

垂直跳びにおける前伸張の速さ・強さが跳躍高におよぼす効果

樋口 憲生・李 哲鎬・加納 明彦・湯 浅景元

Effect of prestretching speed and strength during vertical jumps on performance

NORIO HIGUCHI · CHULHO LEE · AKIHIKO KANO · KAGEMOTO YUASA

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the influence of the prestretching speed and strength of the thigh extensors during take-off phase on the jumping height in vertical jump. Five males performed the following several vertical jumps: squatting jump (SJ) from a static knee bending position; counter movement jump (CMJ) with a preparatory counter-movement; drop jump (DJ) from the five different heights (20, 40, 60, 80 and 100cm) on to the platform followed immediately by a vertical jump. All of these jumps were performed on the force-platform (Kistler) with the arms kept at the back. The jumping motions were recorded with the high-speed video tape recorder (NAC: HSV-200) from subject's side at 200 f. p. s.. The results obtained from this study were summarized as follows:

- 1) The highest height of rise of center of gravity was obtained in CMJ.
- 2) When observing the result only in the DJs, the highest jumping performance was obtained in the DJ from a height of 40cm.
- 3) An average velocity of center of gravity during down phase in CMJ which showed the highest performance was $0.71\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$.
- 4) Prestretching force in CMJ was higher than that in SJ, but on the other hand it was lower than that in DJs.
- 5) Both angles of the knee and hip joints at the maximal knee bending position in CMJ which showed the highest performance were about 70 degrees.

はじめに

垂直跳び運動を行っているヒトの動作をみると、大部分のものが跳躍前に膝関節の屈曲動作による反動動作を利用していることがわかる。このような膝関節屈曲による反動動作を行うと、跳躍運動の主働筋である大腿四頭筋群は収縮前に急激な前伸張をおこす。筋は収縮前に急激に伸ばされると弾性エネルギーが貯えられ、このエネルギーが筋収縮のときに利用されると

大きな筋パワーを発揮できることはすでに報告されている²⁾³⁾⁷⁾⁸⁾。このことから、跳躍前の膝関節屈曲による反動動作は跳躍高にとって有効であると考えられている。しかし垂直跳びにおいて、主働筋の前伸張条件がパフォーマンスに及ぼす効果を定量的に明らかにした報告はあまりみられない³⁾。

そこで本研究では、垂直跳びにおける主働筋

の前伸張条件を変えるために7種類の垂直跳びを行わせ、そのときの踏み切り局面の地面反力と踏み切り動作から主働筋の前伸張の速さや強さがパフォーマンスにどのように影響するのかを明らかにすることにした。

表1 被験者の年齢, 身長および体重

| Subj | Age (yrs) | Height (cm) | Weight (kg) |
|-------|-----------|-------------|-------------|
| A | 25 | 179.3 | 64.7 |
| B | 27 | 166.7 | 56.7 |
| C | 26 | 167.7 | 72.9 |
| D | 28 | 170.0 | 69.5 |
| E | 22 | 174.9 | 67.5 |
| Mean | 25.6 | 171.7 | 66.3 |
| S. D. | 2.3 | 5.3 | 6.1 |

方 法

本研究の被験者は成人男子5名であった。彼らは、本実験前2年間には脚筋を主に使うようなトレーニングは定期的^に実施していなかった。被験者の年齢, 身長および体重を表1に示した。

本研究で行った垂直跳びの方法は、膝関節を屈曲した静止状態から跳躍動作を開始する Squatting Jump (SJ), 立位姿勢からの沈み込み動作を利用して跳躍する Counter Movement Jump (CMJ), そして20, 40, 60, 80 および100 cmの台上からとび降りてからすぐに跳びあがる Drop Jump (DJ)の全部で7種類であった(図1)。各被験者は、これらの跳躍をそれぞれ2回ずつ行った。このときの踏み切り中の地面反力は、フォースプレート(Kistler社製・2981 B 11)を利用して記録した。いずれの跳躍も両手は腰のうしろで組ませて行わせ

