

ドロップクリーンにおける台高と付加重量が地面反力 および下肢3関節のキネティクスに及ぼす影響

林 陵平¹⁾ 吉田 拓矢²⁾ 木越 清信²⁾

Ryohei Hayashi¹, Takuya Yoshida² and Kiyonobu Kigoshi²: Effects of drop height and load on ground reaction force and joint kinetics of the lower extremity during the drop clean. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.

Abstract: The purpose of this study was to identify the characteristics of lower extremity joint kinetics during the drop clean based on the plyometric theory. Twelve male track-and-field athletes performed the drop clean under 4 conditions. Kinematic and kinetic data were collected using a Vicon motion system (250 Hz) and force platforms (1,000 Hz). The results of these analyses were as follows:

(1) The peak vertical ground reaction force, joint torque of the ankle joint, and torque power of the hip and ankle joints during the drop clean were significantly greater than those during the hang power clean.

(2) During the drop clean, force development was achieved mainly by the hip joint during the descending phase and by the ankle joint during the ascending phase.

(3) The joint torque of the ankle in the descending phase, and the joint torque and joint torque power in the ascending phase were increased when the total mechanical energy was increased by the mass factor. The joint torque and joint torque power of the ankle in the descending phase were increased when the total mechanical energy was increased by the velocity factor.

(4) Even if the magnitude of the mechanical energy was the same, the vertical ground reaction force in the descending phase during the velocity-type drop clean was larger than that during the mass-type drop clean. The ground reaction force, joint torque of the hip, and joint torque power of the hip in the ascending phase during the mass-type drop clean were larger than those during the velocity-type drop clean.

Key words : resistance training, power clean, weight training, plyometric training, drop jump

キーワード : レジスタンストレーニング, パワークリーン, ウェイトトレーニング,
プライオメトリックトレーニング, ドロップジャンプ

Ⅰ 緒 言

クリーンエクササイズ（以下「クリーン」と略す）は、床から肩の高さまで一気にバーベルを挙上するプル局面と、その後即座に胸の前でバーベルを受け止めるキャッチ局面によって構成される運動であり、主に下肢および体幹筋群における力・パワー発揮能力を改善するためのウェイトトレ

ニング手段として用いられている（Rippetoe and Bradford, 2011）。これまでに、クリーンの負荷特性について検討したものが多く存在しており、プル局面では主に股関節に関与する筋群がコンセントリックな筋収縮によって（Enoka, 1988）、一方のキャッチ局面では主に膝関節に関与する筋群がエキセントリックな筋収縮によって力やパワーを発揮していることが明らかとなっている（林ほか, 2016b）。

1) 岐阜大学教育学部
〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

2) 筑波大学体育系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
連絡先 林 陵平

1. Faculty of Education, Gifu University
1-1 Yanagito, Gifu, Gifu 501-1193

2. Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
Corresponding author rhayashi@gifu-u.ac.jp

陸上競技における跳躍種目の踏切動作では、下肢主働筋の収縮様式に着目するとエキセントリックな筋収縮によって筋は一度引き伸ばされ、その後コンセントリックな筋収縮によって短縮する伸張-短縮サイクル運動 (Stretch-Shortening Cycle: SSC, Asmussen and Bonde-petersen, 1974) により動作が遂行されている (図子ほか, 1993)。この下肢の SSC 運動の遂行能力を高めるためのトレーニング法としてプライオメトリックトレーニング (以下「プライオメトリクス」と略す) が挙げられ (Bobbert, 1990; 図子, 2012), その代表例として、台から跳び降り、着地とともに即座に跳び上がる跳躍運動であるドロップジャンプが用いられることが多い (Bobbert, 1990)。陸上競技における跳躍種目の踏切動作時には、約 8000 N と極めて高い負荷を受け止める必要があり、ドロップジャンプはこうした極めて高い負荷を受け止めるための筋力を改善するための手段として用いられている (図子, 2012)。一方で、クリーンのプル局面では、最大挙上重量に近い重量を用いた場合でも約 2500 N と、ドロップジャンプ運動と比較して受け止める必要のある負荷は小さい (林ほか, 2016b)。トレーニング手段を選択する際には、目指すパフォーマンスに直結した運動、すなわち専門的な運動を手段として用いることが重要となる (図子, 2013)。このことを踏まえ、クリーンをより専門的な手段として用いる方法について考えてみると、ドロップジャンプをクリーンに応用した運動、すなわち台から跳び降り、着地後即座にプル動作を行うドロップクリーンを考案することができる。ドロップクリーンは従来のクリーンと異なり、プライオメトリック理論を応用した運動であることから、大きな力を発揮するための能力を改善するための新たなウェイトトレーニング手段として用いることが可能になると考えられる。ドロップクリーンは下肢の SSC 運動によって動作が遂行されていると考えられるために、伸張反射機構や弾性エネルギーの貯蔵・再利用機構が有効に機能し、バーベルを挙上する局面における力・パワー発揮の大きさを従来のハングパワークリーンと比較した場合には、ドロップクリーンの

方がより大きな力・パワーを発揮することのできる特性を有していることが考えられる。また、ドロップクリーンにおいて着地瞬間に受け止める必要のある伸張負荷の大きさは、着地瞬間の力学的エネルギー、つまり質量 (付加重量) と速度 (台高) の大きさによって決定される。ドロップジャンプに関する先行研究では、台高を上昇させた場合には踏切前半におけるキネティクスの値が増大する (高松ほか, 1989) ことが示されている一方で、ウェイトジャケットによって付加重量を増加させた場合にはキネティクスの値が変化しない (Makaruk et al., 2010) ことが示されている。これらのことを考慮すると、ドロップクリーンにおいても着地瞬間における力学的エネルギーを付加重量の増加によって増大させた場合と、台高を上昇によって増大させた場合とでは、下肢 3 関節における負荷特性は異なることが推察される。

図子ほか (1992) は、ドロップジャンプの着地瞬間における運動エネルギーの大きさを同一にして、質量と速度の割合を変化させた際の下肢におけるキネマティクスやキネティクスに与える影響について検討した。その結果、速度の割合を大きくした際には速筋占有率が高い腓腹筋が動員され、素早く大きな力を発揮することができるのに対して、質量の割合を大きくした際には動員される筋群や力の大きさは変化しなかったことを報告している。ドロップジャンプでは台から跳び降り、地面に着地した以降の局面では、姿勢が時々刻々と変化していく。そして、この姿勢の変化については、用いる付加重量と台高によって異なることが考えられるために、運動エネルギーの大きさを同じにした場合でも、下肢が発揮する関節トルクやパワーの大きさは必ずしも一致するとは限らないことが推察できる。これらのことを考慮すると、台高から落下する運動を含んでいるドロップクリーンについても、着地瞬間の力学的エネルギーが同一という条件で質量の割合が大きい場合と速度の割合が大きい場合とでは、神経・筋系の調節機構が異なると考えられ、下肢が発揮する力やパワーの大きさについては、用いる付加重量と台高に影響することが推察される。

以上のことから、上記の点に着目してドロップクリーンの負荷特性を検討することによって、従来のハングパワークリーンとドロップクリーンとの負荷特性の相違を明らかにすることができるとともに、ドロップクリーンをウェイトトレーニング手段として選択し、付加重量と台高を決定する際に役立つ知見が得られると考えられる。

そこで本研究では、下肢のプライオメトリック理論を応用したクリーンであるドロップクリーンの負荷特性について明らかにすることを目的とした。

II 方法

(1) 対象者

対象者には、陸上競技の跳躍種目を専門とする体育専攻の男子大学生 12 名（年齢：22.1±2.9 years, 身長：1.73 ± 0.05 m, 体重：66.4±6.0 kg, クリーンの最大挙上重量：89.58 ± 9.88 kg）を対象とした。対象者は、パワークリーンを日常的に行っている者とし、後述する実験試技については、実験数日前から十分に練習を行わせた。また、実験を開始するにあたり、全ての対象者に対して研究目的、方法および実験の安全性を説明するとともに、実験への参加の同意を得た。なお、本研究は筑波大学体育系倫理委員会の承認を得て行ったものである。

