

## 跳躍運動における動作負荷の大きさが反動動作の効果に及ぼす影響

### The effect of loads to the leg power generating during vertical jump

佐久間淳、河合一武、玉木啓一

Jun Sakuma , Kazutake Kawai , Keiichi Tamaki

#### Abstract

Previous studies which considered the methods to maximizing the effects of stretch shortening cycle (SSC) focused on the magnitudes of the SSC and the arm swing, but there are no studies which focus to the loads during SSC. The purpose of this study was to investigate that the effect of loads to the leg power generating during vertical jump including SSC. Twelve (6 male and 6 female) subjects performed vertical jump with 7 conditions (own weight, +5%, +10%, +15%, +20%, +25% and +30% own weight). The loads of vertical jump were controlled by wear a weight jacket. The behavior of vertical jump was captured by the high speed video camera, and used for subsequent analysis. The displacement of great trochanter was digitized by analysis software. The velocity of great trochanter, height and power were estimated. These data were normalized by the data of its own weight. The power of vertical jump was not found significant difference. The displacement, velocity and height were found significant difference. The present results indicated that the load of vertical jump did not affect the power but affected the displacement, velocity and height.

Key words : Vertical jump, Stretch shortening cycle, Loads

## I はじめに

身体運動における発揮パワーの指標として、一度下方に沈み込んでから上方へ跳躍する反動動作を利用した垂直跳びや、一度下方へ沈み込んでから前方へ跳躍する立ち幅跳びが用いられている。反動動作を利用した跳躍は、反動動作を利用しない跳躍動作よりも跳躍高が高くなる。先行研究<sup>1)</sup>によれば、反動動作によってより大きな力学的エネルギーが利用できるようになること、その要因として下肢筋群の伸張反射や骨格筋の筋腱動態の関与によるものと考えられてきた。

反動動作を利用した身体運動においては、下肢全体を「バネ」に見立て、「マスのプリングモデル」によって身体のパネ特性を評価している<sup>2)3)</sup>。下肢全体が「バネ」である一方、上半身は「重り」として見立てられている。これまでの先行研究の多くは、下肢のパネ特性に関して着目しているが、「重り」に関して着目しているものは見られない。たとえば、バネが硬い場合、「重り」が軽いとバネの縮みが少なく十分な弾性エネルギーを得られないこととなる。

一方、バネが柔らかすぎる場合、「重り」が重たいとバネが縮みすぎて弾性エネルギーを放出することができない。すなわち、反動動作を最大限に利用し、発揮パワーを最大にするためには、バネに対する適正な重りの重さがあり、却って、重さに対する適正なばねの強さがあるものと考えられる。これまでの先行研究の多くは、バネの強さに着目しており「重さ」に着目した研究はみられない。上述のことからすると、跳躍時の発揮パワーが高まり、跳躍高が高まる負荷(重さ)が存在するものと仮説が成り立つ。

そこで、本研究では垂直跳び時の「重り」を変更し、脚の発揮するパワーの変化、身体の上昇速度、跳躍高について明らかにし、「重り」の大きさが反動動作の効果に及ぼす影響について検討することとした。本研究の結果は、発揮パワー増強のトレーニングなどを考える際の有益な情報になるものと思われる。

## II 方法

M 短大の男子学生 6 名 (年齢 : 20 ± 1 歳、身長 :

172±6 cm、体重：67±6 Kg) 女子学生6名(年齢：20±1、身長：164±6 cm、体重：48±9 Kg)が、図1のようなウェイトジャケット(Kool Katz社製)を着用し、動作負荷(自体重、自体重+自体重の5%、10%、15%、20%、25%、30%)にて、立位姿勢から一度しゃがみ、反動をつけて跳躍する試行を3回ずつ実施した。動作負荷は、被験者ごとにランダムに設定した。本試行実施に備え、ウォーミングアップを各被験者行い、各試行全力での跳躍動作を遂行した。被験者の跳躍試行は、右側方より高速度カメラ(Victor社製、GC-PX1)にて300 fpsで撮影された。実験に先立ち、被験者の右大転子部分に分析のためのマーカーを服の上から貼付した。撮影された跳躍試行の動画はパソコンに取り込まれ、画像解析ソフト(Image-j 1.41 National Institutes of Health アメリカ)にて被験者の大転子部分が身体重心の変位としてデジタイズされた。デジタイズは、被験者の全試行において行われ、3回の平均値を算出し、結果に示した。デジタイズされたデータは、遮断周波数10Hzのパターワースフィルターにて平滑化を行った。遮断周波数は、残差分析により決定した。デジタイズされた変位データをもとに速度、跳躍高およびパワーを算出した。跳躍高は速度から推定し(式 )、パワーの算出式は以下のとおりである。なお、速度は離地時の値を用いている。