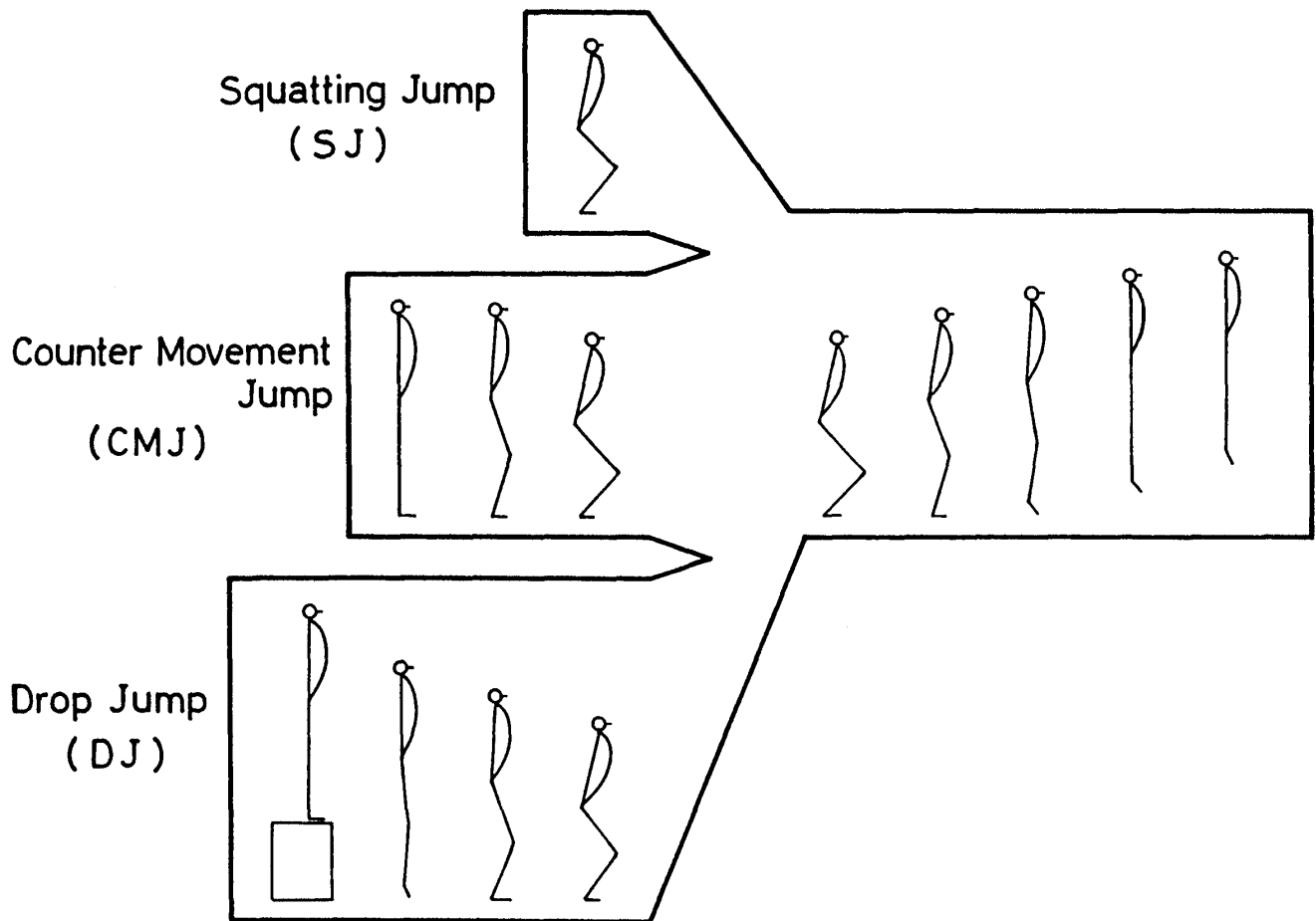


図1 跳躍方法

た。また、体幹はできるだけ前後傾しないように被験者に指示した。地面反力の測定と同時に、ハイスピード・ビデオ（NAC社製・HSV-200）を用いて被験者の側方30mより跳み切り動作を毎秒200コマで撮影した。地面反力と跳躍動作を同期するために、ウェーブ・インサーター（NAC社製・V-96）を用いて画面上に力-時間曲線を入力した。実験場面の模式図を図2に示した。

