

## 垂直跳びにおいて重りを持つことが跳躍動作に及ぼす影響

### The influence of hand-held weights on the joint motion during vertical jump

金子 潤\*, 竹下香寿美\*\*, 川上泰雄\*\*, 福永哲夫\*\*

Jun Kaneko\*, Kazumi Takeshita\*\*, Yasuo Kawakami\*\*, Tetsuo Fukunaga\*\*

\* 早稲田大学大学院人間科学研究科

\*\* 早稲田大学スポーツ科学部

\* Graduate School of Human Sciences, Waseda University

\*\* School of Sport Sciences, Waseda University

キーワード: 垂直跳び、Weights-loaded Jump、股関節

#### 抄 録

本研究の目的は垂直跳びにおける、跳躍高におよぼす重量負荷の影響を明らかにすることである。被検者はおもりを手に持たない跳躍:No(0)-loaded Jump(0Jp)とおもりを手に持った跳躍:Weights-loaded Jump (WJp)の2種類を行った。なお、重りの重量は1,3,5kgであった。全ての跳躍は圧力盤上で行ない、動作開始姿勢は膝関節90度・肩関節最大伸展位とした。また被検者には、膝関節の反動を使わず、且つ一度の腕振りで行うよう指示した。

跳躍高、初速度及び力積は3kgの重りを持つ場合のみ統計的に有意に増加した。また、各局面の力積についてみると、腕の振り上げ局面において、5kgWJpにおいて有意に増加し、さらに、股関節の伸展開始後の局面で3kgWJpと5kgWJpにおいて有意に増加した。股関節の動き出しは3kgWJp, 5kgWJpで有意に早くなった。また、股関節の平均の角速度は、すべてのWJpで有意に低下した。

股関節伸展開始後の力積は重りの重量が増すほど増加し、股関節の平均角速度は重りの重量が増すほど低下していることから、重りを持つことで股関節伸展の力発揮が高まり、股関節の関節トルクが増加している可能性が考えられる。

スポーツ科学研究, 2, 63-71, 2005年, 受付日:2005年1月31日, 受理日:2005年5月10日

連絡先: 金子潤, 〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15 早稲田大学大学院人間科学研究科 junekaneke@fuji.waseda.jp

## I. 緒言

垂直跳びにおいて跳躍高を高めるためには、動作中の鉛直方向の力積を大きくする必要がある。反動動作を用いた先行研究では、反動を用いた垂直跳びの方が反動を用いない垂直跳びよりも跳躍高が高くなることが明らかにされている。これは伸張—短縮サイクルによる効果で、反動に伴い股関節・膝関節・足関節の発揮トルクが高まり、跳躍動作中の地面反力が増大して力積が大きくなったためと考えられる(Frank et al. 1993, Bobbert et al. 1996など)。Shetty (1989), Harman et al. (1990), Barton(1996)やFeltner et al. (1999)は腕振りの有無による跳躍動作の比較により、腕振り動作が離地時の身体重心の位置を上昇させると共に、初速度を増加させるため跳躍高が高まると考察している。Hay and Reid(1988)も、腕振り動作は鉛直地面反力を増大させ、各関節による身体重心の上方への加速と関節が発揮する力積を高め、離地時における身体重心の鉛直速度の増加を引き起こし、跳躍高を増加させると考察している。

これらの他に跳躍パフォーマンスを高める注目すべき方法として、重りを持つという方法が報告されている。Yamazakiら(1995)は体側にある両腕を引き上げながらつま先のみで垂直跳びを行うという方法で、両手で重りを持った場合の方が持たない場合よりも滞空時間が伸びたと報告している。

また、より自然な動作における重りの効果について、Albertoら(2002)は古代オリンピックで実施されたと報告されている重りを手に持って立ち幅跳びを行う種目をもとに、シミュレーションを用いた実験を行った。結果、重りを持つことで初速度と跳躍距離が伸びることを示した。さらに、垂直跳びについても、実際に被検者に重りを持たせて実験を行った。2~9kgのhand-held weightを用いて垂直跳びを行い、重りが5~6kgの時に初速度が5~7%増加したと報告している。しかしながらこの研究では、手に重りを持つことが垂直跳びの動作にどのような影響を及ぼすかについては言及しておら

