©NSCA JAPAN
Volume 26, Number 9, pages 2-9

特集 feature

オリンピックリフティングを用いた爆発的な脚伸展能力の強化の可能性

平山邦明, Ph.D., CSCS,*D, NSCA-CPT,*D, NSCAジャパンマスターコーチ, 日本スポーツ協会公認アスレティックトレーナー／ウエイトリフティングコーチ1
早稲田大学スポーツ科学学術院 准教授, NSCAジャパン指導者育成委員会委員

1. 本稿の目的

オリンピックリフティングとは、オリンピック種目であるウエイトリフティング競技の試合やトレーニングで用いられる爆発的エクササイズの総称である。ここで出てきた「爆発的」という言葉はやや曖昧な表現だが、NSCAのポジションステイトメントの中には次のような項目がある。

「最高速度、最高に近い速度での力発揮、あるいは大きな加速を伴うレジスタンストレーニングは、『爆発的エクササイズ』と呼ばれており、身体パフォーマンスの向上に効果的である」

これを踏まえると、「爆発的」という言葉は、「高速動作中の力発揮、あるいは高い加速度を伴う」という意味であると理解することができる。

では実際に、オリンピックリフティングは、高速動作中の力発揮、あるいは高い加速度を伴う運動のパフォーマンスの向上にどのように寄与するのだろうか？ オリンピックリフティングがスプリントやジャンプといったアスレティックパフォーマンスを向上させるとする報告は多数ある([7]など)。しかし、そのメカニズムに迫った研究、すなわちオリンピックリフティングのみを用いた長期的トレーニング介入が高速動作中の力発揮あるいは加速度を生む能力にどのような影響を与えるか調査した研究は見当たらない。そこで、本稿では、まず爆発的な脚伸展について力学的視点から解説した上で、アスリートがパワークリーン**(図1)**等のオリンピックリフティングを用いることで期待される、オリンピックリフティング特有のトレーニング効果について推論したい。

2. 爆発的な脚伸展を力学的に考えると

爆発的な脚伸展を行なう場面としては、より速く、より高く動こうとする場面が考えられる。結論から言えば、より速くスプリントしたり、より高くジャンプしたりするには、いかに力積を稼ぐかが重要になる。ここでは、な

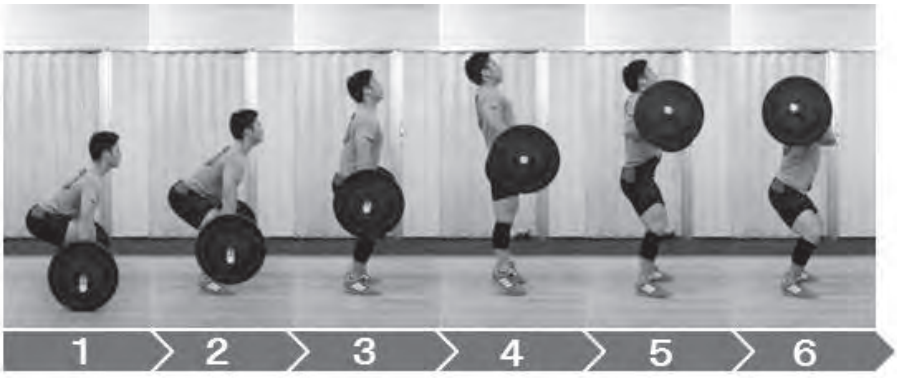

図1　オリンピックリフティングの一種であるパワークリーン

ぜ力積が重要になるのかスタートダッシュとジャンプを例に考えてみることとする。

2-1. スタートダッシュ

短距離走のスタートダッシュでは、いかに高い速度を獲得するかが重要になる。スタートの号砲が鳴ると、選手は地面から手を離すとともにスターティングブロックを蹴る。これによって、選手の身体重心は前方に飛び出す(つまり、速度を獲得する)ことになる。このとき、選手はスターティングブロックをある時間にわたって蹴ることで速度を獲得している。この様子を式に表すと、

m[質量]×v_i[初速]＋F[力]×t[時間]＝m[質量]×v_f[最終獲得速度]

もしくは、

F[力]×t[時間]＝m[質量]×(v_f−v_i)[最終獲得速度−初速]

となる(※最終獲得速度とは、空気抵抗や姿勢のわずかな変化を無視した場合に、スタート1歩目までに到達した重心速度のことである)。今回の例では、v_i[初速]はゼロなので、

F[力]×t[時間]＝m[質量]×v_f[最終獲得速度]

としてもよい。m[質量]つまり体重は変化しないので、最終獲得速度はF[力]×t[時間]によって決定されることがわかる。ここで登場した力×時間の値を「力積」と呼ぶ。筋力の重要性を説明するのによく用いられる

F[力]＝m[質量]×a[加速度]

では時間の概念がなく、どの程度の速度を獲得するかまでは考えることができない。加速度×時間＝速度で、加速度をどのくらいの時間発揮したかがわからないと獲得した速度を知ることができないためである。一方、力積には時間の概念があり、ある時間にわたって加速し続けることでどの程度の速度を獲得することができたか考えることができるのである。