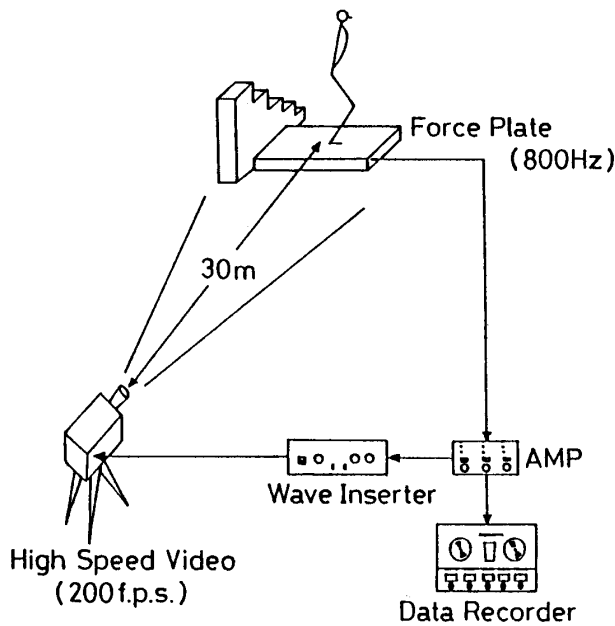


図2 実験場面の模式図

フォースプレートから得られた地面反力は鉛直方向についてのみ分析を行った。

跳躍高(H_{CG})は跳み切り瞬間の重心速度(V_z)を用いて次式より算出した。

$$H_{CG} = \frac{V_z^2}{2 \cdot g}$$

ここで g は重力加速度 ($9.81\text{m} \cdot \text{sec}^{-2}$) である。また、跳み切り局面における p 時点での鉛直方向の重心速度 (V_{vp}) は次式より求めた。

$$V_{vp} = V_{vp-1} + \frac{1}{m} \int_{p-1}^p (F_v - m \cdot g) dt$$

ここで m は身体質量、 F_v は鉛直方向の力、 g は重力加速度 ($9.81\text{m} \cdot \text{sec}^{-2}$) である。なお、SJ と CMJ における V_{v0} はゼロとし DJ における V_{z0} は次式により求めた。