$$\text{跳躍高 (h)} = V^2 \cdot (2g)^{-1} \quad g = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$\begin{aligned} \text{パワー (p)} &= \text{力 (N)} \cdot V \\ \text{力} &= \text{体重 (Kg)} \cdot 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)} \end{aligned}$$

変位、速度、跳躍高およびパワーの値は、自体重の値をもとに各動作負荷での値を相対値として結果に示した。統計は、統計ソフト(SPSS 22.0)を使用し、各負荷間の差の検定に一元配置分散分析を用い、その後の検定はScheffeを利用した。なお、危険率5%未満(p<0.05)をもって有意とした。



図1 ウェイトジャケット

### Ⅲ 図表

各負荷試行におけるパワー、跳躍高、速度および変位の結果は、それぞれ図2、図3、図4および図5に示した。パワーは、いずれの負荷にも有意差は認められず、負荷の影響はみられなかった(図2)。跳躍高(図3)、速度(図4)および変位(図5)において有意差が認められ、自体重+30%負荷の値が自体重および自体重+10%負荷の値より低かった。

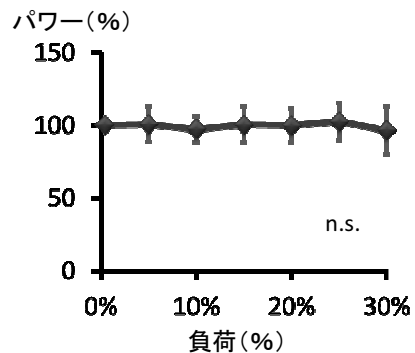


図2 各動作負荷における発揮パワー

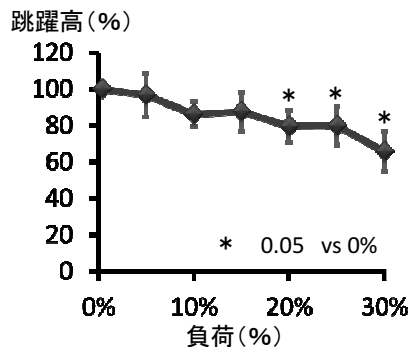


図3 各動作負荷と跳躍高

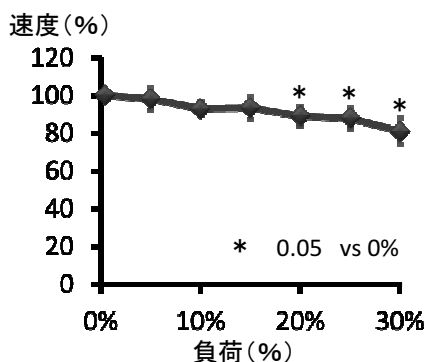


図4 各動作負荷における速度

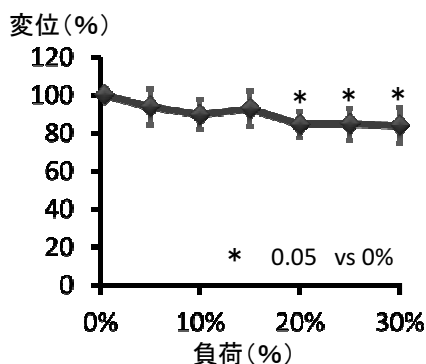


図5 各動作負荷における変位

#### IV 議論

本研究は、ウェイトジャケットを着用し、負荷を増加した状態で垂直跳びを実施し、負荷が脚パワー、速度、跳躍高に及ぼす影響を明らかにすることを目的として行った。その結果、脚パワーは負荷の増加に伴い変化しなかったことから、本研究の仮説は棄却された。一方、跳躍高や速度、変位は自体重付近よりも重い負荷（自体重+自体重の30%の負荷）において有意に低値を示した。このことから、本研究においては跳躍運動時の動作負荷（重り）を変更することによる即時的な発揮パワーの増強は認められなかった。すなわち、パフォーマンスを高める最適な負荷は存在せず、反動動作の効果に影響しないことが示された。しかしながら、本研究の用いた動作負荷（自体重の30%分の重さまで）では、発揮パ

