

垂直跳びによるパワー評価の吟味

小林 一 敏 大 島 義 晴
小 田 博 美* 前 田 寛*

A Consideration of the Vertical Jump as a Test to evaluate a Power

Kazutoshi KOBAYASHI, Yoshiharu OSHIMA,
Hiromi ODA* and Hiroshi MAEDA*

The vertical jump, being practiced as one of the items in the physical test, has been generally used for the test to evaluate a human power. But nowadays, in the Vertical Jump Test¹⁾, the *POWER* is evaluated from only the result of height jumped, so the meaning of this *POWER* is not cleared. If this *POWER* is interpreted as a mechanical power, it is necessary to clarify the relation between the height jumped and the actual power generated in the vertical jump. Then, the first purpose of this study is to examine the correlations between the height jumped and each of the mechanical power and the other mechanical items measured from the force plate signals. Up to date, some formulas combined with the height jumped, the body weight and the time factor were presented to calculate the mechanical power approximately from the vertical jump test. These formulas are very convenient for estimating the mechanical power in the vertical jump, but it is still not confirmed whether the estimated power represents the actual power. So the second purpose of this study is to investigate the reliability of that power calculated from those formulas.

The results of this experiment are as follows.

- (1) There exists little relations between the height jumped measured by the chalk jump (H1) and the following: the maximal kick force, the mean of kick force, the rising gradient of acceleration of the center of gravity, the rising gradient of power, and the kick time. The relations of the elevation of the center of gravity (H2) with the items above mentioned were also little.
- (2) Each of H1 and H2 has high correlations with the maximal power and the mean of power.
- (3) Especially, the maximal power is closely related with the elevation of the center of gravity. The correlation coefficient is 0.794 ($p < 0.001$).
- (4) It is found that each of the values calculated from the formulas above mentioned have little correlation with the actual power.

* 筑波大学大学院修士課程体育研究科 (Master's Program of Physical Education, The University of Tsukuba)

1) The Physical Test by the Ministry of Education.

はじめに

従来、垂直跳びは、体力診断テストの中で、パワーのテストとして用いられている。

しかし、垂直跳びからどのような力学量が推定可能かということに対する詳細な吟味は少なく²⁾、⁷⁾、パワー推定の有効性についても、わずかに、石河⁶⁾、渋川⁸⁾、⁹⁾らがキック中に発現された力学的パワーと身体重心の鉛直変位との関係について報告しているのみで、現行の垂直跳びテスト(チョークジャンプ)から得られる跳躍高と力学的パワーの関係についての報告は皆無である。

また、Gray, R.K.³⁾、⁴⁾、小林⁵⁾、渋川¹⁰⁾らは、垂直跳びから力学的パワー(ここでは平均パワー)を推定する式を提示しているが、これらの式は、跳躍高、体重、身長からキック中の力学的パワーを容易に推定できるところに意義があると考えられる。しかし、これらの式から得られるパワーの推定値の信頼性については、いまだ検討されていない。

そこで、本研究では、第一に、現行の垂直跳び(チョークジャンプ)から高い相関をもって推定される力学量を検討し、第二に、パワー推定の検査法として垂直跳びを用いた場合、その測定結果からパワーを推定する Gray, R.K., 小林, 渋川らが提示した三式の有効性について吟味することを目的とした。

垂直跳によって評価しようとしているパワーは、主として脚の発揮するパワーと考えられるが、それを客観的に測定する方法として、キック中の地面反力の時間経過を考察するのは有効な手段と言える。そして、この地面反力は、身体重心の運動と密接な関係にある。従って、ここでは、垂直跳びの真の跳躍高として地面反力の測定から得られる重心の鉛直変位をとり、真のパワーとしては、同じく、地面反力から求められる重心の運動のためのパワーを考えることにした。

方法

本研究では、大学の運動部に所属している18才から26才までの男子学生53名を被験者とした(体質量: $\bar{X}=64.8\text{kg}$, S.D.=5.78kg, 身長: $\bar{X}=171.1$

cm. S.D.=4.68cm)。

また、垂直跳び(チョークジャンプ)は、上体の使い方や腕の振りなどに制限を加えず、あらかじめ数回練習した後、フォースプレート上で行なわせ、このときの跳躍高を計測した。同時に、フォースプレートから得られる床反力は、動ひずみ測定器で増幅し、直記式電磁オシログラフに記録した。この床反力の波形から立位静止時の重心位置を基準の「0」として、重心が最高点に到るまでの鉛直変位 H_2 (以後、重心変位と呼ぶ)を以下のように求めた。