$$V_{z0} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

ここで g は重力加速度 ($9.81\text{m} \cdot \text{sec}^{-2}$)、 h はとび降りる台の高さである。

本研究では、いずれの跳躍についても2回の跳躍のうち跳躍高の高い方を分析対象とした。

結果と考察

SJ、CMJ および DJ における鉛直方向の地面反力の代表例を図3に示した。SJ は身体重心を上昇させるための地面反力だけが作用している

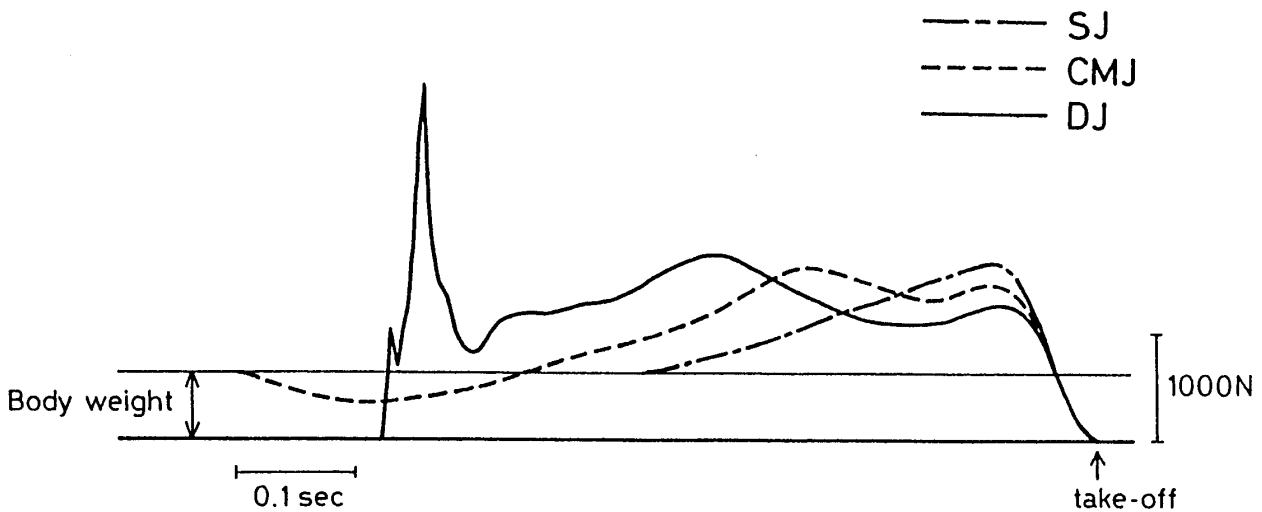


図3 SJ、CMJ および DJ (40 cm) における鉛直方向の地面反力

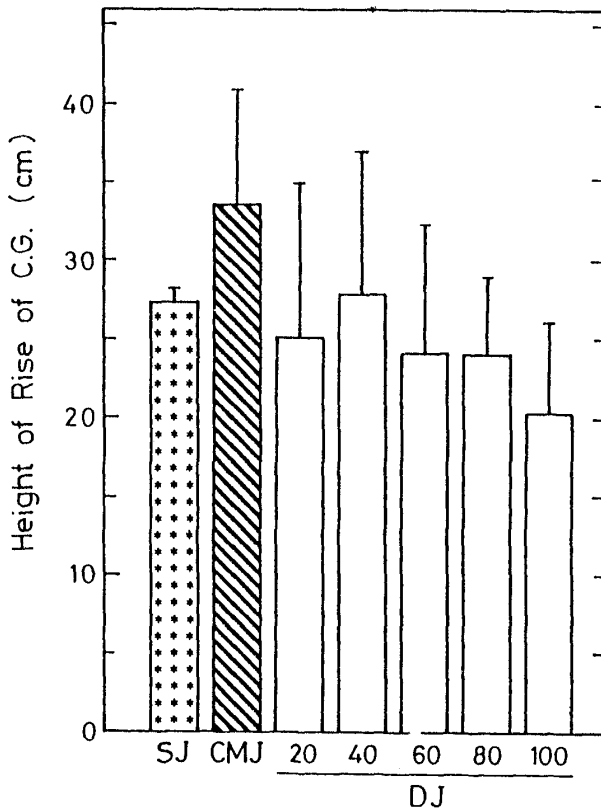


図4 各跳躍における跳躍高

のに対して、CMJでは沈み込み動作を利用するために抜重期が出現していた。DJは足がフォース・プレートに着地した瞬間に衝撃力がみとめられたが、CMJのような抜重期はほとんど出現しなかった。

図4は各跳躍における跳躍高を示したものである。跳躍高の最大値はCMJでの33.5cmであった。5種類のDJでは台高40cmのときが最も跳躍高は高く、一方、台高100cmのときの跳躍高はすべてのDJの中で一番低かった。Asmussen & Petersen (1974)²⁾やKomi & Bosco (1978)⁷⁾は、CMJよりも40~60cmの台高を用いたDJの方が跳躍高は高くなると報告しているが、今回の研究結果は彼らの報告とは異なっていた。この原因については今のところ明らかにすることはできなかった。

Bosco et al. (1981)³⁾は、垂直跳び高を決定する条件として1)沈み込みの速さ、2)沈み込みの強さ、および3)沈み込みの時の膝関節屈曲から伸展への切り換え時間をあげている。本研究では地面反力の結果より、沈み込みの速さ

は身体重心の速度が下方に速度をもつ局面の平均速度で、そして沈み込みの強さは下方への重心速度がゼロになったときの体重当りの鉛直方向の地面反力であることにした。そして、このときの沈み込みの速さと強さがそれぞれ前伸張の速さおよび強さを表す指標としてみなした。

前伸張の速さについてみると跳躍高の最も高かったCMJでは $0.71\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ であった(図