(2) 実験試技

実験試技は、台から跳び降り、着地後即座にバーベルの挙上を行うドロップクリーンと、ハングポジションからバーベルの挙上を行うハングパワークリーンを実験試技とした。ドロップクリーンとは、バーベルを大腿部前面の中心の位置に保持した状態で台の上に立ち、両足で身体を送り出すよう地面に向かって真下に跳び降り、地面に着地後即座にバーベルの挙上を行い、その後バーベルを胸の前でキャッチする運動である。全ての試技は、リストストラップを着用し、シューズを履いた状態で行わせた。ドロップクリーンおよびハングパワークリーンの全ての試技において足部のス

タンス幅を統一するために、試技を開始するに先立って足部のスタンス幅を決定し、台上およびフォースプレート上にテープを貼付した (Fig. 1)。ドロップクリーンおよびハングパワークリーンの試技開始時における姿勢を統一するために、全ての試技で膝関節の角度を 2 軸ゴニオメータ (DKH 社製, SG150) によって計測し、膝関節角度 140 ± 5 度の肢位から試技を開始させた。試技開始時のバーベルを保持する位置については、全ての試技において大腿部前面の中心とし、マーカーを貼付した位置にバーベルを接触させた状態から試技を開始させた。ドロップクリーンでは全ての条件において、台から跳び降りる際には、試技開始時の姿勢を維持して跳び降り、台の高さ以上に跳び上がったり、あるいは身体が前方に大きく跳び出さないように注意させ、地面に着地後即座にバーベルの挙上動作をできるだけ素早く全力で行うように指示した。ドロップクリーンではバーベルを保持しているために、ドロップジャンプのように片方の足で身体を送り出すような落下運動をすることが困難であった。したがって、試技開始時の姿勢を安定させるために両足のつま先の位置を揃え、台からはみ出さないように注意した。また、着地地点が前後に大きく変化することを防ぐために、足部が着地する地点にテープを貼ることによって着地地点を固定した (Fig. 1)。ハングパワークリーンでは、反動動作をできるだけ用いることなくバーベルの挙上動作をできるだけ素早く全力で行うように指示した。ドロップクリーンについては、Fig. 2 に示した通り 4 種類のドロップクリーンを用いた。ドロップクリーン A およびドロップクリーン B では、後述する下降局面において受け止める必要のある力学的エネルギーの大きさを付加重量によって変化させ、ドロップクリーン B (台高：0.25 m, 付加重量：体重の 0.33 倍) がドロップクリーン A (台高：0.25 m, 付加重量：体重の 1.0 倍) よりもトータルの力学的エネルギーが大きくなるように設定した。一方、ドロップクリーン C およびドロップクリーン D では、後述する下降局面において受け止める必要のある力学的エネルギーの大きさを台高によって変

化させ、ドロップクリーンD（台高：0.20 m，付加重量：体重の0.66倍）がドロップクリーンC（台高：0.30 m，付加重量：体重の0.66倍）よりもトータルの力学的エネルギーが大きくなるように設定した。付加重量および台高を設定する際には，はじめにドロップクリーンBおよびドロップクリーンDを設定した。この際，過度な負荷によって怪我が生じることなく安全に試技が実施できる範囲で，トータルの力学的エネルギーが可能な限り大きくなるよう付加重量の大きさと台高をそれぞれ設定した。これを基準としてドロップクリーンAおよびドロップクリーンCにおける付加重量の大きさと台高を設定した。また，ドロップクリーンAとドロップクリーンC，ドロップクリーンBとドロップクリーンDでは，それぞれの力学的エネルギーが同一になるように設定した。また，ハングパワークリーンでは，体重の0.66倍の付加重量を用いた。実験を開始するにあたり，十分なウォーミングアップを行わせ，ハングパワークリーンとドロップクリーンの各試技をランダムに行わせた。本研究では，上述した全ての条件を満たし，キャッチ動作までの一連の過程が達成できたことを成功の条件とした。4種類のドロップクリーンとハングパワークリーンの各試技をそれぞれ3回ずつ行わせ，成功試技の中から，ドロップクリーンでは，後述する下降局面における地面反力の最大値が最も大きかった試技を分析対象とし，ハングパワークリーンでは，後述する上昇局面における地面反力の最大値が最も大きかった試技を分析対象とした。なお，疲労の影響を無くすために，試技間の休息は十分に確保した。

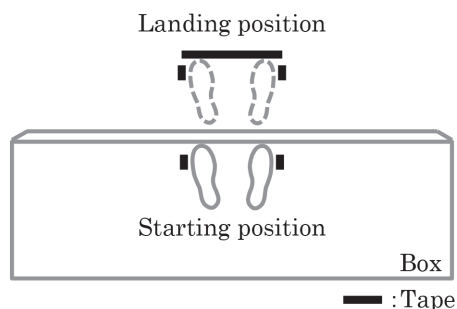


Fig. 1 Experiment condition.

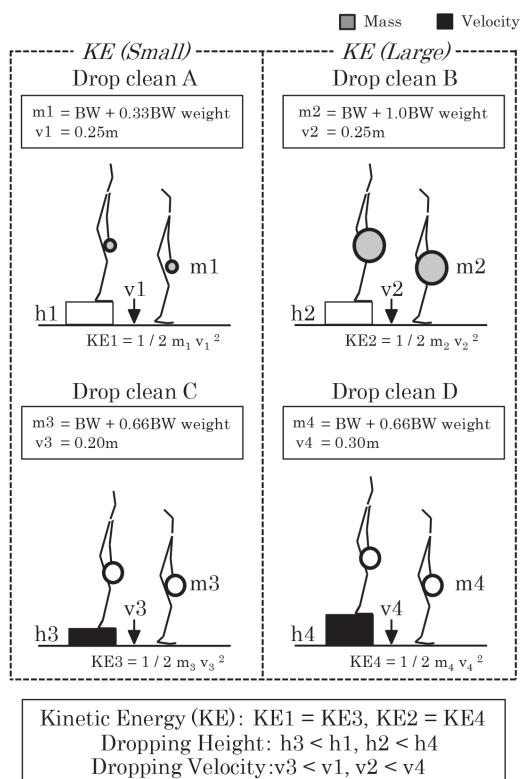


Fig. 2 Four conditions of drop clean.

(3) データ収集

光学式自動動作分析装置（Vicon Motion Systems 社製，250 Hz）を用いて，各試技の身体各部位（47 点）およびバーベルの左右側面（2 点）に反射マーカーを貼付し，3 次元座標データを収集した。静止座標系は，試技開始時の対象者前方に直交する方向を X 軸，試技開始時の対象者前方を Y 軸，鉛直上向きを Z 軸とする右手座標系と定義した。得られた身体各部の座標値は，座標成分ごとに最適遮断周波数（7.5—15.0 Hz）を Wells and Winter（1980）の方法にもとづいて決定し，Butterworth Low-Pass Digital Filter を用いて平滑化した。

地面反力は，左右それぞれの脚において測定するために 2 枚のフォースプラットフォーム（Kistler 社製，9287C）を用いて計測し，1,000 Hz のサンプリング周波数で A/D 変換した後，パーソナルコンピュータ（Abee 社製，AS Enclosure 44OVT）に取り込んだ。

(4) 算出項目

地面反力は、後述する分析区間における2枚のフォースプラットフォームの合算力から算出した。なお、下肢3関節におけるキネマティクスおよびキネティクスの各変数については、右脚を被験脚とし、キネティクスの各変数を算出する際には、被験脚の地面反力の値を用いて計算した。

