

垂直跳びとデプスジャンプにおける地面反力の比較

Comparison of ground reaction force between counter movement jump and depth jump

横 沢 翔 平*, 田 中 重 陽**, 畑 島 一 翔***, 熊 川 大 介****

Shohei YOKOZAWA*, Shigeharu TANAKA**
Kazuto HATASHIMA*** and Daisuke KUMAGAWA****

I. は じ め に

本稿では、令和4年度国士舘大学体育学部附属体育研究所の、スポーツ科学プロジェクトにおいて、“跳躍運動における生理学・運動学的解析”で実施した研究について報告する。

ヒトの基本動作の一つである跳躍運動は、ダイナミックな反動動作である。反動動作とは主運動とはいったん逆方向の運動を行い、切り返し(反転し)主運動に至る運動形態を有するものである⁸⁾。このような反動動作を利用したエクササイズはプライオメトリックトレーニング(以下「PT」と略す)と呼ばれ、反動動作による骨格筋の遠心性の収縮では筋や腱に過剰な力学的ストレスが生じ、組織損傷が生じやすいことが指摘されている⁷⁾。PTの効果を検証した研究はこれまで数多く報告されている。例えば、Fatouros et al.³⁾はスクワットジャンプやデプスジャンプといったいくつかのプライオメトリック運動を組み合わせたトレーニングプログラムを12週間実施したところ、垂直跳び能力およびレッグプレス、スクワ

ットの最大挙上重量が有意に向上したことを報告している。また、小林ほか⁴⁾は陸上競技選手を対象に通常のトレーニングに加えて、デプスジャンプを用いた8週間のPTを追加し、外側広筋の筋厚を評価したところ、コントロール群と介入群の間には有意な交互作用が認められ、介入群はトレーニング期間を通して、筋厚が増加したことを報告している。PTを行う際の負荷には基本的に自体重が用いられることから、トレーニング機材を必要としないため、設備環境の制約が少なく、上述のような運動活動に必要な筋力や筋量の向上効果が期待できる。一方で、PTはトレーニング強度や回数、頻度の設定に関しては知見が散見されており、一貫した見解が認められていない。この課題解決に取り組むことは、アスリートのさらなる競技力向上を図る上でトレーニングプログラムの作成に有益な情報を提供できると考える。

そこで本研究はPTにおいて多用されるデプスジャンプの地面反力を計測し、垂直跳びと比較することで、その運動強度を検証することを目的とした。

* 国士舘大学体育学部附属体育研究所
(Institute of Health, Physical Education and Sport Science School of Physical Education Kokushikan University)
** 国士舘大学政経学部 (Faculty of Political Science and Economics, Kokushikan University)
*** 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 (Graduate School of Sport Science, Kokushikan University)
**** 国士舘大学体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

II. 研究方法

1. 被検者

被検者は、運動経験を有した健康な成人男性12名とした。本研究の被検者には、研究の目的および内容等について口頭による十分な説明を行い、本研究への任意による参加の同意を得た。また本研究は、国土舘大学体育学部研究倫理委員会の承認を得て実施した。

2. 形態計測

形態計測は身長、体重、除脂肪量、脂肪量とした。身長は身長計を用いて計測し、体重、除脂肪量、脂肪量、体脂肪率は身体組成測定装置 (Body Composition Analyzer MC-160, TANITA 社製) を用いて、インピーダンス法により測定した。被検者の年齢および身体的特性は表1に示した。

3. 実験試技

実験試技は腕の振り込み動作を用いないカウンタームーブメントジャンプ (以下「CMJ」と略す) および台から踏み出し、両足で着地後、膝関節を深く屈曲させた後、できるだけ素早く鉛直方向にジャンプするデプスジャンプ (以下「DJ」と略す) とした。なお、台の高さは Chu and Myer¹⁾ を参考に0.3mの高さとした (図1)。測定前はウォーミングアップの時間を5分間設定し、被検者の任意の体操とCMJおよびDJの練習を複数回実施させた。いずれのジャンプ運動においてもフォースプレート (Kistler 社製) 上で跳び上がって着地するように口頭で指示し、フォースプレートからはみ出した場合は無効試技とした。静