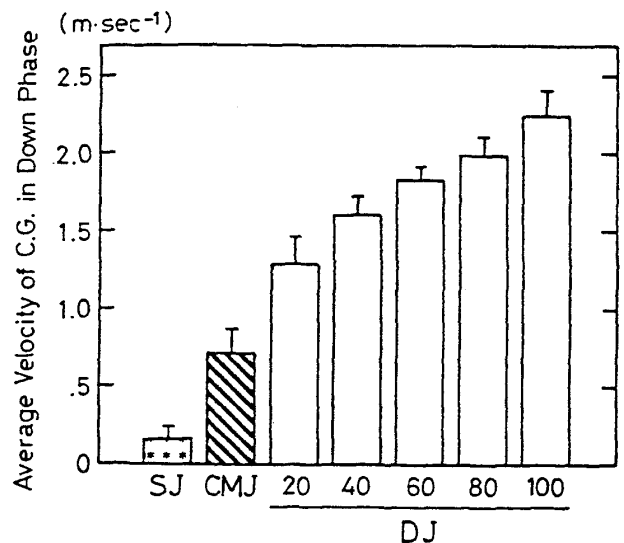


図5 各跳躍における前伸張の速さ

5)。DJでは台高が高くなるにつれてこの速度は大きくなった。DJの跳躍高はCMJの跳躍高よりも6~12cm低い値を示したにもかかわらず前伸張速度はすべてのDJにおいてCMJよりも高い値を示した。また、SJの前伸張速度はCMJよりも著しく小さく、跳躍高も低い傾向を示した。すなわち、CMJの $0.71\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ ぐらいの前伸張速度のときに跳躍高は最高となる傾向がみられ、この速度がそれより小さくてもあるいは大きくても跳躍高は減少した。このことは、高い跳躍高を得るための至適前伸張速度が存在していることを示唆しているものと考えられる。

図6は、各跳躍における前伸張の強さを示している。跳躍高が最も大きかったCMJと他の跳躍を比較してみると、すべてのDJでの前伸張の強さは大きい傾向を示し、SJではCMJよ

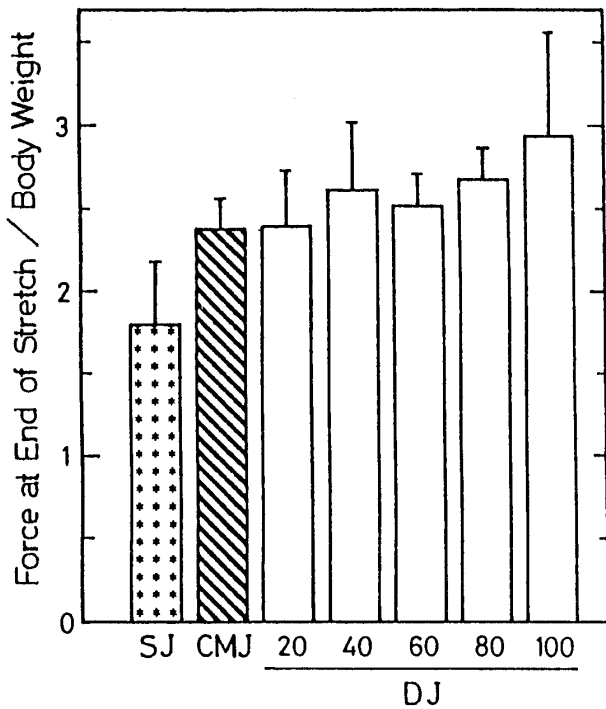


図6 各跳躍における前伸張の強さ

りも小さい傾向を示した。ここで示した前伸張の強さを垂直跳びの主働筋であると考えられる大腿四頭筋に加わる力とすると、主働筋は至適な強さで前伸張されたときにその後の収縮力が最も大きくなり、その結果として高い跳躍高を得ることができるものと考えられる。