ず、明らかになっていない。そこで、本研究では垂直跳びにおいて手に重りを持つことにより、跳躍高や各関節の動きのタイミングがどのように変化するかを明らかにすることを目的とした。

## II. 方法

### A. 被検者

健康な成人男性8名が被検者として本研究に参加した。被検者の身体特性は表1の通りである。

表1 被検者の身体特性(n=8)

年齢(才)	身長(cm)	体重(kg)
22.9±1.7	175.4±6.2	68.0±7.0

実験に先立ち、被検者に対して本研究の目的および実験への参加に伴う危険性についての十分な説明を行い、実験参加の同意を得た。

### B. 実験内容

#### 1. 運動課題

被検者は以下の条件で跳躍を行った。

- 1) おもりを手に持たない普通の跳躍: No(0)-loaded Jump(0Jp)
- 2) おもりを手に持った跳躍: Weights-loaded Jump (WJp)

全ての跳躍で、動作開始姿勢は膝関節90度・肩関節最大伸展位とした。また被検者には、膝関節の反動を使わず、且つ一度の腕振りで跳躍を行うよう指示した。さらに、重りの重量の違いによる効果の差を検討するため、WJpは3種類の重り(片手でそれぞれ0.5kg, 1.5kg, 2.5kg)を用いて行った。

被検者には、全ての試行を最大努力で行うよう指示した。また、本測定に先立ち、被検者はウォーミングアップに加え、試行に慣れることを目的として各試行について十分な練習を行った。各跳躍は3回ずつランダムに行い、各条件での最大値を採用データとした。試

行間のインターバルは被検者の任意として適当な休息を取り, 疲労の影響が出ないように配慮した。

### C. 測定項目

#### 1) 関節角度および角速度

試行中の動作を被検者の右側方より高速度VTRカメラ(HSV-500, NAC社製)を用いて毎秒125フレームで撮影し, キャプチャソフト(video commander 32, Canopus社製)でパーソナルコンピュータに取り込んだ。動作中, 被検者のつま先, 足関節中心, 踵骨隆起, 膝関節中心, 大転子点, 肋骨下端(2ヶ所), 肩峰, 肘関節中心, 手関節中心及び頭頂の全10ヶ所に反射マーカを貼付し, 動作解析ソフト(Winanalyze1.6, Mikromak社製)を用いてこれらをデジタイズし, 足・膝・股・肩関節の角度および角速度を算出した。この際, 各関節の動作は矢状面の二次元平面上で行われるものと仮定した。

#### 2) 地面反力

各跳躍動作中の地面反力をフォースプレート(9281B, キスラー社製)を用いて計測した。フォースプレートで計測した信号をアンプ(9865E1Y28, キスラー社製)を介して増幅後, A/D変換機(16Ch.AD input box PH-700, DKH社製)を用いてデジタル変換し, パーソナルコンピュータに取り込んだ。サンプリング周波数は1kHzとした。解析ソフト(Wad ver.1.94b, DKH社製)を用いて鉛直方向の地面反力を算出した。

さらに, 被検者間及び試行間の比較のために各試行における立位時の地面反力(身体+重り)の平均値を1として鉛直地面反力のデータを相対化した。

#### 3) 初速度, 跳躍高およびパワーの測定

身体重心の鉛直方向での加速度(Av)を以下の式により求めた。

$$Av = (Fz - mg) / m$$

(Av は鉛直加速度 (m/s<sup>2</sup>), m は身体質量+重りの質量 (kg), g は重力加速度=9.8m/s<sup>2</sup>)  
初速度(V<sub>off</sub>)は次式より求めた。

$$V_{off} = \int_0^{T_{off}} Av \cdot dt$$

(T<sub>off</sub>は離地の時点, 0は動作開始の時点)

跳躍高(H)は次式より求めた。

$$1/2 \cdot m \cdot V_{off}^2 = m \cdot g \cdot H$$

$$\therefore H = V_{off}^2 / 2 \cdot g$$

ピークパワー(Pmax)は次式より求めた。

$$Pmax = Fz \times V$$

(Vは重心速度)

#### 4) 力積

各跳躍動作中の力積は, 動作開始時点(肩関節の動作開始の時点)から離地までの区間の力曲線を時間積分して求めた。

$$I = \int_{T1}^{T2} \{Fz(t) - W\} \cdot dt$$

(Iは力積(Ns), Fzは鉛直地面反力(N), Wは立位時の鉛直地面反力(N), T1は動作開始の時点, T2は離地の時点)