2-2. ジャンプ

ジャンプの場合、求められるのは高さすなわち距離であるが、これもまた力積に左右される。垂直跳びを例に考えてみたい。垂直跳びで地面を蹴ったあと、空中でどんなに動いても身体重心の上昇高は変わらない。地面に対する身体重心の位置(上昇高)に影響を及ぼすことができるのは重力だけである。重力加速度は、同じ緯度であれば一定(約9.8m/s^2)である。地面を蹴ってある速度で上方向に飛び出すと、その後は約9.8m/s^2のマイナスの加速度が作用し続けることで速度が減少していき、最高到達点で速度ゼロになる。重力加速度は常に一定なので、最高到達点を決めるのは上方向に飛び出す速度ということになる。そして速度を決めるのは力積であった。ジャンプ時の最高速度も力積によって決定されるので、ジャンプの高さも力積に左右されるということになる。**図2**はカウンタームーブメントジャンプを行なっている際の地面反力(地面を蹴っている力)を測って、そこから重心の加速度、速度、移動距離を算出したものである。④の時点から⑤の時点における力積(体重を支える分を除く、曲線下の面積)が重心の最高速度ならびに移動距離を決定する。

3. 大きな力積を稼ぐために必要な能力

以上2つの例から、爆発的な脚伸展を行なう場面では、大きな力積を稼ぐことが目標になるということができる。大きな力積を稼ぐためには、いわゆる最大筋力(最大等尺性筋活動に伴って発揮される力や、最大挙上重量)が高いだけでは不十分である。なぜなら、脚伸展では時間や筋の特性による制約が存在するためである。ここからは、大きな力積を稼ぐ上での制約とそれを克服するために求められる能力について見ていきたい。

3-1. Rate of Force Development (RFD)

短距離走のスタートのように、短時間で大きな力積を得る必要がある運動

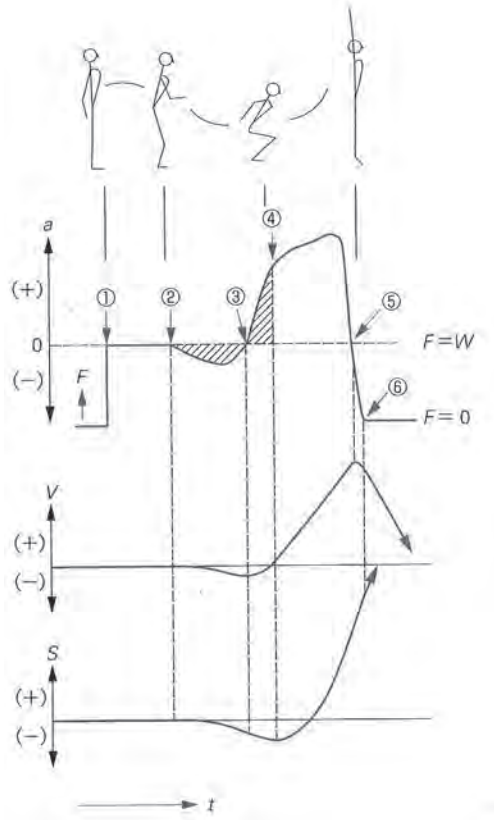

図2　垂直跳びを行なっている時の地面反力(*F*)、加速度(*a*)、速度(*V*)、変位(*S*)の経時変化(文献[21]より金子[17]が改変・転載)
最もしゃがみ込んだ時点(④)から地面反力が体重分を下回る時点(⑤)までの力積が、最高速度と重心の上昇高を決定する。

では、力×時間のうち時間は延長できないので、力をいかに素早く高く上昇させるかが重要になる。**図3**は、力積(曲線下の面積)が同じ2つの力発揮パターンを表している。**図3a**は、短時間で大きな力を発揮しているのに対し、**図3b**は強い力を発揮することなく長い時間をかけて**図3a**と同じ力積を稼いでいる。脚伸展動作では、脚を伸ばせる距離や、それを決める関節可動域に限界があり、いつまでもスターティングブロックを蹴り続けられない。そのため、**図3b**のように長い時間をかけて力積を稼ぐことができず、**図3a**のように一気に力を立ち上げる必要がある。この力を立ち上げる能力や力が立ち上がる傾きのことをRate of Force Development(RFD)と呼ぶ。

図4は、力がゼロの状態から最大筋力に到達するまでの時間経過を表している。高重量レジスタンストレーニング群は、最大筋力は高くなったものの、スポーツ動作で重要といわれる200ミリ秒時点での力積(曲線下の面積)は非鍛錬者群と差がほとんどない。一方、軽～中重量で爆発的にトレーニングを行なった爆発的なバリスティックトレーニング群は、最大筋力は高重量レジスタンストレーニング群よりも劣るものの、200ミリ秒時点では高重量レジスタンストレーニング群よりも大きな力積を稼ぐことができている。よって、高いRFDは、より短時間内により大きな力積を稼ぎ、速く遠くに移動するために必要な能力のひとつであるといえる。