身体に貼付した反射マーカースをもとにして、それぞれの関節角度および角速度を算出するために、下肢3関節における関節中心を算出した。足関節および膝関節については、それぞれの関節における内顆および外顆の中点、股関節については、臨床歩行分析研究会の提唱する推定法(倉林ほか, 2003)を用いて関節中心を算出した。関節角速度については、下肢の関節角度の変位を時間微分することによって算出した。このとき、関節角速度の正の値を伸展、負の値を屈曲と定義した。なお、キネマティクスおよびキネティクスの各変数を算出するには、荻山ほか(2013)と同様な座標系を用いた。

試技中の下肢3関節の関節トルクを算出するために、下肢を足、膝および股関節で分割した3次元リンクセグメントモデルを構築した。また、Free Body Diagramにもとづき、後述する上昇局面およびキャッチ局面において、各部分の近位端に作用する関節トルクを運動方程式により算出するとともに、関節トルクと関節角速度の内積を関節トルクパワーとして算出した。各セグメントの重心や慣性モーメントおよび全身の合成重心の算出には阿江(1996)の身体部分慣性係数を用いた。さらに、身体とバーベルを含めた系重心を算出した。

(5) 分析局面およびデータの規格化

ハングパワークリーンの試技では、系重心が最下降地点に達した時点から足部がフォースプラットフォームから離地した時点までを上昇局面と定義した。ドロップクリーンの試技では、台から跳び降り、地面に着地した時点から系重心の最下降地点に達した時点までを下降局面(Descending phase)、系重心が最下降地点に達した時点から足

部がフォースプラットフォームから離地した時点までを上昇局面(Ascending phase)と定義した。なお、地面反力、関節トルクおよび関節トルクパワーについては、対象者の体重で除すことで規格化した。

(6) 統計処理

各変数は平均値±標準偏差で示した。本研究における全ての統計処理は、SPSS ver. 21.0 (SPSS社製)を用いて行われた。ドロップクリーンとハングパワークリーンにおける各変数の差の検定には、1要因分散分析を用い、F値が有意であると認められた場合には、Bonferroniの方法を用いて多重比較を行った。また、ドロップクリーンにおける時間、地面反力の最大値、力積【力学的エネルギーの大きさ(大, 小)×力学的エネルギーを構成する要因(質量, 速度)×局面(下降局面, 上昇局面)】、および下肢3関節のキネティクス【力学的エネルギー大きさ(大, 小)×力学的エネルギーを構成する要因(質量, 速度)×関節(股関節, 膝関節, 足関節)】の差の検定には、3要因分散分析を用いた。2次の交互作用の有無を確認し、交互作用が認められた場合には、単純交互作用の検定を行い、単純・単純主効果の検定を行った。2次の交互作用が認められなかった場合には、1次の交互作用の有無を確認し、交互作用が認められた場合には単純主効果の検定を行い、交互作用が認められなかった場合には主効果の検定を行った。関節の要因については3水準であったために、単純・単純主効果および単純主効果が認められた場合には、F値が有意であるかを検討し、有意であると認められた場合には、Bonferroniの方法を用いて多重比較を行った。さらに、各条件における試技の再現性を確認するため、同一個人内の3回の試技における地面反力の最大値を用いて級内相関係数を算出した。危険率は全て5%未満で判定した。なお、ドロップクリーンにおける関節トルクパワーの値については、下降局面と上昇局面において正負の逆の符号を示したために、それぞれの変数を絶対値化して比較を行った。

III 結果

はじめに、ハングパワークリーンおよびドロップクリーンのどちらにおいても、同一個人内の3回の試技における地面反力の最大値を用いて算出された級内相関係数は0.88—0.95であった。このために、全ての条件で高い再現性のあることが認められた。

Fig. 3 には、ドロップクリーン B およびハングパワークリーンを行った際の地面反力の鉛直成分、下肢3関節の関節角速度、関節トルクおよびトルクパワーの変化パターンについての典型例を示した。地面反力については、下降局面では棘波形のパターンを示し、上昇局面よりも高い値を示す傾向にあった。関節角速度については、全ての関節において下降局面では負の値を示し、上昇局

面では正の値を示す傾向にあった。関節トルクおよびトルクパワーについては、下降局面では着地瞬間において棘波形のパターンを示し、上昇局面では約0.4秒時点で大きな値を示す傾向にあった。また、ハングパワークリーンにおけるキネマティクスおよびキネティクスの各変数については、大きさは異なるものの、ドロップクリーンの上昇局面と同様なパターンを示す傾向にあった。

Table 1 には、体重の0.66倍の付加重量を用いて行ったハングパワークリーンおよび台高が異なる2種類のドロップクリーン（台高の高さ = 0.20 m および 0.30 m）における上昇局面中の地面反力の最大値、関節トルクおよびトルクパワーの最大値を比較した結果について示した。その結果、2種類のドロップクリーンにおける地面反力 ($F = 249.66$, $P < 0.01$), 足関節トルクの最大値 ($F = 43.51$, $P < 0.01$), 股関節および足関節トルク

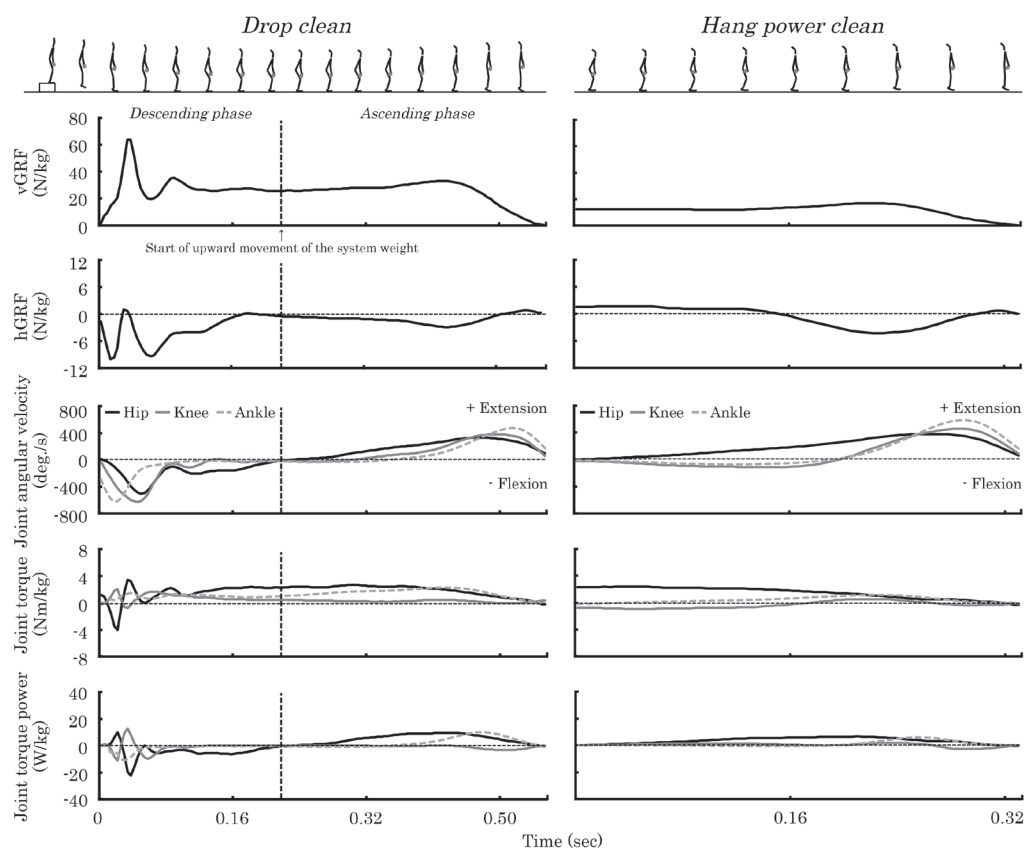


Fig. 3 Typical example of vertical and horizontal ground reaction force (vGRF, hGRF), joint angular velocity, joint torque and joint torque power during the drop clean (Drop clean B: 1.0 body weight, 0.25 m) and hang power clean.

Table 1 Comparison of joint kinetics between hang power clean and drop clean.