さらに, 試行間での比較を可能にするために力積を身体と重りの合計質量で除した値を求めた。また, 手に重りを持つことで跳躍動作時の力発揮において各関節がどのような影響を及ぼしているのかを検討するため力積を以下に示す局面に分けて算出した(図1)。

1. 1-a間とa-T2間:aは肩峰と手関節中心を結んだ線と地面との角度(腕角度)が垂直になった時点を示す。腕の振り下ろしと振り上げ局面での力積を比較する。
2. 1-b間とb-T2間:bは膝関節の伸展開始の時点を示す。
3. 1-c間とc-T2間:cは足関節の底屈開始の時点を示す。
4. 1-d間とd-T2間:dは股関節の伸展開始の時点を示す。

(b, c, dの動作開始時は静止状態における角度の3SDを越えた時点とした。SD:標準偏差)

なお, 圧力盤とビデオ画像の同期は, シンクロナイ

ザ(PH-100型, DKH社製)を用いてビデオ画像に光信号を記録すると同時に, 床反力データに電圧変化を記録することで行った.

#### D. 統計処理

全ての結果は0Jpを100%として相対化して比較し,

平均値±標準偏差で表した. 各変数の跳躍方法間の比較には一元配置分散分析を用い, F値が有意な場合にシェッフエの方法による多重比較検定を行った. 2変数の相関関係の検討は, ピアソンの相関係数を用いて行った. 全ての検定において, 危険率5%未満をもって有意とした.