3-2. 高速動作中の力発揮能力(“高速筋力”)

ゼロからの加速ではなく、ある程度速度を獲得した状態でさらに加速するためには高速動作中に力を発揮する必要がある。例えば、スプリントの中間疾走区間や、一回の動作で言えばジャンプ動作後半がそれに当たる。ここで考慮しなければならないのは、筋の力-速度関係(**図5a**)(脚伸展運動の場合は、ほぼ直線で**図5b**のようになる[2])である。筋は低速で短縮する際は大きな力を出すことができるが、高速で短縮する際は大きな力を出すことができないという特性である。爆発的な脚伸展動作ができるようになればなるほど、スピードに乗ったり、動作後半に

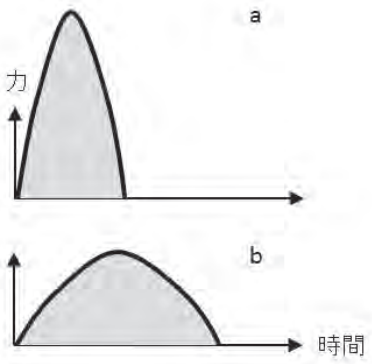

図3　2つの力発揮パターン
aとbは、同じ力積(面積)である。

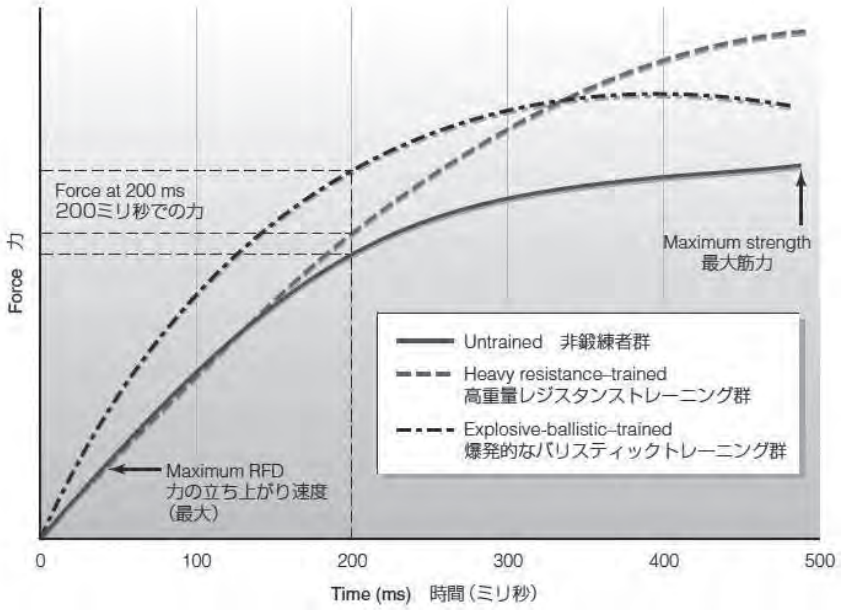

図4　特性の異なるトレーニングを行なった被験者における
Rate of Force Development(RFD)(文献[6]より転載)

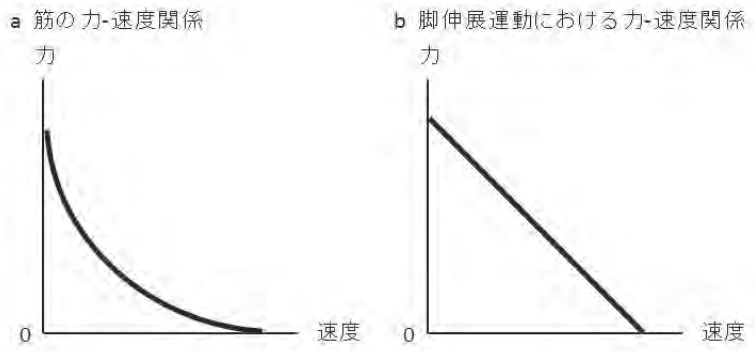

図5　筋(a)および脚伸展運動(b)における力−速度関係

速度が増したりするので、“高速筋力”が求められることになる。

力-速度関係には、傾きや切片が存在する。簡単に説明すると、傾きは力を出すのが高速と低速のどちらで得意かという相対的な得意・不得意を表し、切片は絶対的な力や速度の理論的限界値を表す。力-速度関係の傾きや切片(力-速度プロフィール)は個人によって異なり、さらにトレーニングの内容次第で変化の仕方が異なることがわかっている(12,16)。つまり、“高速筋力”はトレーニング内容次第では、効率良く高めることができたり、そうでなかったりするということである。Jiménez-Reyesら(12)は、各被験者の脚伸展の力-速度プロフィールを調べた上で、“高速筋力”が弱い被験者に対し高速(低負荷重量)エクササイズを、“低速筋力”が弱い被験者に対し低速(高負荷重量)エクササイズを処方し、それぞれの弱点を克服できたことを報告している。対象部位が肘関節の屈曲ではあるものの、金子ら(16)は、0%の負荷(無負荷の空振り)でトレーニングした群では高速領域での筋力増加が大きかったのに対し、100%の負荷(最大筋力の発揮)でトレーニングした群では、低速領域での筋力増加が顕著であったことを報告している。これらの研究は、いわゆる最大筋力を高めるような高重量でゆっくりとしたトレーニングだけを続けても“高速筋力”の発達には限りがあり、爆発的エクササイズが“高速筋力”の発達に必要であることを示唆するものである。