		Drop height (m)			Difference
		0 (Hang power clean)	0.2 (Drop clean)	0.3 (Drop clean)	
Ground reaction force (N/kg)	-	19.83 ± 1.65	34.91 ± 2.59	35.66 ± 2.59	0 m < 0.2 m, 0.3 m**
Joint torque (Nm/kg)	Hip	2.45 ± 0.70	2.71 ± 0.72	2.68 ± 0.83	-
	Knee	1.10 ± 0.58	0.87 ± 0.60	1.00 ± 0.65	-
	Ankle	0.49 ± 0.52	2.03 ± 0.49	2.27 ± 0.64	0 m < 0.2 m, 0.3 m**
Joint torque power (W/kg)	Hip	6.01 ± 1.61	9.44 ± 2.10	9.24 ± 2.44	0 m < 0.2 m, 0.3 m**
	Knee	3.56 ± 1.84	2.81 ± 1.73	3.21 ± 2.34	-
	Ankle	1.10 ± 1.47	8.58 ± 2.00	9.36 ± 3.15	0 m < 0.2 m, 0.3 m**

パワーの最大値（股関節：F = 28.81, $P < 0.01$, 足関節：F = 62.54, $P < 0.01$ ）が³, ハングパワークリーンと比較して有意に大きいことが認められた。

Table 2 には, 4 種類のドロップクリーンにおける時間, 地面反力の最大値, 力積および下肢3関節の関節トルクおよびトルクパワーの最大値に関する統計処理の結果を示した。ここでは, 力学的エネルギーの大きさを Kinetic Energy, 力学的エネルギーを構成する要因を Factor of Energy, 局面を Phase, 関節を Joint として示した。時間については, 2 次の交互作用は認められなかったものの, 力学的エネルギーの大きさ×力学的エネルギーを構成する要因間において1次の交互作用が認められた。地面反力の最大値については2次の交互作用が認められ, 力学的エネルギーの大きさ×力学的エネルギーを構成する要因間, 力学的エネルギーの大きさ×局面間, 力学的エネルギーを構成する要因×局面間の全てにおいて単純交互作用が認められた。力積については, 2 次の交互作用は認められなかったものの, 力学的エネルギーの大きさ×力学的エネルギーを構成する要因間においてのみ1次の交互作用が認められた。関節トルクの最大値については, 下降局面では2次の交互作用は認められなかったものの, 力学的エネルギーの大きさ×関節間において単純交互作用が認められた。上昇局面では2次の交互作用が認められ, 力学的エネルギーの大きさ×力学的エネルギーを構成する要因間, 力学的エネルギー

の大きさ×関節間, 力学的エネルギーを構成する要因×関節間の全てにおいて単純交互作用が認められた。関節トルクパワーの最大値については, 下降局面および上昇局面のどちらにおいても2次の交互作用は認められなかったものの, 力学的エネルギーの大きさ×力学的エネルギーを構成する要因間, 力学的エネルギーの大きさ×関節間において単純交互作用が認められた。

Table 3 には, 4 種類のドロップクリーンに要した時間を下降局面および上昇局面に分けて示した。単純主効果の検定を行った結果, 全てのドロップクリーンにおいて, 上昇局面に要した時間が下降局面に要した時間と比較して有意に長くなることが認められた ($P < 0.05$)。また, ドロップクリーン A とドロップクリーン C を比較した場合には, 局面を問わず, ドロップクリーン C における時間がドロップクリーン A と比較して有意に長く ($P < 0.05$), ドロップクリーン B とドロップクリーン D を比較した場合には, 逆にドロップクリーン B における時間がドロップクリーン D と比較して有意に長いことが認められた ($P < 0.01$)。

Fig. 4 には, 4 種類のドロップクリーンにおける地面反力の最大値と力積を示した。地面反力の最大値について単純・単純主効果の検定を行った結果, 下降局面ではドロップクリーン D がドロップクリーン C と比較して有意に大きく ($P < 0.05$), ドロップクリーン C がドロップクリーン D と比較して有意に大きい ($P < 0.01$) ことが認

Table 2 The results of statistical on time, ground reaction force, impulse and joint kinetics in drop clean.

<i>Time</i>		<i>F-value</i>	<i>P-value</i>	<i>P < 0.05</i>	<i>P < 0.01</i>
Three-way interaction	Kinetic Energy × Factor of Energy × Phase	4.31	0.061		n.s.
Two-way interaction	Kinetic Energy × Factor of Energy	9.18	0.011	*	
	Kinetic Energy × Phase	1.58	0.230		n.s.
	Factor of Energy × Phase	0.45	0.514		n.s.
<i>Ground reaction force</i>		<i>F-value</i>	<i>P-value</i>	<i>P < 0.05</i>	<i>P < 0.01</i>
Three-way interaction	Kinetic Energy × Factor of Energy × Phase	23.40	0.001		*
Simple interaction effect	Kinetic Energy × Factor of Energy	7.33	0.004		*
	Kinetic Energy × Phase	12.57	0.000		*
	Factor of Energy × Phase	9.72	0.001		*
<i>Impulse</i>		<i>F-value</i>	<i>P-value</i>	<i>P < 0.05</i>	<i>P < 0.01</i>
Three-way interaction	Kinetic Energy × Factor of Energy × Phase	0.19	0.675		n.s.
Two-way interaction	Kinetic Energy × Factor of Energy	84.66	0.000		*
	Kinetic Energy × Phase	1.84	0.201		n.s.
	Factor of Energy × Phase	1.44	0.245		n.s.
<i>Descending phase</i>		<i>F-value</i>	<i>P-value</i>	<i>P < 0.05</i>	<i>P < 0.01</i>
Joint torque					
Three-way interaction	Kinetic Energy × Factor of Energy × Joint	0.28	0.757		n.s.
Two-way interaction	Kinetic Energy × Factor of Energy	0.23	0.640		n.s.
	Kinetic Energy × Joint	4.51	0.023	*	
	Factor of Energy × Joint	2.14	0.142		n.s.
Joint torque power					
Three-way interaction	Kinetic Energy × Factor of Energy × Joint	0.65	0.532		n.s.
Two-way interaction	Kinetic Energy × Factor of Energy	8.66	0.013	*	
	Kinetic Energy × Joint	8.58	0.002		*
	Factor of Energy × Joint	0.87	0.431		n.s.
<i>Ascending phase</i>		<i>F-value</i>	<i>P-value</i>	<i>P < 0.05</i>	<i>P < 0.01</i>
Joint torque					
Three-way interaction	Kinetic Energy × Factor of Energy × Joint	9.25	0.001		*
Simple interaction effect	Kinetic Energy × Factor of Energy	15.86	0.001		*
	Kinetic Energy × Joint	11.69	0.001		*
	Factor of Energy × Joint	6.01	0.001		*
Joint torque power					
Three-way interaction	Kinetic Energy × Factor of Energy × Joint	3.01	0.070		n.s.
Two-way interaction	Kinetic Energy × Factor of Energy	19.09	0.001		*
	Kinetic Energy × Joint	7.99	0.002		*
	Factor of Energy × Joint	2.19	0.136		n.s.

められた。下降局面ではドロップクリーンCがドロップクリーンAと比較して、ドロップクリーンBがドロップクリーンDと比較して、ドロップクリーンBがドロップクリーンAと比較して、それぞれ有意に大きいことが認められた ($P < 0.01$)。また、4つの全てのドロップクリーンにおいて、下降局面における地面反力が上昇局面と比較して有意に大きいことが認められた ($P < 0.01$)。力積について単純主効果の検定を行った

結果、下降局面ではドロップクリーンDがドロップクリーンCと比較して有意に大きく、ドロップクリーンBがドロップクリーンAと比較して有意に大きいことが認められた ($P < 0.01$)。下降局面では地面反力と全く同じ結果が認められた ($P < 0.01$)。

Fig. 5 には、4種類のドロップクリーンの下降局面における関節トルクおよびトルクパワーの最大値を示した。関節トルクの最大値において単純

Table 3 Comparison of time during the drop clean.