F : 床反力の鉛直成分

a : 重心の鉛直加速度

v : 重心の鉛直速度

t_r : 足先が地面を離れる時間

v_r : 足先が地面を離れるときの重心の鉛直速度

S_m : 立位静止時の重心の位置を「0」とし、 t_r までの重心の鉛直変位

S_n : t_r から重心が最高点に達する時間までの重心の鉛直変位

m : 体質量

g : 重力加速度

P : パワーの鉛直成分

とすれば、床反力 $F=F(t)$ は、

$$F=ma+mg \quad (1)$$

とあらわせる。本研究では、この床反力 F を跳躍のキック力と考える。この式より、重心の加速度 a は、

$$a=\frac{1}{m}(F-mg) \quad (2)$$

となる。これを時間 t について t_r まで積分すると、 v_r, S_m が導かれる。すなわち

$$v_r=\int_0^{t_r}\frac{1}{m}(F-mg)dt \quad (3)$$

$$S_m=\int_0^{t_r}\int_0^{t_r}\frac{1}{m}(F-mg)dt^2 \quad (4)$$

また、(3)式を用いて

$$S_n=\frac{v_r^2}{2g} \quad (5)$$

が求まる。(4)・(5)より重心変位 H_2 を

$$H_2=S_m+S_n \quad (6)$$

とする。

次に、パワー $P=P(t)$ を以下のようにして求め

た。すなわち (2)より

$$v = \int_0^t \frac{1}{m} (F - mg) dt \quad (7)$$

この式と(1)式より

$$P = F \cdot v \quad (8)$$

となる。

さらに、フォースプレートの信号から得られた波形より、垂直跳びの跳躍高と関係が深いと思われる要素として以下のものを測定し、チョークジャンプによる跳躍高 H_1 と重心変位 H_2 との関係を見た。(図1参照)

- 1) キック時間 T : 重心が最も下がった時点から足先が床を離れるまでの時間
- 2) 単位質量あたりの最大キック力 $\left(\frac{F}{m}\right)_{\max}$
- 3) 単位質量あたりの平均キック力 $\left(\frac{F}{m}\right)_{\text{mean}}$:
キック時間 T の間の平均値
- 4) 重心の加速度の立ち上がり特性 $\left(\frac{\Delta a}{\Delta t}\right)_{0.1 \sim 0.9}$:
最大加速度の10%から90%に到る立ち上がり勾

配を $\frac{\Delta a}{\Delta t_1}$ として求めた。

- 5) 単位質量あたりの最大パワー $\left(\frac{P}{m}\right)_{\max}$
- 6) 単位質量あたりの平均パワー $\left(\frac{P}{m}\right)_{\text{mean}}$: キック時間 T の間の平均値
- 7) パワー $\frac{P}{m}$ の立ち上がり特性 $\left(\frac{\Delta P}{\Delta t}\right)_{0.1 \sim 0.9}$
最大パワーの10%から90%に到る立ち上がり勾配を $\frac{\Delta P}{\Delta t_2}$ として求めた。

結果と考察

表1は、チョークジャンプによる跳躍高 H_1 および重心変位 H_2 と前記した 1) から 7) の測定項目との間の相関関係を示したものである。そして、これらの項目について、それぞれの平均値と標準偏差を示したのが表2である。

チョークジャンプによる跳躍高 H_1 は、 $\left(\frac{F}{m}\right)_{\max}$ 、 $\left(\frac{F}{m}\right)_{\text{mean}}$ 、 $\left(\frac{P}{m}\right)_{\text{mean}}$ 、 $\left(\frac{\Delta P}{\Delta t}\right)_{0.1 \sim 0.9}$ との間

