

パワークリーンにおける 熟練者と未熟練者の神経筋制御戦略の相違

Differences in Neuromuscular Control Strategy between Skilled and Unskilled in Power Clean Exercise

コーチング科学研究領域
5021A036-9 秤谷 名鷹

研究指導教員：岡田 純一 教授

【背景】

オリンピックリフティングはウエイトリフティング競技者だけでなく、スポーツパフォーマンスに関連するジャンプ、スプリント等のアスレティックパフォーマンスを向上させる手段として多くのアスリートに採用されている。その代表例であるパワークリーン(PC)は、全身のコーディネーションが必要とされ、指導現場においても適切な筋協調を学習することを目指して広く普及している。その挙上においては、膝をまげ、しゃがみ込んだ開始姿勢から膝関節伸展動作が生じ、それに続いて再び膝関節を屈曲するダブルニーベンド(Double Knee Bend: DKB)、あるいは、“トリプルエクステンション”と称され、バーベルを引き上げる最終局面において股関節、膝関節、足関節の下肢三関節が爆発的に伸展するなどの特徴的な動作技術がみられる。高重量の挙上には筋力のみならず神経筋制御戦略が関与しており、その違いを明らかにすることは指導現場においても重要な知見となり得る。しかし、従来の研究でスキルレベルは初心者と熟練者間で比較されてきたが、熟練者とされてきた被験者の技術レベルが問題になっていた。競技に長けた熟練者の筋協調は定量されておらず、未熟練者が必要な筋協調は不明である。さらに、パワー向上を目的としたトレーニングとしてオリンピックリフティングを行う場合は高重量を扱うことが推奨されているが、これまでは初心者を対象としていたため実施が困難であり検討がなされていない。したがって、本研究はPC熟練者と未熟練者の神経筋制御戦略の相違を明らかにすることを目的とした。

【方法】

ウエイトリフティング熟練者 10 名 (年齢 20.8±1.4 歳, 身長 168±5.31cm, 体重 76.6±13.4kg, PC1RM

121.2±20.5kg) および未熟練者 10 名 (年齢 25.2±2.9 歳, 身長 173±3.5cm, 体重 70.2±6.2kg, PC1RM 75.6±14.3kg), 計 20 名の男性を本研究の対象とした。実験参加者は、それぞれの PC1RM の 60, 70, 80, 90%1RM の負荷で PC を 3 試技ずつ実施した。試技中の地面反力を 1000Hz で取得し、モーションキャプチャシステムを用いてバーベルと全身の三次元位置座標値を 100Hz で取得した。また、表面筋電図(Electromyogram: EMG)を用いて、右半身の、ヒラメ筋(Soleus: SOL)、腓腹筋内側頭(Gastrocnemius Medialis: MG)、前脛骨筋(Tibialis Anterior: TA)、外側広筋(Vastus Lateralis: VL)、大内転筋(Adductor Magnus: AM)、大腿筋膜張筋(Tensor Fasciae Latae: TFL)、大腿二頭筋(Biceps Femoris long head: BF)、半腱様筋(Semitendinosus: ST)、中臀筋(Gluteus Medius: Gmed)、大臀筋(Gluteus Maximus: SOL)、脊柱起立筋(Elector Spinae: ES)、僧帽筋上部線維(Upper Trapezius: Trap)の 12 筋の筋活動を 1000Hz で取得した。地面反力データと筋電図データは三次元データのサンプリング周波数と一致させるため、フィルタリング後 100Hz にダウンサンプリングしてから解析に用いた。PC の各局面について、ファーストプルは動作開始から最初の膝関節最大伸展、トランジションはファーストプルの終了から最初の膝関節最大屈曲、セカンドプルはトランジションの終了から 2 回目の膝関節最大伸展とした。動作開始は地面反力がシステム重量(対象者の体重とバーベルの重量の和)を初めて超えた時点とした。また、地面反力がシステム重量を下回る区間を抜重区間とし、この区間の力積を算出した。EMG は、遮断周波数 20Hz で 4 次の Butterworth high-pass digital filter をかけた後、全波整流を行った。全波整流した EMG に 4 次の Butterworth low-pass digital filter を施し平滑化した後、非負値行列因子分解により、筋シナジーの重みづけとその活動係数を抽出した。筋シ

