な役割を果たす。例えば、野球の投球速度を向上させるために、JSやベンチプレスなどのバリスティックなエクササイズを含むトレーニングプログラムを取り入れることが知られている(37)。Newtonらの研究結果(40)に加えて、他の研究でも、これらのバリスティックなエクササイズがトレーニング変数の向上と関連づけられているため(19,29,40)、それらの変化がRFDの向上に裏打ちされていると合理的に主張できる。さらにMarquesらは、その先行研究(36)で、上級ハンドボール選手のRFDと投球速度との関係を調査し、その結果、これらの変数間にも重要な関連性があることが明らかになった。投球に加えて、野球とソフトボールのバッティングは、どちらも最大筋力を引き出すために必要な時間より短い時間で行なうスキルである(35)。この事実から、バットをボールに当てるためには、より高いレベルのRFDを獲得することが重要であることが強調される。

RFDと持久力パフォーマンス

持久系競技では、筋力と発揮パワーの重要性が看過されがちであるが、持久系競技の結果にも、平均発揮パワーが重要な貢献因子であることを示すエビデンスがある(42,44,45,58)。それはPaavolainenらが行なった研究(45)で非常にはっきりと示されている。この研究では、鍛錬者の持久系アスリートを対象に5km走のパフォーマンスに及ぼす爆発的な筋力トレーニングの影響を調査した。研究中、実験群は9週間にわたり広範囲な爆発的な筋力トレーニングを行なったのに対し、コントロール群はその間に最小限の爆発的エクササイズを行なった。このトレーニングは、レッグプレスやニーフレクションエクササイズなどの低負荷で高速の筋力トレーニング運動に加え、様々なスプリントとジャンプエクササイズで構成されていた。実験群とコントロール群のトレーニング量は等しくなるように設定され、実験群では総トレーニング時間の32%が爆発的筋力トレーニングに充てられたが、コントロール群では爆発的トレーニングの時間はわずか3%であった。このプロトコルの終了後、実験群の被験者は5km走のタイムが有意に向上したが、コントロール群の向上は認められなかった。20mのフライングタイム(V20)と200mの定速ランニング(200M)でも、介入の前後で差が認められた。V20の試験では、参加者は30m加速した後20m全力疾走した。200Mの試験では、200mトラックを4.55m/秒のペースで走り、ランニングエコノミーを調査した。興味深いことに、実験群はどちらのテストでも有意な改善を示したが、コントロール群は改善しなかった。Weyandら(65)およびWeyandら(66)の知見を再度参照すると、速いランナーほどスプリント中のRFDが高く、GCTが短い。これらの結果はこの研究の知見においても明らかであり、実験群はV20でより速く走り、200Mの間のGCTがより短かかった。したがって、実験群でみられた改善はより高いRFDに由来するものであると合理的に推論できる。V20でより速いスプリント速度を達成でき、また200Mでより優れたランニングエコノミーを達成できたのはRFDが優れていたからである。

前述のエビデンスに基づくと、RFDは幅広い競技種目にわたり配慮すべき重要なトレーニング変数である。Stoneら(54)が示唆したように、RFDは事実上、スポーツの成功を決定する最も重要なトレーニング変数であるといえるだろう。したがって、RFDの増大こそがトレーニング過程のまさしく

最終目標であると思われる。

おわりに

結論として、本稿で示したエビデンスは、RFDがスポーツで最も重要な体力特性であるとの説を裏付けている。最大筋力の大きな向上とそのスキルをRFDという手段を通じて適用することにより、我々はトレーニングや試合において最大パワーを発揮する基礎を提供することに着手できる。最終的には、発揮できるパワーの上限は最大筋力によって決まるだろう。しかしRFDは、それぞれの競技に特異的な方法で、この発揮パワーを活用することを可能にするのである。◆