4. オリンピックリフティングが爆発的脚伸展能力に与えるトレーニング効果

残念ながら筆者の知るかぎり、トレーニング介入を通してオリンピックリフティングがRFDや脚の力-速度プロフィールにどのような影響を及ぼすか定量的に示した研究は存在しない。現在、我々の研究チームではこれらの点について研究を進めているので、別の機会があれば紹介したい。本稿では、いくつかの観察研究を通して、オリンピックリフティングがRFDや脚の力-速度プロフィールに与えるトレーニング効果について類推していきたい。

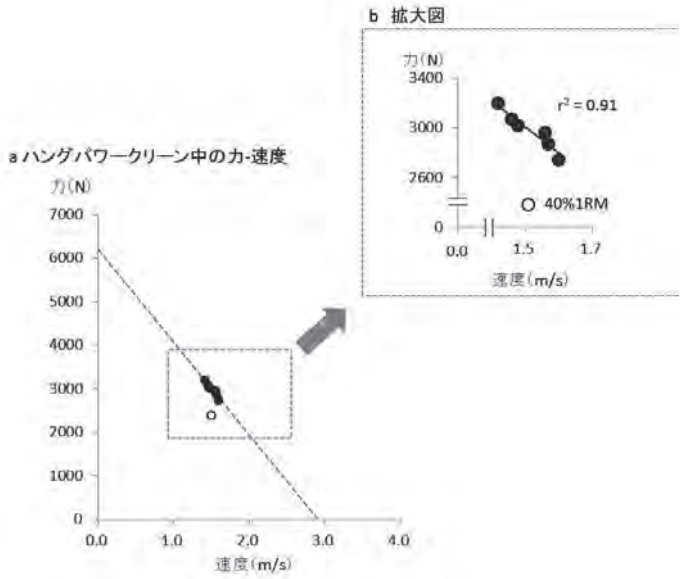

図6　ハングパワークリーン各負荷重量における力-速度関係(a)とその拡大図(b)
(文献[26]を基に作図)

4-1. RFDに対する効果

オリンピックリフティングの一種であるハングパワークリーンの上昇局面におけるRFD(17,254 N/s)は、同重量のジャンプスクワット(3,517 N/s)や自重でのジャンプ(3,836 N/s)よりも高いという報告(19)がある。ジャンプスクワットや自重でのジャンプでは、最大RFDは上昇局面ではなく、反動をつける際のブレーキ局面(最もしゃがみ込んだ姿勢になる直前)に出現するが、そのときのRFD(ジャンプスクワット:7,920 N/s、自重でのジャンプ:9,465 N/s)であっても、ハングパワークリーンの上昇局面におけるRFDに及ばない。さらに、このような高いRFDが求められるオリンピックリフティングを専門としているウエイトリフターは、他のストレングス・パワー系アスリートよりもRFDが13～16%高いという報告(22)が存在することからも、オリンピックリフティングがRFDを高める上で効果的なエクササイズである可能性は高いと考えられる。

4-2. “高速筋力”に対する効果

図6は、Takeiら(26)の結果を基に筆者が作図したハングパワークリーン中のシステム(身体+バーベル)重心の力-速度プロフィールである。60～100% 1RMの力と速度の関係については直線性が高いことがわかる(決定係数=0.91)。そこで、この回帰直線を延長して求めた力-速度プロフィール(**図6a**中の破線)に対しハングパワークリーンの60～100% 1RMがどこに位置するか見てみると、ハングパワー

クリーンは脚の力-速度プロフィールの中央に位置することがわかる。デッドリフトの1RMが0.6m/s程度(18)で出現することや、30cm垂直跳びをする際には理論上約2.4m/sの速度が必要なことなどを踏まえると、ハングパワークリーンが脚の力-速度プロフィールの中間領域に位置するという結論は妥当だと思われる。過去の研究を見るかぎり、中間領域でのトレーニングは中間領域においてやや効果が高い傾向も見られるものの、概して力-速度プロフィール全体にわたってトレーニング効果を発揮する特徴がある(13,16)。**図6a**で言えば、破線を全体的に右上にシフトさせるということになる。力×速度=パワーなので、オリンピックリフティング(ここではハングパワークリーン)を用いることで脚伸展パワーは比較的広い速度領域において向上するのかもしれない。