止座標系は、試技開始時における被験者の水平前後方を X 成分、X 成分に対して水平左右方向を Y 成分、鉛直方向を Z 成分と定義した (図1)。フォースプレートのサンプリング周波数は1,000 Hz とし、各 X、Y、Z 方向の力を A/D 変換 Box によってパーソナルコンピュータに取り込んだ。

4. 算出項目

両跳躍においては、鉛直方向における地面反力 (Fz) の波形を基に、抜重した際の最下点から離地するまでの鉛直方向における地面反力のピーク値 (N/kg) と力積 (Ns/kg) を算出した。さらに水平成分の地面反力に関しては、被験者の前方を正の値、後方を負の値とし、それぞれのピーク値 (N/kg) と力積 (Ns/kg) を算出した。なお、本稿では鉛直方向、正の水平方向、負の水平方向とそれぞれ略す。さらに鉛直方向の地面反力の波

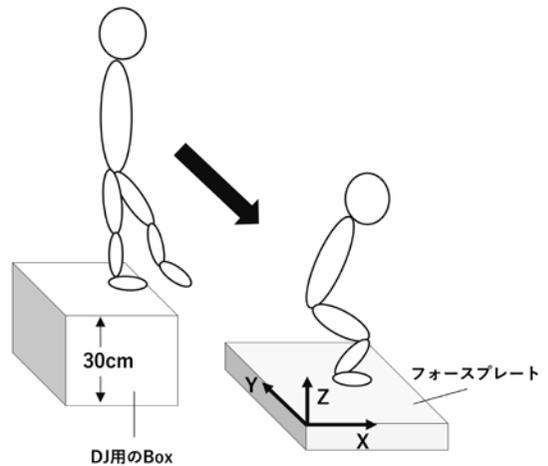


図1 実験設定

表1 対象者の身体的特徴

| n | 年齢 | 身長(cm) | 体重(kg) | 除脂肪量(kg) | 脂肪量(kg) |
|----|------------|-------------|------------|------------|------------|
| 12 | 22.1 ± 1.1 | 173.9 ± 5.1 | 70.3 ± 6.3 | 58.6 ± 4.0 | 11.7 ± 3.3 |

Mean ± SD

形から滞空時間 (sec) を求め、以下の式を用いて跳躍高 (cm) を算出した。

$$\text{跳躍高} = (9.81 \cdot \text{滞空時間}^2) \cdot 8^{-1}, \text{9.81は重力加速度 (m/s}^2\text{)}$$

5. 統計処理

本研究における各項目の値は、すべて平均値と標準偏差で示した。CMJおよびDJにおける滞空時間、跳躍高、地面反力のピーク値および力積について、Shapiro-Wilkの検定を用いて正規分布の確認を行ったところ、鉛直方向における力積および正の水平方向における力積のみ正規性が確認され、その他の項目では有意性が認められ ($p < 0.05$)、正規性が確認されなかった。そこで、正規性が確認された項目については対応のあるt検定を、その他の測定値の比較にはノンパラメトリックなウィルコクソンの符号付き順位和検定を用いてCMJおよびDJの値を比較した。なお、有意水準は5%未満をもって有意とした。

Ⅲ. 結果と考察

表2はCMJおよびDJにおける滞空時間および跳躍高を比較したものである。滞空時間および跳躍高はDJがCMJよりも有意に高い値を示した。Ebben et al.²⁾ は対象者のCMJの跳躍高を基に台高を調整したDJとCMJの滞空時間および跳躍高を比較したところ、有意な差はなく、同程度の値を示したことを指摘している。対して、本研究で