References

1. Aagaard P. Training-induced changes in neural function. *Exerc Sport Sci Rev* 31: 61–67, 2003.
2. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* (1985) 93: 1318–1326, 2002.
3. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson SP, Halkjaer-Kristensen J, Dyhre-Poulsen P. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: Effects of resistance training. *J Appl Physiol* (1985) 89: 2249–2257, 2000.
4. Baker D. Comparison of upper-body strength and power between professional and college-aged rugby league players. *J Strength Cond Res* 15: 30–35, 2001.
5. Baker D. The effects of an in-season of concurrent training on the maintenance of maximal strength and power in professional and college-aged Rugby league football players. *J Strength Cond Res* 15: 172–177, 2001.
6. Baker D. A series of studies on the training of high-intensity muscle power in rugby league football players. *J Strength Cond Res* 15: 198–209, 2001.
7. Baker D, Nance S. The relation between running speed and measures of strength and power in professional rugby league players. *J Strength Cond Res* 13: 230–235, 1999.
8. Baker D, Nance S, Moore M. The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power-trained athletes. *J Strength Cond Res* 15: 92–97, 2001.
9. Barker M, Wyatt TJ, Johnson RL, Stone MH, O'Bryant HS, Poe C, Kent M. Performance factors, physiological assessment, physical characteristics, and football playing ability. *J Strength Cond Res* 7: 224–233, 1993.
10. Barnes JL, Schilling BK, Falvo MJ, Weiss LW, Creasy AK, Fry AC. Relationship of jumping and agility performance in female volleyball athletes. *J Strength Cond Res* 21: 1192–1196, 2007.
11. Beckham G, Mizuguchi S, Carter C, Sato K, Ramsey M, Lamont H, Hornsby G, Haff G, Stone M. Relationships of isometric mid-thigh pull variables to weightlifting performance. *J Sports Med Phys Fitness* 53: 573–581, 2013.
12. Bevan HR, Bunce PJ, Owen NJ, Bennett MA, Cook CJ, Cunningham DJ, Newton RU, Kilduff LP. Optimal loading for the development of peak power output in professional rugby players. *J Strength Cond Res* 24: 43–47, 2010.
13. Bottinelli R, Betto R, Schiaffino S, Reggiani C. Maximum shortening velocity and coexistence of myosin heavy chain isoforms in single skinned fast fibres of rat skeletal muscle. *J Muscle Res Cell Motil* 15: 413–419, 1994.
14. Bottinelli R, Betto R, Schiaffino S, Reggiani C. Unloaded shortening velocity and myosin heavy chain and alkali light chain isoform composition in rat skeletal muscle fibres. *J Physiol* 478(Pt 2): 341–349, 1994.
15. Bottinelli R, Canepari M, Pellegrino MA, Reggiani C. Force-velocity properties of human skeletal muscle fibres: Myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *J Physiol* 495(Pt 2): 573–586, 1996.
16. Bottinelli R, Pellegrino MA, Canepari M, Rossi R, Reggiani C. Specific contributions of various muscle fibre types to human muscle performance: An in vitro study. *J Electromyogr Kinesiol* 9: 87–95, 1999.