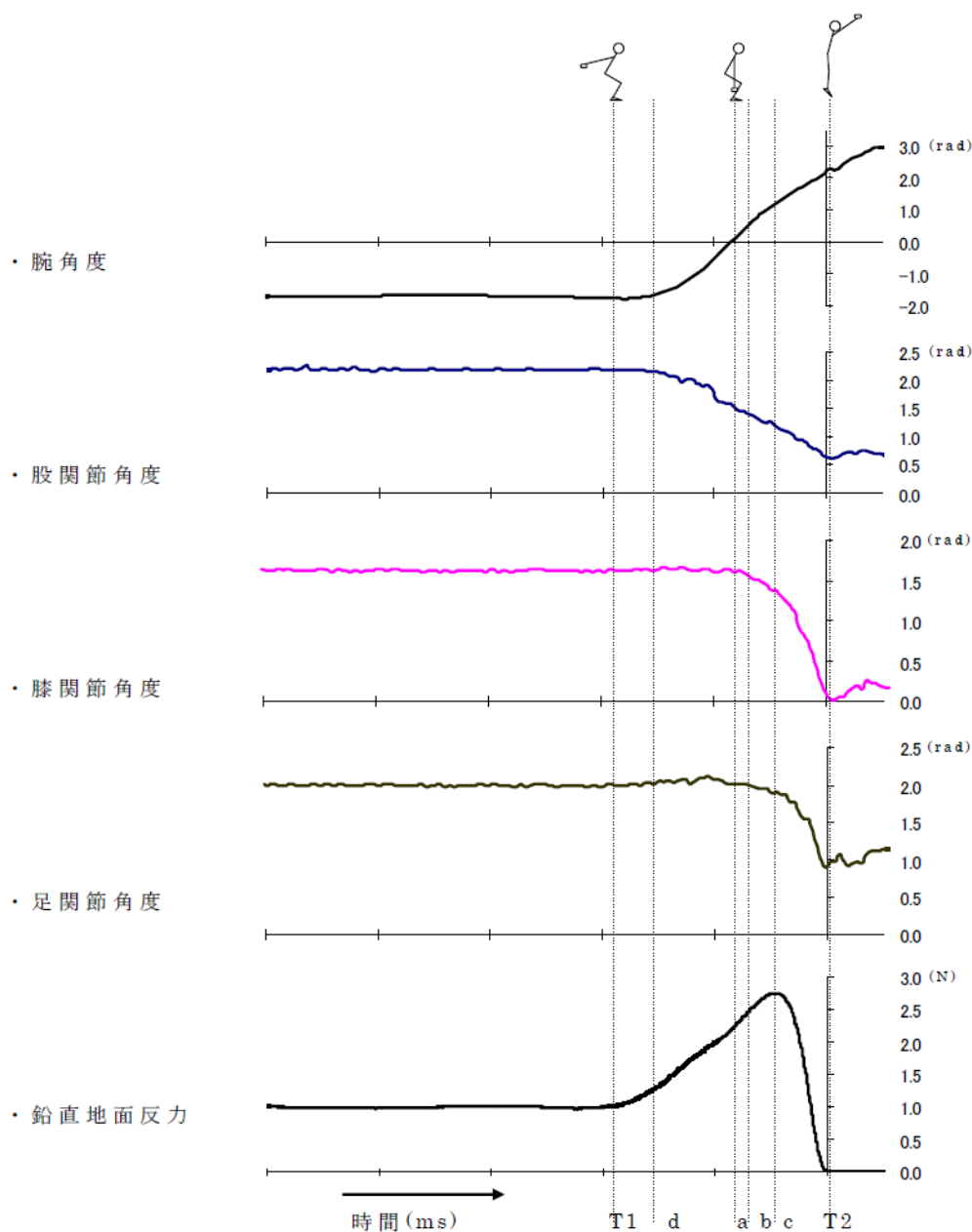


図1. 局面分けの方法

(a: 肩峰と手関節中心を結んだ線(腕角度)が地面に対して垂直になった時点、b: 膝関節の伸展開始時点、c: 足関節の底屈開始時点、d: 股関節の伸展開始時点、T1は動作開始の時点、T2は離地時)

### Ⅲ. 結果

図2に、本研究の各条件の跳躍動作における鉛直地面反力、重心速度、関節角度、角速度の典型例(被検者A)を示した。また、表2に0JpとWJpとの各変数を示した。初速度及び跳躍高は0Jpと比較してWJpで高い値を示す傾向がみられたが、3kgWJpの場合におい

て有意に高い値を示した( $P<0.05$ )。同様に、身体と重りの合計質量あたりの力積についても3kgWJpの場合に有意に高値であった( $P<0.05$ )。身体と重りの合計質量あたりのPmax及びFzは各試行間で有意な差はみられなかった。