ワーの低下が認められなかった。したがって、動作負荷の増減に対して発揮パワーを維持するように調整する機能が働いたことが推察される。仮に、本研究で用いた負荷よりも重い負荷での試行では、パワーの減少が認められた可能性も否定できない。さらに、本実験では、各被験者のデータの検討を行っていない。詳細に検討することにより、各人によって最適な負荷を明らかにできる可能性がある。そのためには、脚伸展筋力の最大値の計測が必要である。

動作負荷の増加に伴い、発揮パワーが増減しなかった要因として考えられることとして、動作負荷の増加に伴う離地までの速度の低下が挙げられる。本研究を始めるにあたり、伸長性筋活動時の負荷を高めることによって、脚への弾性エネルギーが負荷のない時（自体重）よりも多く蓄積され、踏切動作時に利用されることで速度並びにパワーが高まるものと考えた。結果的には短縮性筋活動時（重心上昇中）の速度は低下し、パワーの増加がみられなかったため、伸長性筋活動時に蓄積した弾性エネルギーを利用することができていなかった可能性がある。短縮性筋活動時に上昇速度が低下したことは、力-速度関係から説明できるものと追われる。力-速度関係においては、発揮筋力が高まるにつれて、筋の収縮速度が遅くなる。本研究の結果においても、負荷の増加に伴い発揮筋力が増加した一方、速度が低下しており、筋の力発揮特性と一致した。

また、骨格筋に存在する長さや長さ変化を検知する筋紡錘および力の大きさなどを検知するゴルジ腱器官の働きによって発揮パワーが調整された可能性もある。日常生活において自体重がベースラインであったものが、ウェイトジャケット着用によって両器官の緊張状態が高く保たれたことによって筋長変化の減少、すなわち、関節可動域の減少によって、大転子の変位が小さくなり、速度の低下をまねいたと推察された。

上記の要因が複雑に関与することによって反動動作において、一時的に動作負荷を増加することは反動効果を高めることにつながらない可能性が高い。しかし、本研究の結果において、動作負荷が増加したにもかかわらず脚の発揮パワーが低下しなかったことを考慮すると、負荷が増加した際も反動効果がある程度利用したために、発揮パワーが維持されて

いたとも考えられる。Laidlaw ら<sup>4)</sup>は、伸長性筋活動を伴うトレーニングの結果、伸長性筋活動時の伸張反射を抑制する神経制御が改善されることを報告している。したがって、動作負荷を利用した跳躍動作のトレーニングを数か月間実施した後、同様の計測を実施することで「重り」が「バネ」に及ぼす影響についてより明確に明らかにすることができるものと思われる。

## V まとめ

本研究は、反動を用いた垂直跳び時の動作負荷（重り）をコントロールし、反動動作の効果に及ぼす影響について明らかにした。その結果、動作負荷の増加にもかかわらず、発揮パワーは増減しなかったことから、反動動作の効果に影響しないことが明らかとなった。その要因は、動作負荷の増加に伴う変位、速度の低下によるものであり、結果的に跳躍高の低下につながったものと思われた。しかしながら、本研究で採用した自体重+30%負荷の場合、発揮パワーが低下せず、維持することができていたため、反動動作の効果が全くなかったとは言いきれない。また、本研究からは反動を利用した垂直跳びにおいて最適な動作負荷を明らかにすることはできなかった。

### 【参考文献】

1. Bobbert MF, Gerritsen KG, Litjens MC, Van Soest AJ. : Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Med Sci Sports Exerc*, 28 (11), 1402-1412, 1996.
2. Dalleau G, Belli A, Bourdin M, Lacour JR. : The spring-mass model and the energy cost of treadmill running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 77 (3), 257-263, 1998.
3. Farley CT, González O. : Leg stiffness and stride frequency in human running. *J Biomech*. 29 (2), 181-186, 1996.
4. Laidlaw DH1, Kornatz KW, Keen DA, Suzuki S, Enoka RM. : Strength training improves the steadiness of slow lengthening, contraction performed by old adults. *J Appl Physiol* (1985). 87 (5) : 1786-1795, 1999.