17. Bottinelli R, Schiaffino S, Reggiani C. Force-velocity relations and myosin heavy chain isoform compositions of skinned fibres from rat skeletal muscle. *J Physiol* 437: 655–672, 1991.
18. Cormie P, McBride JM, McCaulley GO. Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: Impact of training. *J Strength Cond Res* 23: 177–186, 2009.
19. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc* 42: 1582–1598, 2010.
20. 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.
21. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 1–biological basis of maximal power production. *Sports Med* 41: 17–38, 2011.
22. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 2-training considerations for improving maximal power production. *Sports Med* 41: 125–146, 2011.
23. Doan BK, Newton RU, Kwon YH, Kraemer WJ. Effects of physical conditioning on intercollegiate golfer performance. *J Strength Cond Res* 20: 62–72, 2006.
24. Fletcher IM, Hartwell M. Effect of an 8-week combined weights and plyometrics training program on golf drive performance. *J Strength Cond Res* 18: 59–62, 2004.
25. Fry AC, Kraemer WJ. Physical performance characteristics of American collegiate football players. *J Strength Cond Res* 5: 126–138, 1991.
26. Garhammer J. Power production by Olympic weightlifters. *Med Sci Sports Exerc* 12: 54–60, 1980.
27. Haff GG, Nimphius S. Training principles for power. *Strength Cond J* 34: 2–12, 2012.
28. Hakkinen K. Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. A review. *J Sports Med Phys Fitness* 29: 9–26, 1989.
29. Hammett JB, Hey WT. Neuromuscular adaptation to short-term (4 weeks) ballistic training in trained high school athletes. *J Strength Cond Res* 17: 556–560, 2003.
30. Hansen KT, Cronin JB, Pickering SL, Douglas L. Do force-time and power-time measures in a loaded jump squat differentiate between speed performance and playing level in elite and elite junior rugby union players? *J Strength Cond Res* 25: 2382–2391, 2011.
31. Harris GR, Stone MH, O'Bryant HS, Proulx CM, Johnson RL. Short-Term performance effects of high power, high force, or combined weight-training methods. *J Strength Cond Res* 14: 14–20, 2000.
32. Hartmann H, Bob A, Wirth K, Schmidtbleicher D. Effects of different periodization models on rate of force development and power ability of the upper extremity. *J Strength Cond Res* 23: 1921–1932, 2009.
33. Hawley JA, Williams MM, Vickovic MM, Handcock PJ. Muscle power predicts freestyle swimming performance. *Br J Sports Med* 26: 151–155, 1992.
34. Hori N, Newton RU, Andrews WA, Kawamori N, McGuigan MR, Nosaka K. Does performance of hang power clean differentiate performance of jumping, sprinting, and changing of direction? *J Strength Cond Res* 22: 412–418, 2008.
35. Koenig K, Mitchell ND, Thomas HE, Clutter JK. The influence of moment of inertia of baseball/softball bat swing speed. *Sports Eng* 7: 105–117, 2004.
36. Marques MC, Saavedra FJ, Abrantes C, Aidar FJ. Associations between rate of force development metrics and throwing velocity in elite team handball players: A short research