5. オリンピックリフティングの最適負荷

5-1. 軽負荷では全力を出せない

図6において直線回帰を行なう際、40%1RM(**図6**の白丸)を含めなかった。通常の身体運動において力-速度プロフィールは**図5**のようになるはずであるが、ハングパワークリーンにおいては、軽負荷重量(40%1RM:**図6**の白丸)において顕著に速度が低い。パワークリーンが軽負荷においてスピードを出すことができない理由についてTakeiら(26)のデータから考えていきたい。**図7**は、負荷重量ごとにバーベルの上昇高(ピーク速度が出た時点の高さから最高到達点までの移動距離)とピーク速度の変化を表したものである。バーベルの上昇高とピーク速度のいずれも、負荷重量の増加に伴って低下していることがわかる。

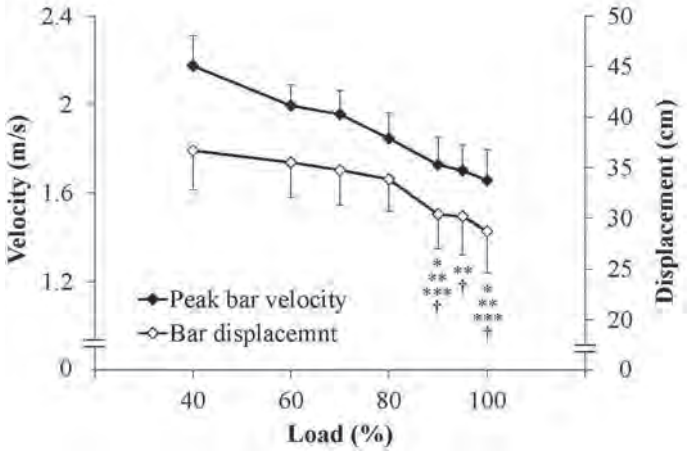

図7　ハングパワークリーン各負荷重量における最大バー速度とバーの変位(上昇高)
(文献[26]より転載)

バーベルの上昇高とピーク速度の関係を被験者ごとに検討したのが、**図8**である。被験者hを除き、バーベルの上昇高とピーク速度には強い正の相関関係があることがわかる。最高到達点はクォータースクワット姿勢でキャッチする以上、どこまでも高くすることはできない。ここで、投射運動において物体の上昇高は最大速度によって決まるという冒頭の話題を思い出していただきたい。パワークリーンにおいては、バーベルの上昇高にクォータースクワットという制約があることから、ピーク速度もそれに合わせて調整する必要がある。具体的には、軽負荷重量(40%1RM程度)の場合、最大努力をするとバーベルが上昇し過ぎてしまうため、最大下の努力に留めなければならないということである。このため、軽すぎる負荷はオリンピックリフティングの負荷として適当ではないと考えられる。オリンピックリフティングは、力-速度プロフィール全体にわたってトレーニング効果を発揮する特徴があるとはいえ、特に速い脚伸展能力の向上は限定的である可能性は否定できない。

5-2. 高いパワーを発揮するための最適負荷

パワークリーンにおいては、速度と高さに強い相関関係があり、高さが一定である以上、速度も一定のはずである。その場合、重量の増加に伴い発揮される力は増えるので、力×速度で求められるパワーは、理論的には100%1RMで最大になるはずである。しかし、これまでの研究において、パワークリーンで最もパワーが発揮される負荷(最適負荷)は最大下(65～80%1RM)であるとされてきた(14,15,23-25)。力学的原則と先行研究が一致しない理由は、キャッチ高にある。通常、パワークリーンのキャッチ姿勢はクォータースクワットとされている(3)。しかし、過去にパワークリーンの最適負荷が最大下であるとした研究はパラレルスクワット(大腿が水平)までしゃがんでも成功として許容していた。ウエイトリフターを対象としたTakeiら(26)の研究でも、軽い負荷重量ではクォータースクワット姿勢だったキャッチ姿勢が、80%1RMを超えるとクォータースクワットよりも低い姿勢になっていた。一方で、80%1RMまでは重量の増加に伴い発揮パ