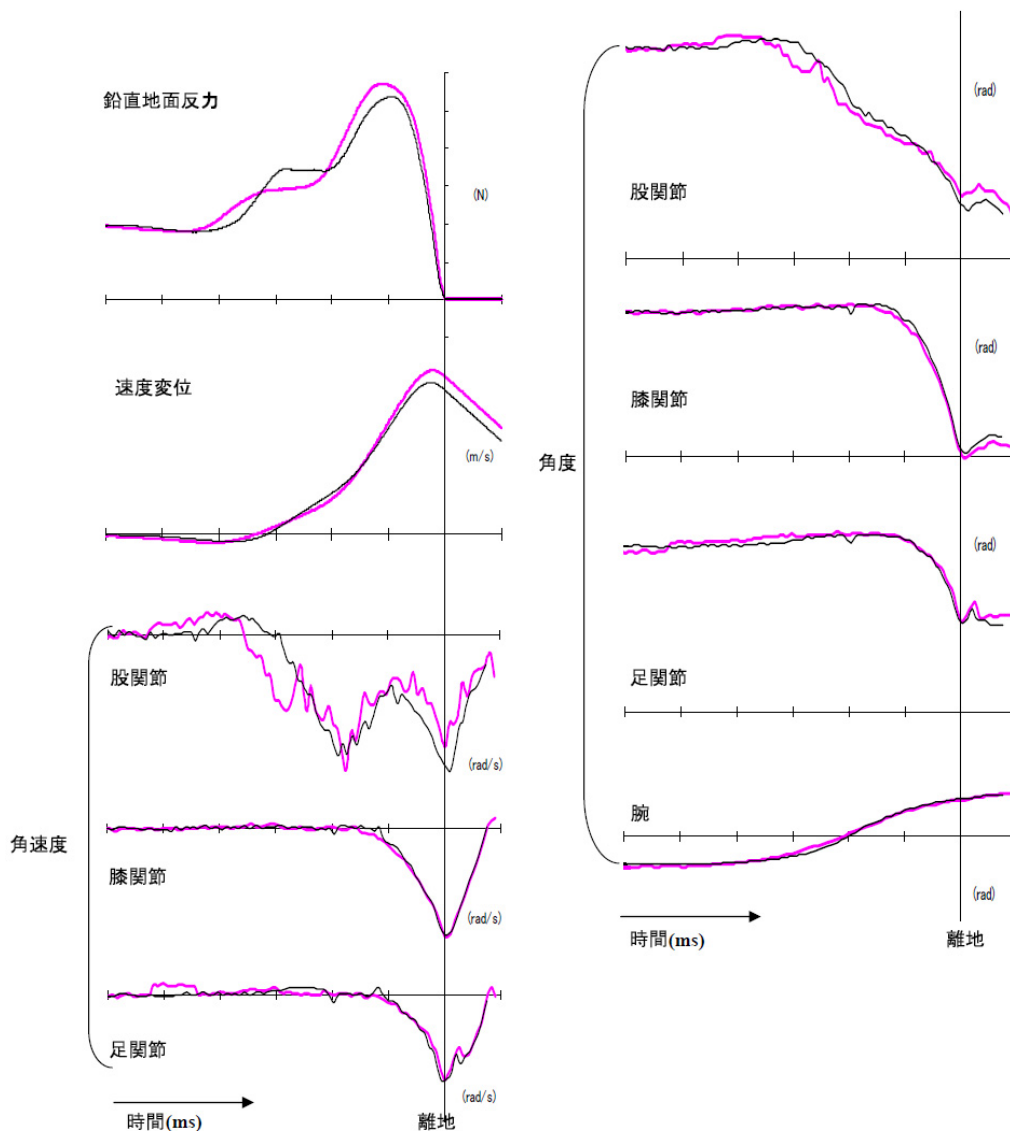


図2. 本研究の跳躍動作の典型例  
(— は0JPを、— はWJp (3kg)の典型例を示す)

表2. WJp との力学量の比較

	0Jp	WJp 1kg	3kg	5kg
H(%)	100	102.3±5.35	108.3±4.83*	106.0±6.78
V <sub>off</sub> (%)	100	101.1±2.64	104.0±2.31*	102.9±3.28
力積(%)	100	101.4±2.76	103.9±2.45*	102.5±3.22
Fz(%)	100	101.8±4.92	101.6±5.18	100.8±4.20
Pmax(%)	100	102.4±5.16	104.1±4.23	102.9±5.70

\* : p<0.05

(注: 力積、Fz、Pmax については各試行における身体と重りの合計質量あたりで算出した)

また、各局面の力積(表3)は、腕の振り上げ局面において、5kgWJpの場合に0Jpよりも有意に高値であった(P<0.05)。膝伸展開始前後および足関節の底屈開始前後で分けた局面では前後両局面とも試行間において有意な差はみられなかった。股関節の伸展開始前後で分けた局面では、伸展開始前の局面において

3kgWJpと5kgWJpの場合に0Jpよりも有意に低く、WJp間でも重りの重量が増すにつれて力積は有意に低下した(P<0.05)。さらに、伸展開始後の局面では3kgWJpと5kgWJpの場合に0Jpよりも有意に増加し、WJp間でも重りの増加にともない増加する傾向がみられた(P<0.05)。

表3. 各局面ごとに算出した力積

区間	0Jp	WJp 1kg	3kg	5kg
T1-a間(%)	100	58.0±36.7	112.3±99.0	74.7±34.7
a-T2間(%)	100	108.8±6.2	112.2±12.2	115.0±8.7*
T1-b間(%)	100	93.6±40.7	95.0±13.5	87.3±16.5
b-T2間(%)	100	98.9±12.7	112.1±17.4	116.0±25.5
T1-c間(%)	100	90.8±45.4	104.1±35.8	101.8±42.7
c-T2間(%)	100	102.3±15.2	105.8±25.5	101.2±47.6
T1-d間(%)	100	90.3±11.4*	81.2±7.8*†	71.0±15.3*‡
d-T2間(%)	100	104.7±4.8	111.3±4.2*†	112.3±5.3*†

\*、†、‡:p<0.05

(注: \* は0Jp との有意差、† はWJpの1kgとの有意差、‡ はWJp の3kgとの有意差を表す)