ナジーは神経筋制御の相違を比較するために抽出し、筋シナジーの数は Variability Accounted For を用いて決定した。抽出された筋シナジーの類似性はコサイン類似度 (r) を用いて判断した。両群の筋シナジーの違いを比較するため、筋シナジーの重みづけ (12 筋) について信頼区間を算出し、信頼区間に 0 が含まれていない場合に有意に活動的な筋であると判断した。両群の筋シナジーの活動タイミングの違いは、相互相関関数を算出し、相関が最大となる時点 (Lag Time) をラグがない状態 (0%) と比較した。以上のデータ処理はすべて MATLAB (2021a) で記述されたカスタムソフトウェアを使用して行なった。

扱重区間の力積を群間と負荷間で比較するため、繰り返しのある二元配置分散分析を行い、事後検定の多重比較には Bonferroni 法を用いた。筋シナジーの数は Shapiro-Wilk 法により正規性を確認した後、正規性が認められなかったため、Mann-Whitney U 検定を用いて最頻値を決定した。また、筋シナジーの活動タイミングは、0 を基準とした 1 サンプルの t 検定を用いることで遅延の検証を行なった。有意水準はすべて 5% とした。

【結果】

扱重区間の力積について、すべての負荷において群間差が認められ、熟練者の方が未熟練者よりも力積が大きかった ($p < 0.05$)。つまり、熟練者の方が扱重が少なかった (表 1)。抽出された筋シナジーの最頻値は 3 個であり ($p < 0.001$)、それらの機能は、筋シナジー 1 はファーストプル、筋シナジー 2 はトランジションとセカンドプル、筋シナジー 3 は DKB に関与していた。90%1RM の筋シナジー 3 について、未熟練者の重みづけは SOL, MG, VL において有意に活動的ではなく、筋シナジー 3 の構成に関与していないと判断された (図 1)。また、活動係数においても有意な Lag Time が認められ、未熟練者よりも熟練者の方が筋シナジー 3 の活動タイミングは早かった ($p < 0.001$)。

【考察】

本研究では、未熟練者としてオリンピックリフティングを継続的に行なっているものを対象としたことで、これまで検討できなかった高負荷条件における神経筋制御の相違を明らかにすることができた。その結果、未熟練者よりも熟練者の方が DKB に伴う扱重区間の力積は大きかった。一般的に、大きな力積を産生

することは物体を上昇させる上で正の仕事である。一方、DKB にともなう扱重は負の力積となるため、熟練者のように DKB を最小限に抑えることがバーベルをより高く上昇させ、高重量を挙上することにつながると思われる。

DKB に関与する筋シナジー 3 において、未熟練者では SOL, MG, VL が貢献していなかった。したがって、熟練者は DKB 動作で足関節底屈筋と膝関節伸展筋を制御し、扱重を最小限にする戦略をとっている可能性が示された。さらに、筋シナジー 3 の活動タイミングは熟練者の方が早く、予備緊張のタイミングが早かったことを示している可能性がある。適切な予備緊張は関節スティフネスを向上させることが報告されており、関節スティフネスの向上はストレッチショートニングサイクル (SSC) の利用効率を高める。DKB 動作は SSC を利用していると考えられていることから、熟練者は筋シナジー 3 の活動タイミングを早くすることで関節スティフネスを向上させ、SSC の利用を最適化している可能性が考えられた。

【結論】

本研究は、PC 熟練者と未熟練者の神経筋制御戦略の相違を明らかにすることを目的とした。その結果、熟練者は DKB 時に足関節底屈筋と膝関節伸展筋を貢献させる筋シナジーを有しており、扱重区間に発生する負の力積を最小限にする戦略をとっていることが明らかとなった。

表1 扱重区間の力積と Lag Time

Load (%1RM)	Net Vertical Impulse during unweighing phase (N·s)		Lag time of synergy 3	
	Skilled	Unskilled	Lag time (%)	Cohen's d
60	-7.6±3.4	-17.8±3.8	-4.1±4.8	-0.86
70	-5.9±2.6	-15.7±2.9	-4.4±3.8	-1.16
80	-5.4±2.9	-16.2±3.2	-3.8±3.3	-1.16
90	-4.1±3.4	-17.0±3.8	-1.2±2.8	-0.45

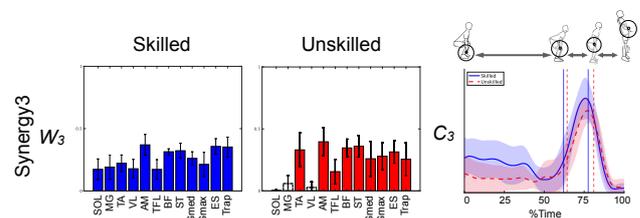


図1 90%1RM の筋シナジー 3 の重みづけと活動係数