	Time (s)	
	Descending phase	Ascending phase
Drop clean A	0.206 ± 0.053	0.299 ± 0.102
Drop clean B	0.279 ± 0.055	0.325 ± 0.078
Drop clean C	0.231 ± 0.057	0.309 ± 0.105
Drop clean D	0.229 ± 0.054	0.309 ± 0.088

ALL drop clean = Descending phase < Ascending phase*

ALL phase = Drop clean A < Drop clean C*,

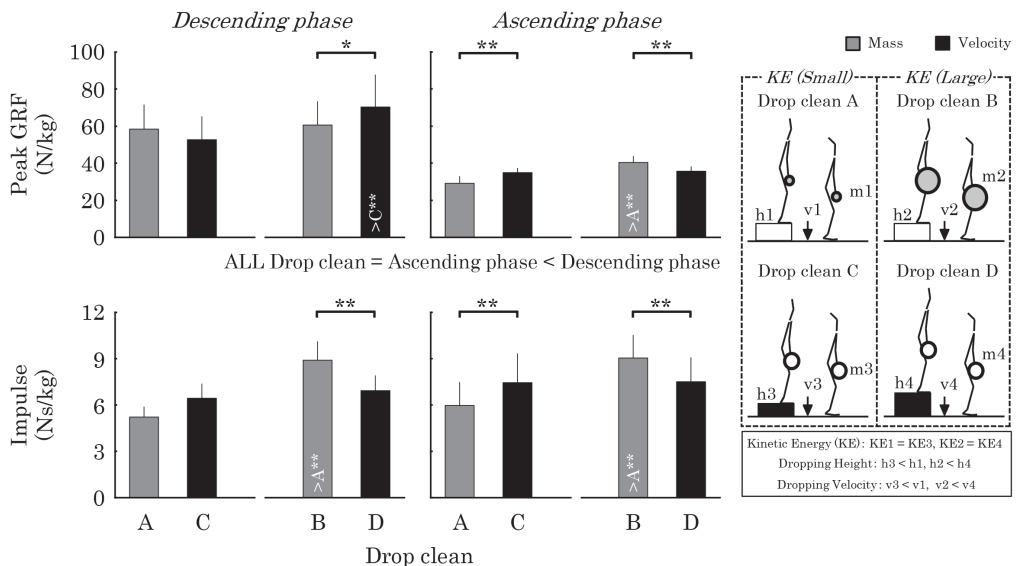
Drop clean D < Drop clean B**

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

主効果および多重比較を行った結果、関節間についてみると、全てのドロップクリーンにおいて股関節が膝関節および足関節と比較して大きいことが認められた ($P < 0.01$)。また、ドロップクリーン間についてみると、足関節ではドロップクリーンBがドロップクリーンAと比較して有意に大きく ($P < 0.01$)、ドロップクリーンDがドロップクリーンCと比較して有意に大きい ($P < 0.01$) ことが認められた。関節トルクパワーの最大値において単純・単純主効果および多重比較を行った結果、関節間についてみると、ドロップクリーンAにおいて股関節が足関節と比較して有意に大きく、ドロップクリーンCにおいて膝関節が足関節と比較して有意に大きいことが認め

られた ($P < 0.01$)。また、ドロップクリーン間についてみると、股関節ではドロップクリーンAがドロップクリーンBと比較して有意に大きく ($P < 0.05$)、ドロップクリーンDがドロップクリーンCと比較して有意に大きい ($P < 0.01$) ことが認められた。

Fig. 6 には、4種類のドロップクリーンの上昇局面における関節トルクおよびトルクパワーの最大値を示した。関節トルクの最大値において単純主効果および多重比較を行った結果、関節間についてみると、ドロップクリーンBとCにおいて股関節、足関節、膝関節の順に大きいことが認められ ($P < 0.01$)、ドロップクリーンDにおいて股関節および足関節が膝関節と比較して有意に大きいことが認められた ($P < 0.01$)。ドロップクリーン間についてみると、股関節ではドロップクリーンCがドロップクリーンAと比較して有意に大きく、ドロップクリーンBがドロップクリーンAおよびDと比較して有意に大きいことが認められた ($P < 0.01$)。足関節ではドロップクリーンBがドロップクリーンAと比較して有意に大きいことが認められた ($P < 0.01$)。関節トルクパワーの最大値において単純主効果および多重比較を行った結果、関節間についてみると、全

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$ **Fig. 4** Comparison of peak vertical ground reaction force during the drop clean.

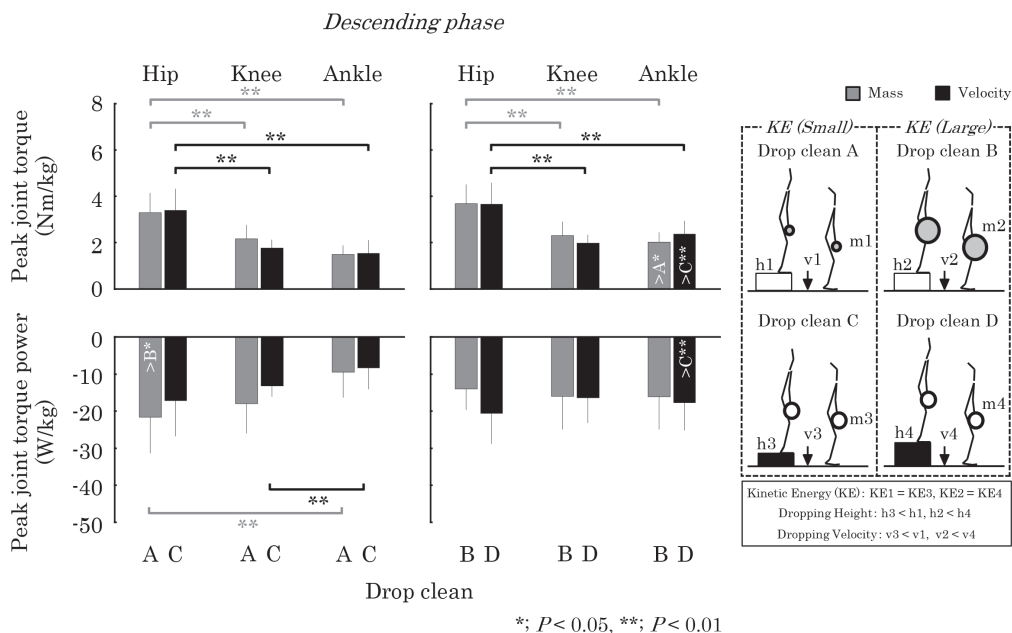


Fig. 5 Comparison of peak joint torque and joint torque power in Descending phase during the drop clean.

でのドロップクリーンにおいて股関節および足関節が膝関節と比較して有意に大きいことが認められた（ドロップクリーン A の股関節と膝関節の間においてのみ $P < 0.05$ ，その他は全て $P < 0.01$ ）。ドロップクリーン間についてみると，股

関節ではドロップクリーン C がドロップクリーン A と比較して有意に大きく，ドロップクリーン B がドロップクリーン A と比較して有意に大きいことが認められた（ $P < 0.01$ ）。足関節ではドロップクリーン B がドロップクリーン A および