表4に各試行における動作時間と各関節の動作開始時間を示した。動作時間は5kgWJpでは0Jpよりも有意に長くなった(P<0.05)。各試行での動作全体の時

間に対する各関節の動作時間および腕振り最下点の時間は試行間で有意差がなかった。

表4. 動作全体の時間と各関節の動作開始時点の比較

	0Jp	WJp 1kg	3kg	5kg
動作全体の時間(%)	100	106.6±15.5	118.2±17.6	126.0±14.0*
腕振り最下点(%)	65.1±2.1	63.8±4.6	67.0±3.5	67.6±2.9
hip(%)	64.1±14.4	64.9±7.6	65.2±9.8	63.0±10.1
knee(%)	68.1±12.5	71.0±9.1	72.0±5.8	72.1±7.7
ankle(%)	72.3±11.7	75.1±8.5	77.4±7.6	77.9±9.9

\*P<0.05

(注: 各関節の動き出しまでの時間は各試行における跳躍動作全体の時間に対する割合で算出した)

表5に各試行における角速度を示した. 各試行でのピーク値と平均値を求めたところ, 股関節のピーク角速度は, 5kgWJpは0Jpよりも有意に減少した. 平均の角速度をみると股関節においては, 3kgWJpと5kgWJpでは0Jpよりも有意に減少した(P<0.05).

表5. 各試行における角速度のピーク値および平均値

	0Jp	WJp 1kg	3kg	5kg
peak				
hip(%)	100	95.6±9.72	90.5±7.88	88.0±7.26*
knee(%)	100	97.8±5.77	101.4±7.13	97.0±5.64
ankle(%)	100	98.4±8.42	101.4±12.1	93.6±10.99
average				
hip(%)	100	90.8±7.60*	89.31±6.61*	85.6±7.13*
knee(%)	100	100.4±8.6	96.2±10.1	94.2±15.17
ankle(%)	100	100±8.31	99.84±15.84	101.72±25.17

\* : p<0.05

(注: \*は0Jpとの有意差を表す)

#### IV考察

本研究では, 手に3kgの重りを持った場合に跳躍高, 初速度, 力積が有意に増加した. 腕の振り上げ局面での力積は0JpよりWJpの方が大きくなったことから, 重りの効果は腕の振り上げによる鉛直地面反力の力積の増加によりもたらされた結果であった. また, 離地時の身体重心の垂直方向での初速度は以下の式で得られる.

$$mV_{\text{off}} - 0 = \int_0^{T_{\text{off}}} (Fz - mg) \cdot dt$$

$$(\text{力積: } I = \int_0^{T_{\text{off}}} Fz \cdot dt)$$

$$\therefore V_{\text{off}} = I/m - gT1$$

(m:質量, I:力積, g:重力加速度)

つまり、重りの重さは力積には有利に、また、初速度には不利に作用する (図3)。

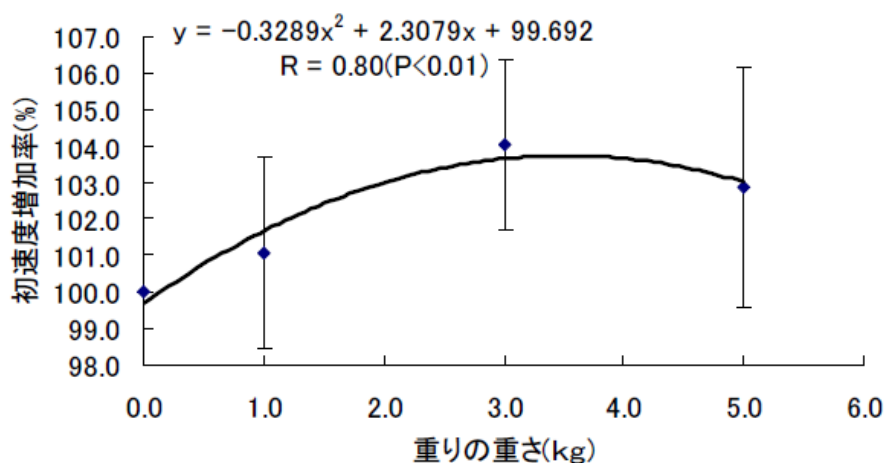


図3. 初速度増加率と重りの重さの関係

垂直跳びにおける腕振り動作の効果について検討した先行研究 (Herman et al. 1990とFeltner et al.1999)によると、腕挙上による慣性力の反作用が体幹の伸展速度を抑えることにより、身体重心上昇期後半で関節トルクを増加させ、それが跳躍高を上昇させると報告している。本研究では股関節伸展開始後の力積は重りの重量が増すほど増加し、股関節の平均角速度は重りの重量が増すほど低下していることから、重りを持つことで股関節伸展の力発揮が高まる可能性が考えられる。