最大沈み込みの時の各関節角度をそれぞれの跳躍において示した(図7)。跳躍高が最大になったときのCMJの各関節角度は、 θ_1 で20度、 θ_2 で66度、 θ_3 で73度および θ_4 で70度であった。 θ_1 はすべての跳躍でほぼ同じであったが、 θ_2 はCMJが最も屈曲されていた。 θ_3 はCMJよりもSJが著しく大きな値を示し、逆に台高100cmのDJではCMJよりも著しく小さかった。従来の垂直跳びの研究では、膝関節角度が60~90度の範囲で跳躍高は最大値を示すと報告されている¹⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾が、垂直跳びは多関節運動であるため、膝関節の角度だけで動作の至適条件を示さない方がよいと考えられる。本研究結果に言及すれば、前述のような諸関節角度の組み合わせのときに垂直跳びの跳躍高を大きくするために最も力を発揮しやすい前伸張条件になっていたと考えられる。

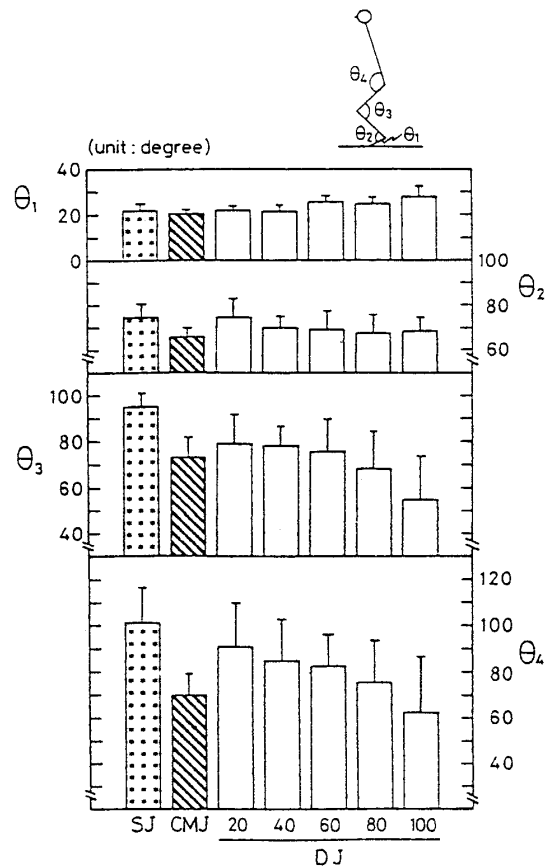


図7 各跳躍における最大沈み込み時の諸関節角度

まとめ

本研究の結果を要約すると次の通りである。

- 1) 7種類の垂直跳びのうち跳躍高が最大値を示したのは、立体姿勢から一度沈み込んでから跳びあがる跳躍(CMJ)であった。ある高さの台上からとび降りてからすぐに跳びあがる跳躍(DJ)では、台高40cmのときに跳躍高は最大となった。
- 2) 跳躍高が最大値を示したCMJの前伸張の速度は $0.71\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ であり、それより遅くてもあるいは速くても跳躍高は減少した。
- 3) 跳躍高が最大値を示したCMJの沈み込みの強さは、膝関節を屈曲した静止状態から動作を開始する跳躍(SJ)よりも大きくすべてのDJよりも小さかった。
- 4) 跳躍高が最大となったCMJの沈み込み時の姿勢は、足関節、膝関節ともほぼ70度であった。

引用文献

- 1) 阿江通良, 渋谷侃二: その場から高くとぶ跳躍——垂直跳のバイオメカニクス——, *J. J. Sports Sci.* 2 (8): 590-599, 1983
- 2) Asmussen, E. and F. Bonde-Petersen: Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol Scand* 91: 385-392, 1974
- 3) Bosco, C., P. V. Komi and A. Ito: Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol Scand* 111: 135-140, 1981
- 4) 岩田敦: 跳躍運動の分析(垂直跳について), *体育学研究* 5 (1): pp 132, 1960
- 5) 岩田敦: 跳躍運動の分析(第3報), *体育学研究* 6 (1): pp 56, 1961
- 6) 金原勇, 古藤高良: 跳躍の要因について, *体育学研究* 5 (1): pp 113, 1960
- 7) Komi, P. V. and C. Bosco: Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med. Sci. Sports* 10 (4): 261-265, 1978
- 8) Weineck, J. 著, 有働正夫監訳: 最適トレーニング. オーム社, pp 94, 1984