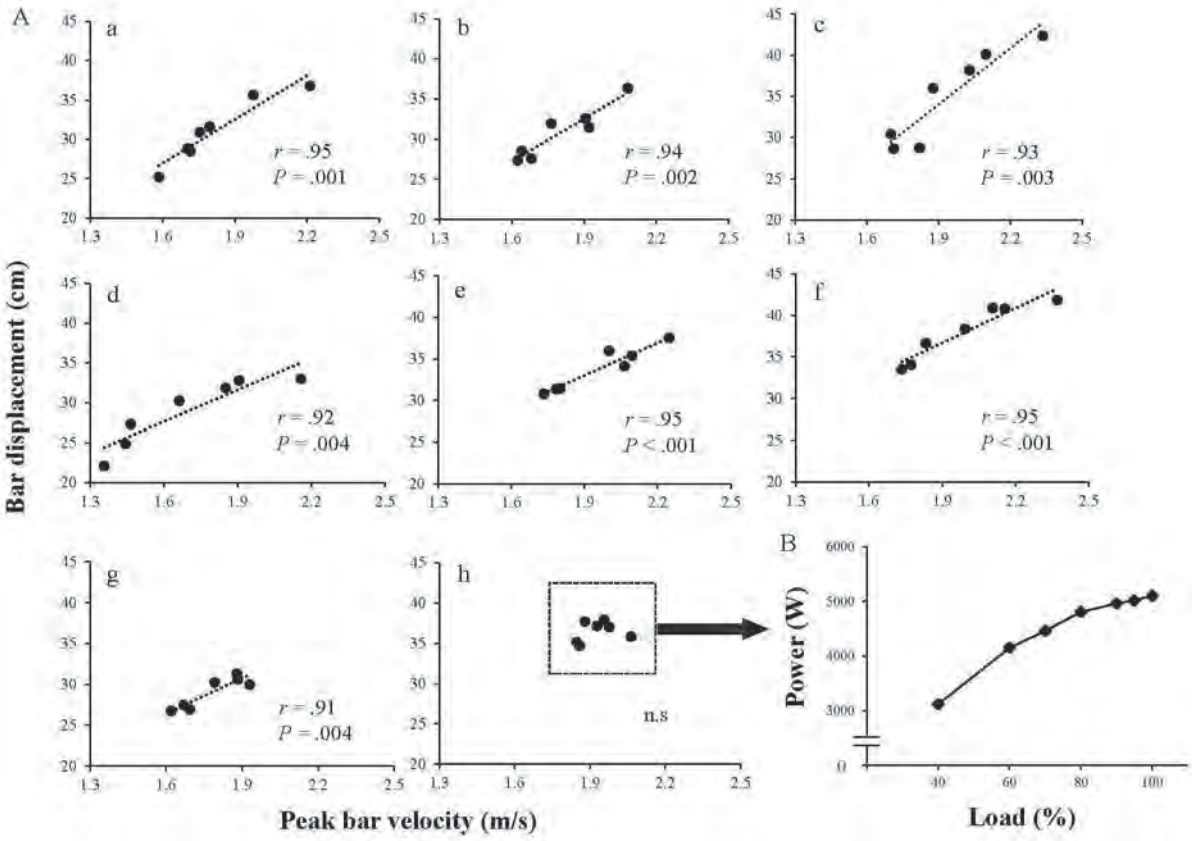

図８　被験者ごとのバーの最大速度と変位（上昇高）の関係（A）および被験者hの負荷重量ごとの発揮パワー（B）（文献［26］より転載）

ワーが増加していることから、厳密にクォータースクワットを成功試技とする場合は、100％ 1RMが最大パワーを発揮するための最適負荷ということになる。実際、キャッチ姿勢の変化が比較的小さかった1名の被験者（**図8**の被験者h）は、100％ 1RMで最大パワーを発揮していた**（図8B）**。したがって、クライアントにクォータースクワット姿勢でのキャッチを要求しておきながら、最大下（65 ～ 80％ 1RM）の負荷を挙上させていると、最適負荷を下回ることが見込まれる。先に述べたように、軽すぎる負荷重量は、オリンピックリフティングの負荷としては適当ではない可能性が高いため、これでは狙った効果を得ることができないであろう。

6. その他の爆発的エクササイズ

爆発的な脚伸展能力を向上させる代表的なトレーニング方法として、オリンピックリフティングに加え、ジャンプスクワットとプライオメトリックスが挙げられる（8）。しかし、プライオメトリックスに関しては、近年の研究で、筋力を増加させる効果は限定的で、むしろStretch-Shortening Cycle運動中にバネの役割を果たす腱を適度に硬くしたり（9）、筋活動のタイミングやグレーディングを変化させて腱をバネとして効果的に使うテクニックを改善したりすること（9,10）が明らかになってきている。つまり、プライオメトリックスとオリンピックリフティングとでは、運動パフォーマンス改善のメカニズムが異なるということである。本稿では、RFDや“高速筋力”を増加させる方法に着目しているため、この先の議論ではプライオメトリックスには触れず、ジャンプスクワットやオリンピックリフティングの派生エクササイズとされるハイプルおよびジャンプシュラッグについて、オリンピックリフティングとの比較なども踏まえながらその特徴に触れておきたい。

6-1. ジャンプスクワット

ジャンプスクワットはバーベルを担いだ状態でジャンプを行なうエクササイズである。オリンピックリフティングほど高度なテクニックが必要ないとされる反面、中～高重量で行なうと着地の際に身体に大きな負担がかかるという問題点がある。着地時の負荷を軽減するためには、特殊なブレーキ装置や高価な補助装置を必要とするため、

一般的なトレーニング環境で実施するのは難しいと考えられる。**図9**はジャンプスクワットとパワークリーンで発揮される最大パワーを示している。パワークリーンに比べ、ジャンプスクワットでは軽負荷重量で大きなパワーを発揮できることが読み取れる。一方、重量が重くなるにつれて2つのエクササイズの差は小さくなり、中～高重量においては統計的に差が認められなくなっている。ジャンプスクワットはパワークリーンが苦手とする軽負荷領域を得意とし、パワークリーンはジャンプスクワットで着地衝撃が問題となる中～高重量で高いパワー発揮を可能とする。よって、これら2つのエクササイズはお互いの短所を補い合う関係にあると考えることができる。