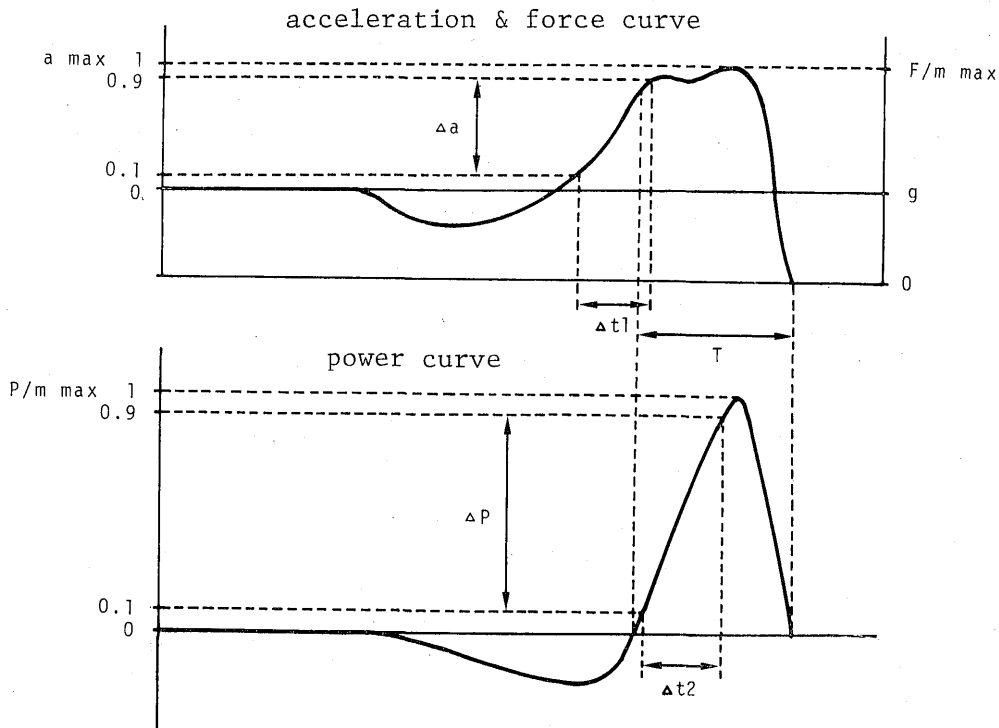


Figure 1. Items measured from acceleration, force and power curves are as follows; kick time: T , maximal kick force per unit mass: $(F/m)_{\max}$, mean of kick force per unit mass during T : $(F/m)_{\text{mean}}$, maximal acceleration of center of gravity: $(a)_{\max}$, rising gradient of acceleration: $(\Delta a/\Delta t)_{0.1 \sim 0.9} = \Delta a/\Delta t_1$, maximal power per unit mass: $(P/m)_{\max}$, mean of power per unit mass during T : $(P/m)_{\text{mean}}$ and rising gradient of power: $(\Delta P/\Delta t)_{0.1 \sim 0.9} = \Delta P/\Delta t_2$.

Table 1, Correlation coefficients among the following items: height jumped measured by chalk jump (H_1), elevation of center of gravity (H_2), maximal kick force per unit mass (F/m) max, mean of kick force per unit mass (F/m) mean, rising gradient of acceleration $(\Delta a/\Delta t)_{0.1\sim 0.9}$, maximal power per unit mass (P/m) max, mean of power per unit mass (P/m) mean, rising gradient of power $(\Delta P/\Delta t)_{0.1\sim 0.9}$ and kick time (T).

| | $(\frac{F}{m})_{max}$ | $(\frac{F}{m})_{mean}$ | $(\frac{\Delta a}{\Delta t})_{0.1\sim 0.9}$ | $(\frac{P}{m})_{max}$ | $(\frac{P}{m})_{mean}$ | $(\frac{\Delta P}{\Delta t})_{0.1\sim 0.9}$ | T |
|----|-----------------------|------------------------|---|-----------------------|------------------------|---|-------|
| H1 | .374** | .286* | .196 | .691*** | .585*** | .289* | -.023 |
| H2 | .255 | .232 | .152 | .794*** | .604*** | .204 | .145 |

***: 0.1% level of significance, **: 1% level of significance, *: 5% level of significance

Tabl 2 Means and Standard Deviations of the items in Table 1.

| | Mean | Standard Deviation | |
|---|--------------------|--------------------|-------|
| H1 | m | 0.541 | 0.065 |
| H2 | m | 0.534 | 0.088 |
| $(\frac{F}{m})_{max}$ | N/Kg | 25.9 | 2.12 |
| $(\frac{F}{m})_{mean}$ | N/Kg | 20.7 | 1.63 |
| $(\frac{\Delta a}{\Delta t})_{0.1\sim 0.9}$ | m/sec ³ | 1.01 | 58.9 |
| $(\frac{P}{m})_{max}$ | W/Kg | 60.5 | 7.29 |
| $(\frac{P}{m})_{mean}$ | W/Kg | 31.6 | 4.07 |
| $(\frac{\Delta P}{\Delta t})_{0.1\sim 0.9}$ | W/Kg·sec | 3.49 | 93.9 |
| T | sec | 0.27 | 0.04 |