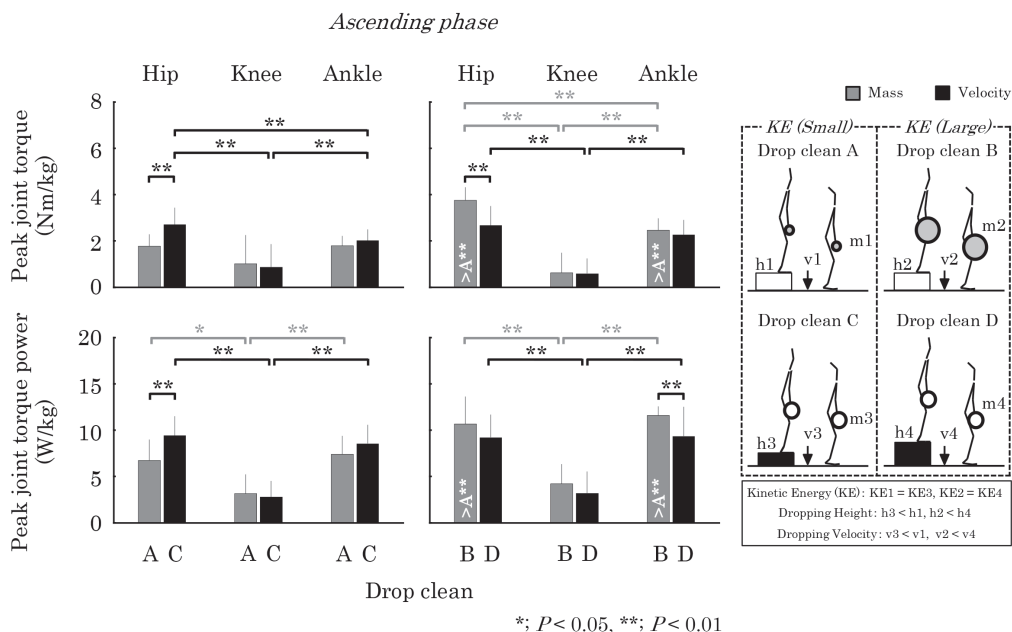


Fig. 6 Comparison of peak joint torque and joint torque power in Ascending phase during the drop clean.

Dと比較して有意に大きいことが認められた ($P < 0.01$).

IV 考 察

(1) ハングパワークリーンとドロップクリーンにおける負荷特性の相違

はじめに、ドロップクリーンの負荷特性を明らかにするために、ハングパワークリーンの上昇局面とドロップクリーンの上昇局面における負荷特性を比較した。その結果、ドロップクリーンにおける地面反力の最大値、足関節トルクの最大値、股関節および足関節トルクパワーの最大値については、ハングパワークリーンと比較して有意に大きいことが認められた (Table 1)。ジャンプ運動に関する先行研究では、反動動作を用いて行う垂直跳における力発揮が反動動作を用いないスクワットジャンプにおける力発揮と比較して大きいことが報告されている (Bobbert et al., 1996)。これに加えて、スクワットに関する先行研究においても、反動動作を伴うスクワット、すなわちプライオメトリック理論を応用したスクワットにおける力発揮については、反動動作を伴わないスクワットにおける力発揮よりも大きいことが報告されている (Manabe et al., 2007; 真鍋ほか, 2004; 永松ほか, 2003; 山口, 1997)。先行研究では、反動動作を用いることによって筋や腱の弾性エネルギーの貯蔵・再利用効果や筋の収縮機能の増強効果が生じ (Komi, 2011; Komi and Bosco, 1978)、これに伴って力学的仕事量が増大することが報告されている (van Ingen schenau et al., 1997)。本研究におけるドロップクリーンは台から落下するために反動動作を伴う運動であるのに対して、ハングパワークリーンは反動動作をできるだけ用いない条件での試技であった。これらのことから、ドロップクリーンでは反動動作を伴っているために、下肢筋群ではSSCが生じ、結果として大きな地面反力および下肢3関節のキネティクスを発揮していた可能性があると考えられる。また、台高の上昇に伴う下肢3関節のキネティクスの変化についてみると、股関節および足関節に関する項目が増

大することが認められた。しかしながら、相対的な変化に着目すると、足関節に関するキネティクスの増大が他の関節と比較して顕著であった。足関節には非常に大きな腱組織であるアキレス腱が介在しているために、下肢3関節の中でも特に弾性エネルギーの貯蔵と再利用の機能に優れていることが報告されている (図子ほか, 1998)。このため、ハングパワークリーンに台の上から落下する運動を加えた際には、下肢3関節の中でも足関節周りの筋や腱がより多く動員されるために、台高の上昇に伴って足関節トルクおよびパワーの増大する割合が股関節と比較して大きかったことが推察される。

以上のことから、ドロップクリーンにおける下肢3関節の力・パワーはハングパワークリーンと比較して大きく、特に足関節トルクやパワーの増大が顕著であることが認められた。

(2) ドロップクリーンの負荷特性

ここまで、ハングパワークリーンとの比較からドロップクリーンにおける上昇局面の特性について検討してきた。ドロップクリーンは、ドロップジャンプをクリーンに応用した運動であり、これまでのクリーンにはみられない台からの落下運動を含んでいる。このために、ドロップクリーンを新たなウェイトトレーニング手段として用いるためには、身体にエキセントリックな負荷が加わることが予想される下降局面における負荷特性を明らかにしておく必要がある。下降局面における関節トルクの最大値についてみると、用いた付加重量や台高に関わらず4種類全てのドロップクリーンにおいて、股関節が膝関節および足関節と比較して大きいことが認められた (Fig. 5)。クリーンでは初期姿勢においてバーベルを保持している間、下肢3関節の中でも股関節におけるモーメントアームが大きいことが示されている (Rippetoe and Bradford, 2011)。ドロップクリーンでは、この姿勢のまま台から落下するために、地面に着地した際に股関節のモーメントアームが大きい状態で身体とバーベルを受け止めなければならない。このため、下肢3関節の中でも特に股関節に

おける関節トルクが大きかったことが考えられる。これらのことから、ドロップクリーンの下降局面における下肢3関節の負荷特性について検討した結果、下肢3関節の中でも特に股関節トルクが大きい特性を有していることが明らかとなった。

ドロップクリーンでは、付加重量と台高を変化させることによって負荷特性は異なること、これに加えて、着地瞬間の力学的エネルギーを同一にした場合でも、質量と速度の割合が地面反力や下肢3関節のキネティクスに及ぼす影響は異なることが考えられる。このために、これ以降は上記の2つの観点に着目して検討していく。

1) 付加重量の増加に伴う負荷特性の変化

付加重量によって力学的エネルギーを増大させた場合（ドロップクリーンAおよびドロップクリーンBを比較した場合）、下降局面において有意に増大したのは力積のみであった（Fig. 4）。ここで、付加重量を増大させた際に関節トルクおよびトルクパワーが増大しなかった理由について考えてみると、ドロップクリーンAからドロップクリーンBに変化させた際には、用いる付加重量が約3倍増加している。このために、付加重量の増加によって力学的エネルギーを増大させた場合には、地面に着地した際に怪我の危険性を回避するために神経調節機構の働きが抑制され、下肢の関節トルクやトルクパワーは増大しなかったことが推察できる。これに対して、上昇局面では付加重量の増加に伴って地面反力の最大値、力積、股関節および足関節のトルク・トルクパワーが有意に増大することが認められた（Fig. 5およびFig. 6）。通常のクリーンにおいてバーベルを挙上する際には、付加重量の増加に伴って地面反力や下肢3関節のキネティクスが増大することが報告されている（Kilduff et al., 2007; Kipp et al., 2011）。ドロップクリーンの上昇局面では、通常のクリーンと同様に地面反力や関節キネティクスの大きさが付加重量の大きさに依存していることが考えられる。このために、ドロップクリーンBはドロップクリーンAと比較して地面反力の最大値、股

関節および足関節トルクおよびトルクパワーの最大値が増大したことが考えられる。これらのことから、ドロップクリーンでは台高を変えずに付加重量を増加させた場合、下降局面においてはキネティクス変数が大きく変化せず、上昇局面においてはパワークリーンやハングパワークリーンと同様に関節キネティクスが増大するトレーニング手段になることが考えられる。