また、足関節では重りを持つことで腕の振り上げ期(身体重心の上昇期)に圧力中心が前方に移動しトルクが増加している可能性が考えられる。

本研究の結果、全被検者の平均値は、両手で3kgの重りを持ったときに跳躍高が有意に増加したが、跳躍高が最大となった重量は被検者によって異なった。この原因は被検者の筋力や体格によって重りの相対的な重さに変化することが考えられる。また、股関節伸展開始後の力積や各関節の動き出すタイミングの変化は、負荷重量にかかわらず同じような傾向が見られた。原因についてより詳細に検討するためには、本研究で扱った関節角度、角速度変化や地面反力のみならず、

重りを持つことで筋活動、関節のトルク、身体の内臓全仕事量や身体各関節の内臓仕事量などのように変化するか知る必要がある。

## V. まとめ

本研究では、垂直跳びにおいて重りを持つことが跳躍動作にどのような影響を及ぼすか明らかにすることを目的とした。その結果をまとめると以下ようになる。

1. 3kgの重りを持った場合に跳躍高(8.3±4.8%)、初速度(4.0±2.3%)、力積(3.9±2.5%)が統計的に有意に増加した。
2. 重りを持つことで、動作中の股関節伸展の角速度が低下した。これにより、股関節、膝関節、足関節による鉛直方向の力発揮が高まったことで力積が増加し、跳躍高が伸びたと考えられる。

## VI. 参考文献

- Albert E.Minetti, Luca P.Aridigo(2002) : Haltres used in ancient Olympic long jump, Nature, 420(11), 141-142
- Anderson, F.C., and Pandy, M.G.(1993): Strage and utilization of elastic strain energy during



jumping, *J. Biomech.*, 26, (12), 1413-1427

- Bobbert, M.F., Gerritsen, K.G., Litjens, M.C., Van Soest, A.J. (1996): Why is countermovement jump height greater than squat jump height?, *Med. Sci. Sports Exerc.*, Nov. 28(11):1402-12
  - Feltner, M.E., Frascetti, D.J., Crisp, R.J. (1999): Upper extremity augmentation of lower extremity kinetics during countermovement vertical jumps, *J. Sports Sci.* 17, 449-466
  - Finni, T., Ikegawa, S., Komi, P.V. (2001): Concentric force enhancement during human movement, *Acta Physiol. Scand.*, 173, 369-377
  - Hay, J.G., Reid, J.G. (1988): *Anatomy, Mechanics and Human Motion*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall
  - Herman, E.A., Rosenstein, M.T., Frykman, P.N., Rosenstein, R.M. (1990): The effect of arms and countermovement on vertical jumping, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 22, 825-833
  - 深代千之, 平野裕一, 桜井伸二, 阿江通良 (2000): 動力学変数の測定, *スポーツバイオメカニクス*, 朝倉書店, 東京, pp95-97.
  - 福永哲夫編著 (2002): 9.5 筋のダイナミクス
- 9.5.2 圧力盤法, *筋の科学事典—構造・機能・運動*, 朝倉書店, 東京, pp438-443
- Lees, A. and Barton, G. (1996): The interpretation of relative momentum data to assess the contribution of the free limbs to the Generation of vertical velocity in sports activities, *J. Sports Sci.*, 14, 503-511
  - Minetti, A.E., Ardigo, L.P. (2002): Halteres used in ancient Olympic long jump, *Nature*, 420(14), Nov. 141-142
  - Yamazaki Y, Suzuki M, Okuwa T, Ito H, Mano T (1995): The influence of arm movements on a vertical jump, *Environmental Medicine*, 39(2), 153-156
  - Shetty, A.B., and Etnyre, B.R. (1989): Contribution of arm movement to the force component of a maximum vertical jump, *J. Ortho. Sports. Physi. Therapy*, 11, 198-201