はChu and Myer¹⁾ を参考に全ての被験者に対して、0.3mの台で統制してDJを実施した。これらを踏まえると、DJは台高の高さによって、一般的な跳躍であるCMJよりも高い跳躍能力を発揮できることが示唆された。図2-4には鉛直および水平方向におけるピーク値および力積を示した。鉛直方向のピーク値および力積において、DJの方が高い値を示す傾向がみられたが、CMJとDJの間に有意な差は認められなかった(図2)。正の水平方向では、ピーク値においてCMJとDJの間に有意な差が認められ、CMJが高値を示したが、力積に有意な差は認められなかった(図3)。対して、負の水平方向では、ピーク値と力積においてCMJとDJの間に有意な差が認められ、DJの方が高値を示した(図4)。これらのことからCMJとDJでは鉛直方向の地面反力に差はみられないが、前後水平方向への地面反力に違いがあることが示された。垂直跳びは跳躍方向が鉛直方向へ制限されていることから、水平運動量を制御することが要求される⁶⁾。村田ほか⁶⁾ によれば、垂直跳び動作時において足関節トルクは全身の前方運動量の獲得貢献し、膝関節トルクは後方運動量の獲得に貢献していたことを報告している。さらにMirzaei et al.⁵⁾ は筋電図を用いて、CMJおよびDJそれぞれを取り入れたトレーニングを6週間実施し、大腿直筋および外側広筋の筋活動量を評価したところ、トレーニング前後で各筋の筋活動量が有意に増加したことを報告している。特にDJに関しては、動作開始時に前方へ踏み出す運

表2 滞空時間および跳躍高の比較

| 測定項目 | CMJ | DJ | p |
|------------|--------------|--------------|-------|
| 滞空時間 (sec) | 0.598 ± 0.05 | 0.616 ± 0.05 | .002* |
| 跳躍高 (cm) | 44.1 ± 7.7 | 46.8 ± 8.0 | .002* |