2) 台高の上昇に伴う負荷特性の変化

台高によって力学的エネルギーを増大させた場合（ドロップクリーンCおよびドロップクリーンDを比較した場合）、下降局面では地面反力の最大値、足関節トルクおよびトルクパワーの最大値が増大することが示された（Fig. 5）。ドロップジャンプに関する先行研究では、台高の上昇に伴って下降局面における地面反力、下肢3関節における関節トルクやトルクパワーが増大することが報告されている（Bobbert et al., 1987; Peng, 2011）。このために、台高の上昇に伴う下肢の負荷特性の変化は、ドロップジャンプと類似していることが考えられる。また、ドロップジャンプでは台高の上昇に伴い、下肢筋群のエキセントリックな筋収縮による伸張速度が大きくなり、弾性エネルギーの貯蔵と再利用機構を有効に働かせている（図子ほか, 1992）ことを考慮すると、ドロップクリーンにおいても同様なことが生じていると考えられる。そして、上述したように足関節は下肢3関節の中でも特に弾性エネルギーの貯蔵と再利用の機能に優れている（図子ほか, 1998）。このために、下降局面では台高の上昇に伴って弾性エネルギーの利用効率が他の関節と比較して最も高い足関節に関与する筋腱複合体がより選択的に動員されるために、足関節トルクおよびトルクパワーの最大値が増大したと推察できる。これに対して、上昇局面では台高の上昇が伴っても地面反力や関節キネティクスには変化が認められなかった。この理由について考えると、台高を変化させることによって力学的エネルギーを増加させたために、ドロップクリーンCおよびドロップクリーンDでは用いた付加重量の大きさが同じであ

った。上述した通り、上昇局面では付加重量の大きさが発揮される力やパワーに対して影響を及ぼしていることが考えられる。このために、台高を上昇させても上昇局面におけるキネティクス変数は変化が認められなかったことが推察される。これらのことから、ドロップクリーンでは付加重量を変えずに台高を上昇させた場合、上昇局面においてはキネティクス変数は変化せず、下降局面ではドロップクリーンにおいて台高を上昇させる手段と同様に、関節キネティクスが増大するトレーニング手段になることが考えられる。

以上のことから、ドロップクリーンでは付加重量を増加させて着地瞬間の力学的エネルギーを増大させる場合と、台高の上昇によって着地瞬間の力学的エネルギーを増大させる場合とでは、負荷特性が異なることが明らかとなった。

3) 同一力学的エネルギー条件下における負荷特性

着地瞬間の力学的エネルギーが同一であるという条件で、付加重量および台高を変化させた結果、ドロップクリーンBとドロップクリーンDとを比較した場合には、地面反力の最大値についてはドロップクリーンDの方が大きく、力積については逆にドロップクリーンBの方が大きいことが認められた (Fig. 4)。図子ほか (1992) は、ドロップジャンプの着地瞬間における運動エネルギーの大きさを同一にし、速度 (台高) と質量 (身体に付した重り) の割合を変化させた試技を行わせており、着地瞬間の運動エネルギーの大きさが同一であっても、速度の要因を大きくした場合には下降局面における地面反力が大きくなることを報告している。これに関しては、速度の要因を増大させた場合、質量の要因を増大させた場合と比較して脚伸展筋の伸張速度が大きく、伸張反射機構などの神経系の調節機構が有効に働いたことが影響していたと推察している。ドロップクリーンにおいても、上述したことが影響していると考えられ、台高を上昇させる場合の方が付加重量を増加させた場合よりも、神経調節機構が有効に働いていたことが推察される。このため、ドロップク

リーンDでは短時間に大きな地面反力を発揮することができたと考えられる。これに対して、ドロップクリーンBでは、逆に神経調節機構の働きが抑制されたために、大きな地面反力を短時間で発揮することはできなかったと考えられる。一方、上昇局面においてドロップクリーンAとドロップクリーンCとを比較した場合、ドロップクリーンCにおける股関節トルクおよびトルクパワーの最大値がドロップクリーンAと比較して大きく、ドロップクリーンBとドロップクリーンDとを比較した場合、ドロップクリーンBにおける地面反力の最大値および力積、股関節トルクおよび足関節トルクパワーの最大値がドロップクリーンDと比較して有意に大きいことが認められた (Fig. 6)。各ドロップクリーンで用いた付加重量の大きさについて比較すると、ドロップクリーンC (体重の0.66倍) がドロップクリーンA (体重の0.33倍) と比較して大きく、ドロップクリーンB (体重の1.0倍) がドロップクリーンD (体重の0.66倍) と比較して大きい値であった (Fig. 1)。このため、ドロップクリーンの上昇局面では着地瞬間の力学的エネルギーを同じにした場合においても、負荷の大きさについては用いる付加重量の大きさに依存していることが考えられる。以上のことから、ドロップクリーンにおいて着地瞬間の力学的エネルギーが同一であるという条件で付加重量と台高を変化させた場合には、トータルの力学的エネルギーが大きい場合において速度 (台高) の割合を大きくした際に下降局面における地面反力が大きく、質量 (付加重量) の割合を大きくした際に上昇局面における地面反力、股関節トルクおよびトルクパワー、足関節トルクパワーが大きくなることが示された。

(3) 実践現場への示唆

本研究から得られた、ドロップクリーンの負荷特性を Fig. 7 に示した。従来のハングパワークリーンのバーベルを挙上する局面では、股関節における力・パワー発揮が大きいという負荷特性を有していることが示されたが、台の上から落下する運動を加えたドロップクリーンを行った場合、上

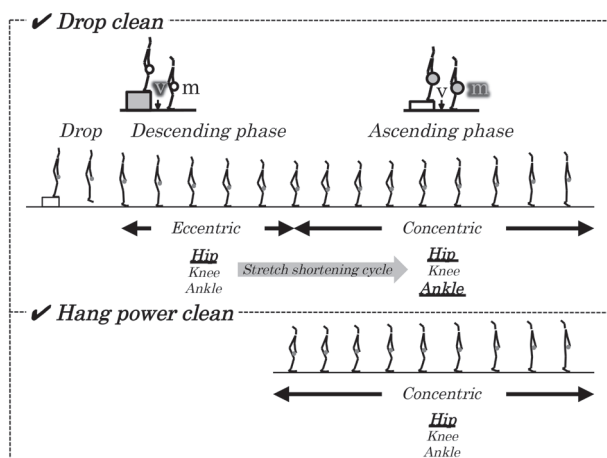


Fig. 7 The load characteristics of the drop clean in weight training method.

昇局面ではハングパワークリーンよりも足関節における力・パワー発揮が大きい特性を有していることが示された。また、この負荷特性は台高を上昇させることによってより顕著になることが認められている。このために、ウェイトトレーニング手段としてクリーンを採用し、足関節に対して大きなコンセントリックな負荷を与えたい場合には、プライオメトリック理論を応用したドロップクリーンを用いることが有効になる可能性がある。また、ドロップクリーンの下降局面における負荷特性に着目すると、用いる付加重量や台高に関わらず、下肢3関節の中でも股関節トルクおよびトルクパワーが最も大きかったことから、ドロップクリーンの下降局面では股関節に対してエキセントリックな負荷を与えることができるウェイトトレーニング手段であると考えられる。パワークリーンをウェイトトレーニング手段として用いた際にエキセントリックな負荷を与えることができるのは、キャッチ局面においてのみであり、下肢3関節の中でも特に膝関節に対するものであった(林ほか, 2016b)。したがって、クリーンを行う際に股関節に対してエキセントリックな負荷を与える場合には、従来のパワークリーンを用いることよりもドロップクリーンを用いることの方が有効な手段になると考えられる。また、ドロップクリーンでは、下肢に対してより大きいエキセントリックな負荷を与えるためには、ドロップジャ

ンプと同様に台高を上昇させることが有効な手段となる。一方、より大きいコンセントリックな負荷を与えるためには、通常のパワークリーンと同様に付加重量を増加させることが有効な手段となることが考えられる。これに加えて、着地瞬間における力学的エネルギーの大きさが同一であるという条件で質量(付加重量)と台高(速度)の割合を変化させた場合、速度の割合が大きい方が下降局面における地面反力は増大する可能性のあることが示唆された。