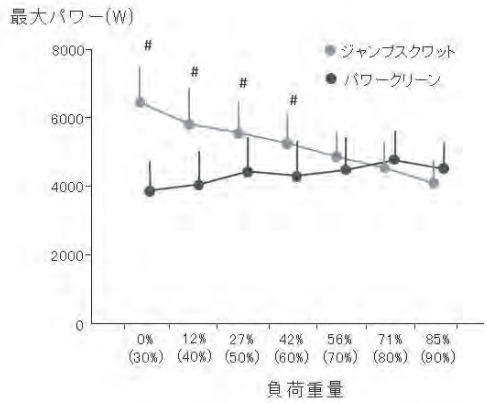

図9　ジャンプスクワットとパワークリーンにおいて発揮される最大パワー
（文献[4]を基に作図）

6-2. ハイプル

オリンピックリフティングの派生エクササイズのひとつにハイプルがある。ハイプルでは、セカンドプル**（図1の4）**まではパワークリーンなどと同じ動きをするが、バーベルをキャッチしない。キャッチ動作がないため、技術的な難易度が低いことや、上肢の柔軟性やケガの問題があっても行なうことができるというメリットがある。さらに、軽負荷重量においてパワークリーンと比較した場合、高さの制限がある程度緩和されることで、速度の制限も緩和される。つまり、パワークリーンでは鎖骨でバーベルをキャッチする必要があるが、ハイプルならばそれ以上の高さ（顔の前）までバーベルを引き上げることができるため、軽負荷重量においてハングハイプルのほうが大きなパワーを出すことができる(24)。ただ、高さの制限は緩和されただけであって、完全に解消されたわけではない。身体重心ごと空中に飛び出すことができるジャンプスクワットのほうが、軽負荷重量においてより高いパワーを発揮できる可能性が高いと推測される。また、現場での指導に際しては、ハイプルはキャッチがないため、最大努力で実施できているか判断しづらいという問題もある。その場合、意識づけをしっかり行なうとともに、高さや速度のリアルタイムフィードバックなどの手法を用いることが役に立つかもしれない。

6-3. ジャンプシュラッグ

オリンピックリフティングの派生エクササイズとして、ジャンプシュラッグが紹介されることがある。Suchomel&Sole(24)は、ハングパワークリーン、ハングハイプル、ジャンプシュラッグの3種目における発揮パワーを比較し、ジャンプシュラッグが他の2種目よりも優れていると報告している。彼らは、被験者にハングパワークリーンの30～80％1RMの負荷でジャンプシュラッグを行なわせているが、この中の高負荷重量では着地衝撃による身体への負荷が非常に高くなることが容易に想像できる。オリンピックリフティングのメリットは、ジャンプスクワット等で生じる着地衝撃による身体への負荷を減らしつつ爆発的にエクササイズをすることである。よって、高負荷重量でのジャンプシュラッグはオリンピックリフティングに包含されるものかもしれないが、オリンピックリフティング固有のメリット（着地衝撃の緩和）を享受できないエクササイズということになる。

7. 対象者のトレーニングステータスの考慮

S&Cコーチの中には、高重量で動作速度の遅いトレーニングを行なうだけでも爆発的運動のパフォーマンスが向上したという経験を有する方もいるだろう。見た目の動作速度が遅くても、爆発的に動こうとする意志（intention to move explosively）を伴っていれば、RFDや高速動作中の力発揮が向上することがある(1)。一方、研究によっては、爆発的に動こうとする意志だけでは不十分で、特に高速動作中の力発揮を高めたければ実際の動作速度（actual movement velocity）が速くなければならないという知見もある(20)。この研究結果の不一致については、被験者の初期のトレーニングステータスがかかわっている可能性も指摘でき(11)、トレーニングステータスが高ければ実際

の動作速度が速くなければならない可能性がある。また、神経-筋の適応を最大化し、爆発的な脚伸展能力、ひいてはアスレティックパフォーマンスを限界まで向上させようとするならば両方の刺激が必要であるとの主張も存在する(5)。よって、実際の動作速度は遅くても爆発的に挙げようとする意志をもって高重量のスクワットを行なうだけでなく、オリンピックリフティング等の爆発的エクササイズを用いることが、爆発的な脚伸展能力の向上には必要だと考えられる。

8. まとめ

本稿の目的は、オリンピックリフティングをアスリートが用いることでどのようなトレーニング効果が期待されるか、現在発表されている知見から紹介することであった。爆発的に脚を伸展して身体を速く移動させたり、高くジャンプしたりするためには力積をいかに稼ぐかが重要で、RFDと“高速筋力”という2つの能力が特に求められる。オリンピックリフティングは、RFDを高めるとともに、脚の力-速度関係の広い領域(特に中間領域)に対しトレーニング効果を発揮すると予測された。ただし、負荷重量が軽すぎると最大努力でトレーニングができない点には注意が必要であり、ジャンプスクワットなどで補う必要があることが示唆された。◆