report. *J Hum Kinet* 29A: 53–57, 2011.
37. McEvoy KP, Newton RU. Baseball throwing speed and base running speed: The effects of ballistic resistance training. *J Strength Cond Res* 12: 211–271, 1998.
38. McLellan CP, Lovell DI, Gass GC. The role of rate of force development on vertical jump performance. *J Strength Cond Res* 25: 379–385, 2011.
39. Moss BM, Refsnes PE, Abildgaard A, Nicolaysen K, Jensen J. Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 75: 193–199, 1997.
40. Newton RU, Kraemer WJ, Hakkinen K. Effects of ballistic training on preseason preparation of elite volleyball players. *Med Sci Sports Exerc* 31: 323–330, 1999.
41. Nimphius S, McGuigan MR, Newton RU. Relationship between strength, power, speed, and change of direction performance of female softball players. *J Strength Cond Res* 24: 885–895, 2010.
42. Noakes TD. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: A contemporary perspective. *Med Sci Sports Exerc* 20: 319–330, 1988.
43. Nyitrai M, Rossi R, Adamek N, Pellegrino MA, Bottinelli R, Geeves MA. What limits the velocity of fast-skeletal muscle contraction in mammals? *J Mol Biol* 355: 432–442, 2006.
44. Østerås H, Helgerud J, Hoff J. Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. *Eur J Appl Physiol* 88: 255–263, 2002.
45. Paavolainen L, Hakkinen K, Hamalainen I, Nummela A, Rusko H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol* (1985) 86: 1527–1533, 1999.
46. Painter KB. *A Practical Comparison Between Traditional Periodization and Daily-Undulated Weight Training Among Collegiate Track and Field Athletes*. East Tennesse State University, 2009.
47. Painter KB, Haff GG, Ramsey MW, McBride J, Triplett T, Sands WA, Lamont HS, Stone ME, Stone MH. Strength gains: Block versus daily undulating periodization weight training among track and field athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 7: 161–169, 2012.
48. Salaj S, Markovic G. Specificity of jumping, sprinting, and quick change-of-direction motor abilities. *J Strength Cond Res* 25: 1249–1255, 2011.
49. Sargeant AJ. Structural and functional determinants of human muscle power. *Exp Physiol* 92: 323–331, 2007.
50. Schmidtbleicher D. *Training for Power Events. Strength and Power in Sports, in Training for Power Events*. London, United Kingdom: Blackwell Scientific Publications, 1992.
51. Sharp RL, Troup JP, Costill DL. Relationship between power and sprint freestyle swimming. *Med Sci Sports Exerc* 14: 53–56, 1982.
52. Spiteri T, Nimphius S, Cochrane JL. Comparison of running times during reactive offensive and defensive agility protocols. *J Aus Strength Cond* 20: 73–78, 2012.
53. Stodden DF, Fleisig GS, McLean SP, Andrews JR. Relationship of biomechanical factors to baseball pitching velocity: Within pitcher variation. *J Appl Biomech* 21: 44–56, 2005.
54. Stone MH, Moir G, Glaister M, Sanders R. How much strength is necessary? *Phys Ther* 3: 88–96, 2002.
55. Stone MH, O'Bryant H, Garhammer J. A hypothetical model for strength training. *J Sports Med Phys Fitness* 21: 342–351, 1981.
56. Stone MH, O'Bryant HS, McCoy L, Coglianese R, Lehmkuhl M, Schilling B. Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *J Strength Cond Res* 17: 140–147, 2003.
57. Stone MH, Sands WA, Carlock J, Callan S, Dickie D, Daigle K, Cotton J, Smith SL, Hartman M. The importance of isometric maximum strength and peak rate-of-force development in sprint cycling. *J Strength Cond Res* 18: 878–884, 2004.
58. Stone MH, Sands WA, Pierce KC, Newton RU, Haff G, Carlock J. Maximum strength and strength training- a relationship to endurance? *Strength Cond J* 28: 44–53, 2006.
59. Stone MH, Stone M, Sands WA. *Principles and Practice of Strength Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2007.
60. Thomas C, Jones PA, Rothwell J, Chiang CY, Comfort P. An investigation into the relationship between maximum isometric strength and vertical jump performance. *J Strength Cond Res* 29: 2176–2185, 2015.
61. Toji H, Kaneko M. Effect of multiple-load training on the force-velocity relationship. *J Strength Cond Res* 18: 792–795, 2004.
62. Toji H, Suei K, Kaneko M. Effects of combined training programs on force-velocity relation and power output in human muscle. *Jpn J Phys Fit Sport* 44: 439–446, 1995.
63. Toji H, Suei K, Kaneko M. Effects of combined training loads on relations among force, velocity, and power development. *Can J Appl Physiol* 22: 328–336, 1997.
64. Vescovi JD, McGuigan MR. Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *J Sports Sci* 26: 97–107, 2008.
65. Weyand PG, Sandell RF, Prime DN, Bundle MW. The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *J Appl Physiol* (1985) 108: 950–961, 2010.
66. Weyand PG, Sternlight DB, Bellizzi MJ, Wright S. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol* (1985) 89: 1991–1999, 2000.
67. Wilson GJ, Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 25: 1279–1286, 1993.
68. Zatsiorsky VM, Kraemer WJ. *Science and Practice of Strength Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2006.

From *Strength and Conditioning Journal*
Volume 38, Number 1, pages 71-78.

著者紹介

Christopher Taber:
East Tennessee State University運動スポーツ科学学科の博士課程に在籍し、運動科学コーチ教育先進研究センターと連携して研究に取り組んでいる。

Christopher Bellon:
East Tennessee State University運動スポーツ科学学科の博士課程に在籍し、運動科学コーチ教育先進研究センターと連携して研究に取り組んでいる。

Heather Abbott:
East Tennessee State University運動スポーツ科学学科の博士課程に在籍し、運動科学コーチ教育先進研究センターと連携して研究に取り組んでいる。

Garett E. Bingham:
East Tennessee State University運動スポーツ科学学科の博士課程に在籍し、運動科学コーチ教育先進研究センターと連携して研究に取り組んでいる。