最後に、ドロップクリーンを行う際の留意点について提示する。本研究では、付加重量および台高を設定する際に、はじめに力学的エネルギーが大きい場合における付加重量の大きさと台高をそれぞれ設定し、安全に試技が実施できる範囲で、力学的エネルギーが可能な限り大きくなるように設定した。また、本研究における対象者については、週に5回の頻度でトレーニングを行っている陸上競技を専門とする大学生が対象であった。このために、本研究で対象とした対象者と同様な条件の者がウェイトトレーニングにおいてドロップクリーンを用いる際には、本研究におけるドロップクリーンBおよびドロップクリーンDで用いた付加重量と台高の組み合わせの範囲内で負荷を設定することが望ましいと考えられる。しかし、本研究ではドロップクリーンが股関節に関与する筋群に対してエキセントリックな負荷を与えるこ

とのできる特性を有していることや、トータルの力学的エネルギーを増加させることによって、発揮される力やパワーは増大することが示された。このために、過負荷の原則から考えると、実際のトレーニング現場では、本研究における力学的エネルギーが大きい条件で用いた付加重量の大きさと台の高さの組み合わせを超えたドロップクリーンが用いられる可能性があると考えられる。その際には、着地時における負荷が極めて高くなり、腰部の怪我が生じる危険性が増えると考えられるために、傷害予防に配慮することが必要である。

V 要 約

本研究では、下肢のプライオメトリック理論を応用したクリーンであるドロップクリーンの負荷特性について明らかにすることを目的とした。陸上競技の跳躍種目を専門とする体育専攻の男子大学生12名を対象に、付加重量と台高を変化させた4種類のドロップクリーンを行わせ、下降および上昇局面におけるキネティクスの各変数を算出した。本研究から得られた主な結果は、以下の通りである。

- ①ドロップクリーンはハングパワークリーンと比較して、地面反力、股関節トルクパワー、足関節トルクおよびトルクパワーが大きいことが示された。
- ②ドロップクリーンの下降局面では、下肢3関節の中でも特に股関節における力発揮が大きく、上昇局面では、足関節における力・パワー発揮が大きいことが示された。
- ③付加重量を増加させた際には、下降局面における足関節トルク、上昇局面における股関節および足関節の関節トルクおよびトルクパワーが増大し、台高を上昇させた際には、下降局面における足関節トルクおよびトルクパワーが増大することが示された。
- ④力学的エネルギーの大きさが同一であっても、速度の割合が大きい場合には質量の割合が大きい場合と比較して、下降局面における地面反力が大きいことが示された。また、質

量の割合が大きい場合には速度の割合が大きい場合と比較して、上昇局面における地面反力、股関節トルク、足関節トルクパワーが大きいことが示された。

本研究で得られた結果は、ドロップクリーンにおいて用いる付加重量と台高の大きさを選択する際に有益な知見になることが考えられる。

付記

ドロップクリーンは、2016年6月2日に逝去された図子浩二先生（当時、筑波大学教授）とともに開発したエクササイズである。図子浩二先生には、本論文を執筆するにあたり多大なるご指導を賜りました。心より感謝するとともに、ご冥福をお祈りいたします。

文 献

- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分係数. *J. J. Sports Sci.*, 15 : 155-162.
- Asmussen, E. and Bonde-petersen, F. (1974) Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta. Physical. scand.*, 91 : 385-392.
- Bobbert, M. (1990) Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports Med.*, 9: 7-22.
- Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G. M., Litjens, M. C. A., and Van Soest, A.J. (1996) Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28 : 1402-1412.
- Bobbert, M. F., Huijting, P. A., and van Ingen Schnau, G. J. (1987) Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19 : 339-346.
- Enoka, R. M. (1988) Load-and skill-related changes in segmental contributions to a weightlifting movement. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20: 178-187.
- 林陵平・菊山靖・吉田拓矢・図子浩二 (2016) クリーンエクササイズのキャッチ局面動作をトレーニング手段に用いる場合の負荷特性：主要局面であるプル局面との比較を通して。体育学研究, 61 : 575-587.
- 菊山靖・藤井宏明・森健一・図子浩二 (2013) 片脚および両脚リバウンドジャンプにおける3次元的な力発揮特性の相違。体育学研究, 58 : 91-109.
- Kilduff, L. P., Bevan, H., Owen, N., Kingsley, Mike, I. C., Bunce, P., Bennett, M., and Cunningham, D. (2007) Optimal loading for peak power output during the hang power

- clean in professional rugby players. *Int. J. Sports Physiol. Perf.*, 2: 260-269.
- Kipp, K., Harris, C., and Sabick, M. B. (2011) Lower extremity biomechanics during weightlifting exercise vary across joint and load. *J. Strength Cond. Res.*, 25: 1229-1234.
- Komi, P. V. (2011) Stretch shortening cycle of muscle function. Neuromuscular aspects of sport performance. In: Komi P. V. (ed), Volume XVII of The Encyclopaedia of Sports Medicine. Blackwell Scientific Publications, pp.15-31.
- Komi, P. V., and Bosco, C. (1978) Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med. Sci. Sports*, 10: 261-265.
- 倉林準・持丸正明・河内まき子 (2003) 股関節中心推定方法の比較・検討. *バイオメカニズム学会誌*, 27: 29-36.
- Makaruk, H., Sacewicz, T., Czaplicki, A., and Sadowski, J. (2010) Effect of additional load on power output during drop jump training. *Journal of Human Kinetics* 26: 31-37.
- Manabe, Y., Shimada, K., and Ogata, M. (2007) Effect of slow movement and stretch-shortening cycle on lower extremity muscle activity and joint moments during squat. *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 47: 1-12.
- 真鍋芳明・横澤俊治・島田一志・尾縣貢 (2004) スクワットにおける運動速度変化および反動動作の有無が股関節と膝関節まわりの筋の活動および関節トルクに与える影響. *体力科学*, 53: 425-442.
- 永松幸一・図子浩二・瓜田吉久 (2003) 運動様式の異なるスクワット運動の負荷特性—動作中の地面反力に着目して—. *都城工業高等学校研究報告*, 37: 1-5.
- Peng, H. T. (2011) Changes on biomechanical properties during drop jumps of incremental height. *J. Strength Cond. Res.*, 25: 2510-2518.
- Rippetoe, M. and Bradford, S. (2011) The Power clean. In: Rippetoe, M. (ed.) *Starting Strength: Basic Barbell Training* (3rd e.). The Aasgaard Company, pp.177-230.
- 高松薫・会田宏・図子浩二 (1989) デプスジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げ動作の相違が跳躍高および下肢筋にかかる負荷特性に及ぼす影響. 昭和 63 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. VIII プライオメトリックアクティブ筋力トレーニングに関する研究—第 2 報, pp.46-55.
- van Ingen schenau, G. J., Bobbert, M. F., and Arnold de Haann (1997) Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle? *J. Appl. Biomech.*, 13: 389-415.
- Wells, R. P. and Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion*, 1: 92-93.
- 山口典考 (1997) 3 種類のスクワット動作の違いが下肢筋電図および地面反力に及ぼす影響—短距離走における中間疾走能力向上のための手掛かりとして—. *体育の科学*, 47: 375-382.
- 図子浩二 (2012) プライオメトリクス. *体育の科学*, 62: 44-50.
- 図子浩二 (2013) トレーニング論 II. トレーニングの理論と方法論. *公認スポーツ指導者養成テキスト*, pp.104-117.
- 図子浩二・平田文夫・西菌秀嗣 (1998) 筋収縮の違いからみた下肢三関節のトルク発揮特性. *体力科学*, 47: 593-600.
- 図子浩二・高松薫・古藤高良 (1992) 台高と付加重量の相違がドロップジャンプのパワー発揮に及ぼす影響. *いばらき体育スポーツ科学*, 8: 11-18.
- 図子浩二・高松薫・古藤高良 (1993) 各種スポーツ種目における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性. *体育学研究*, 38: 265-278.

(2017 年 6 月 16 日受付)
(2017 年 12 月 15 日受理)

Advance Publication by J-STAGE
Published online 2018/2/15