Mean ± SD *Significant difference : $p < 0.05$

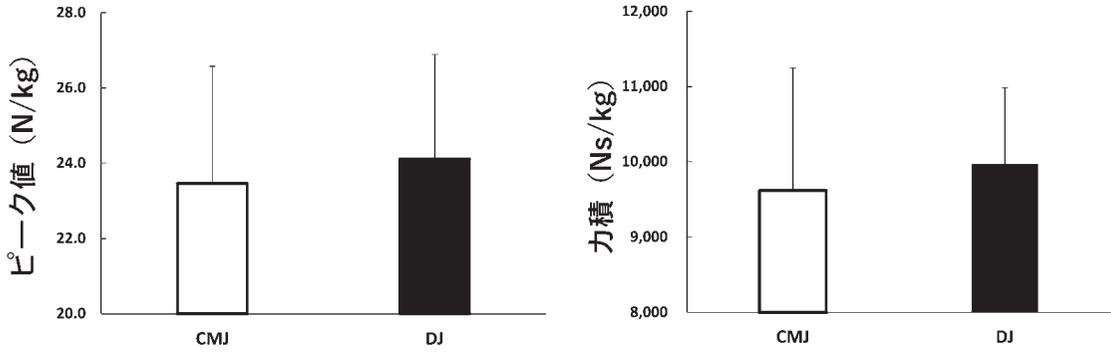


図2 鉛直方向の地面反力

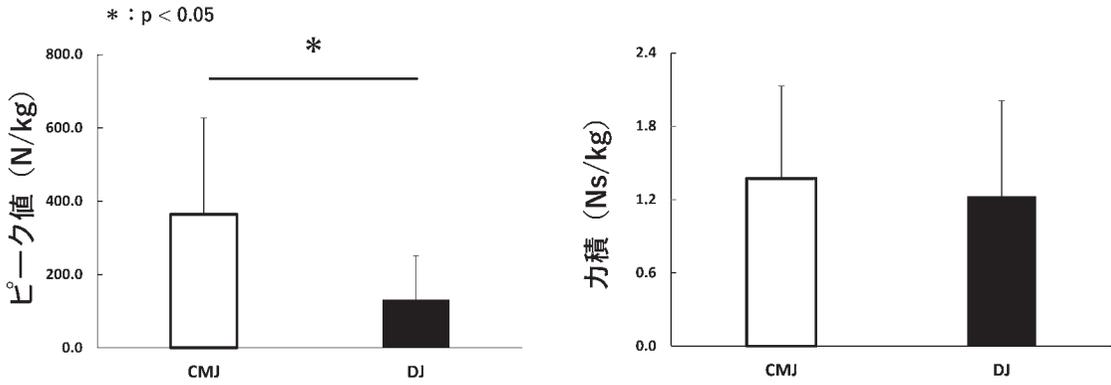


図3 正の水平方向における地面反力

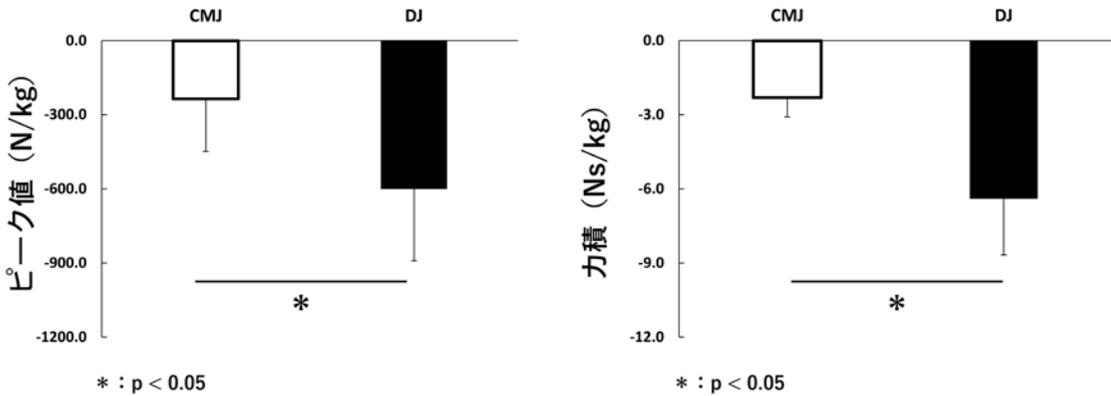


図4 負の水平方向における地面反力

動量加わることから、それを制御して、鉛直方向に跳ぶためにCMJよりも後方への大きい運動量が必要となることが考えられ、これにより、大腿筋群においては大きなパワー発揮が要求されることが推察された。

IV. ま と め

本研究はデプスジャンプおよび垂直跳びの地面反力を計測し、それらを比較することでPTの運動強度について検討した。その結果、滞空時間および跳躍高は垂直跳びよりもデプスジャンプの方が高い値を示した。地面反力においては鉛直方向の値に差はみられなかったが、前後水平方向への地面反力に違いがあることが示され、デプスジャンプでは特に後方への地面反力が垂直跳びよりも大きくなることが確認された。

参考文献

- 1) Chu Donald A., Myer Gregory D., 日暮 清, 鈴木 俊一: プライオメトリック・トレーニング: 動的筋力と爆発的パワー, ナップ, pp.vii, 239p, 2016.
- 2) Ebben William P., Fauth McKenzie L., Garceau Luke R., Petushek Erich J.: Kinetic quantification of plyometric exercise intensity, *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25 : 3288-3298, 2011.
- 3) Fatouros I. G., Jamurtas A. Z., Leontsini D., Taxildaris K., Aggelousis N., Kostopoulos N., Buckenmeyer P.: Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength./Evaluation d'un entrainement pliométrique et de force et leur influence sur la performance en saut vertical et sur la force de la jambe, *Journal of Strength & Conditioning Research* (Allen Press Publishing Services Inc.), 14 : 470-476, 2000.
- 4) 小林 陽介, 寺田 和史, 山本 大輔: 試合期における陸上競技選手に対するプライオメトリックトレーニング導入の効果: 無作為化比較対照試験による検討, *体育学研究*, 63 : 327-340, 2018.
- 5) Mirzaei Bahman, Norasteh Ali Asghar, Asadi Abbas: Neuromuscular adaptations to plyometric training: depth jump vs. countermovement jump on sand, *Sport Sciences for Health*, 9 : 145-149, 2013.
- 6) 村田 宗紀, 稲葉 優希, 山下 大地: 垂直跳における運動量および角運動量制御, *バイオメカニクス研究*, 24 : 19-30, 2020.
- 7) 小田 俊明: エキセントリック収縮による筋と腱の損傷, *体育の科学=Journal of health, physical education and recreation*, 62 : 38-43, 2012.
- 8) 関子 浩二: プライオメトリクス, *体育の科学*, 62 巻 : 44-50, 2012.