参考文献

1. Behm DG, Sale DG. Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *J Appl Physiol* (1985). 1993;74(1):359-368.
2. Bobbert MF. Why is the force-velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic? *J Appl Physiol* (1985). 2012;112(12):1975-1983.
3. Caulfield S, Berninger D. Exercise technique for free weight and machine training. In: G Haff, T Triplet editors. *Essentials of Strength Training and Conditioning*. 4th ed.: Human Kinetics; 2015, pp. 351-408.
4. Cormie P, McCaulley GO, Triplett NT, McBride JM. Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(2):340-349.
5. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med*. 2011;41(2):125-146.
6. Deweese BH, Nimphius S. スピードおよびアジリティトレーニングのためのプログラムデザインとテクニック. In: Haff GG, Triplett T editors. *NSCA決定版ストレングストレーニング&コンディショニング*第4版. 東京: ブックハウスHD; 2018, pp. 565-602.
7. Hackett D, Davies T, Soomro N, Halaki M. Olympic weightlifting training improves vertical jump height in sportspeople: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 2016;50(14):865-872.
8. Haff GG, Nimphius S. Training Principles for Power. *Strength & Conditioning Journal*. 2012;34(6):2-12.
9. Hirayama K, Iwanuma S, Ikeda N, Yoshikawa A, Ema R, Kawakami Y. Plyometric Training Favors Optimizing Muscle–Tendon Behavior during Depth Jumping. *Frontiers in Physiology*. 2017;8(16).
10. Hirayama K, Yanai T, Kanehisa H, Fukunaga T, Kawakami Y. Neural modulation of muscle-tendon control strategy after a single practice session. *Med Sci Sports Exerc*. 2012;44(8):1512-1518.
11. 平山邦明. レベルⅠ種目指導のケーススタディ第8回スクワットエクササイズ. *Strength & Conditioning Journal*. 2017;24(6):12-13.
12. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Brughelli M, Morin J-B. Effectiveness of an Individualized Training Based on Force-Velocity Profiling during Jumping. *Frontiers in Physiology*. 2017;7(677).
13. Kanehisa H, Miyashita M. Specificity of velocity in strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1983;52(1):104-106.
14. Kawamori N, Crum AJ, Blumert PA et al. Influence of different relative intensities on power output during the hang power clean: identification of the optimal load. *J Strength Cond Res*. 2005;19(3):698-708.
15. Kilduff LP, Bevan H, Owen N et al. Optimal loading for peak power output during the hang power clean in professional rugby players. *International journal of sports physiology and performance*. 2007;2(3):260-269.
16. 金子公宥, 渕本隆文, 田路秀樹, 末井健作. 人体筋の力・速度・パワー関係に及ぼすトレーニング効果. *体力科学*. 1981;30(2):86-93.
17. 金子公宥. *スポーツバイオメカニクス入門*第3版. 東京: 杏林書院; 2006, p55.
18. Lake J, Naworynsky D, Duncan F, Jackson M. Comparison of Different Minimal Velocity Thresholds to Establish Deadlift One Repetition Maximum. *Sports* (Basel, Switzerland). 2017;5(3).
19. MacKenzie SJ, Lavers RJ, Wallace BB. A biomechanical comparison of the vertical jump, power clean, and jump squat. *J Sports Sci*. 2014;32(16):1576-1585.
20. McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU. The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res*. 2002;16(1):75-82.
21. 渋川侃二. *運動力学*. 東京：大修館書店; 1969
22. Storey A, Smith HK. Unique aspects of competitive weightlifting: performance, training and physiology. *Sports Med*. 2012;42(9):769-790.
23. Suchomel TJ, Beckham GK, Wright GA. The impact of load on lower body performance variables during the hang power clean. *Sports Biomechanics*. 2014;13(1):87-95.
24. Suchomel TJ, Sole CJ. Power-Time Curve Comparison between Weightlifting Derivatives. *Journal of sports science & medicine*. 2017;16(3):407-413.
25. Suchomel TJ, Wright GA, Kernozek TW, Kline DE. Kinetic comparison of the power development between power clean variations. *J Strength Cond Res*. 2014;28(2):350-360.
26. Takei S, Hirayama K, Okada J. Is the Optimal Load for Maximal Power Output During Hang Power Cleans Sub-Maximal? *International journal of sports physiology and performance*. 2019:1-20.

著者紹介

平山 邦明：
早稲田大学スポーツ科学学術院准教授、博士(スポーツ科学)、CSCS,*D、NSCA-CPT,*D、NSCAジャパンマスターコーチ、NSCAジャパン指導者育成委員会委員、日本スポーツ協会公認アスレティックトレーナー／ウエイトリフティングコーチ1。