に有意な相関係数が得られ、それぞれ、 $r = .374$ ($p < .01$), $r = .286$ ($p < .05$), $r = .691$ ($p < .001$), $r = .585$ ($p < .001$), $r = .289$ ($p < .05$)であった。また、重心変位 H_2 は、 $(\frac{P}{m})_{max}$, $(\frac{P}{m})_{mean}$ とに有意な相関が認められ、それぞれ、 $r = .794$ ($p < .001$), $r = .604$ ($p < .001$)の値を得た。しかし、 H_1 , H_2 とも、 $(\frac{\Delta a}{\Delta t})_{0.1\sim 0.9}$, T との間には有意な相関関係は認められなかった。

ただし、この結果の中で、 H_1 と $(\frac{F}{m})_{max}$, $(\frac{F}{m})_{mean}$, $(\frac{\Delta P}{\Delta t})_{0.1\sim 0.9}$ との間で得られた相関は、統計学的には有意な値であるが、それらの相関係数から得られる決定係数 r^2 は、それぞれ .140, .082, .084 となり、相互間の推定には不十分であり、低い相関しかない。

分であり、低い相関しかない。

この点、 $(\frac{P}{m})_{max}$, $(\frac{P}{m})_{mean}$ は、ともにチャークジャンプによる跳躍高 H_1 , 重心変位 H_2 との間に 0.1% 水準で有意な相関があり、とくに $(\frac{P}{m})_{max}$ では、 H_1 と $r = .691$, H_2 と $r = .794$ の高い相関が得られている。

最大パワーについては、渋川¹⁰⁾も重心の鉛直変位と単位重量あたりの最大パワー $(\frac{P}{W})_{max}$ との間に $r = .7$ の相関のあることを示しており、平均パワーについても、石河⁹⁾らがリープメーターを使用して垂直跳びの実験を行ない、そのときの頭部の変位を重心の変位に換算して、この重心変位とキック中の平均パワーとの間に $r = .74$ の相関が認められたことを報告している。これらの報告は、本実験と跳び方、被験者の点で違いはあるが、ともに重心の鉛直変位とパワーとの間に有意な高い相関関係を見出している。

さらに、本実験の結果では、チャークジャンプによる跳躍高 H_1 , 重心変位 H_2 とも、 $(\frac{P}{m})_{max}$ の相関が $(\frac{P}{m})_{mean}$ の相関に比べ高く、かつ、 H_1 , H_2 を比較すると、 H_2 の方がパワー (とくに $(\frac{P}{m})_{max}$) との間に高い相関関係を示す結果が得られた。

これらの結果は、垂直跳びの跳躍高からキック中に発現される力学的パワーを推定することが高い相関で可能なことを示すものであると考えられる。

これに対し、実験的検証はしていないが、Adamson, G.T. らは¹⁾、キック中に発揮される力積は、足が地面を離れるときの重心の初速に関係があり、それは直ちに、重心の鉛直変位に結びつくという考察に基づき、垂直跳びから力学的パワーを評価することに批判的であり、力積を瞬発力のパラメーターにすべきであると主張している。

しかし、パワーは、身体のエネルギー発現能力や効率を考える場合の指標としては重要な要素であると考えられる。もちろん、パワーは、跳躍高だけから直接求めることはできないが、本実験では重心変位 H_2 と $\left(\frac{P}{m}\right)_{\max}$ との間に、 $r=.794$ の高い相関が得られている。このことは、垂直跳びテストの中で力学的パワーを一つの評価要素として取りあげることの妥当性を示すものであると考える。

また、野村ら⁷⁾は、チョークジャンプによる跳躍高と床反力から得られた力積との間に、 $r=.740$ の相関のあることを報告しているが、今回、本実験では、チョークジャンプによる跳躍高と $\left(\frac{P}{m}\right)_{\max}$ との間に $r=.691$ の相関を得ており、これらの値の間に有意な差はなかった。このことより現行の垂直跳びテストに関する限り、先の Adamson, G.T. らの指摘が必ずしも妥当であるとは思われない。

次に、垂直跳びのテストから、キック中の平均パワーを近似的に算出する試みが、これまで幾つかなされているが^{2), 5), 10)}、この点について考察をすすめてゆく。

渋川¹⁰⁾は、キック中の重心の加速度を一定として、垂直跳びの測定値から近似的にキック中の平均パワーを求める次式を提示した。

$$\bar{P} = W \cdot \sqrt{\frac{gH}{2}} \left(4 \frac{H}{L} + 1 \right) \quad (9)$$

ただし、 W は体重、 H は跳躍高、 L は身長である。

Gray, R.K. ²⁾は、“Vertical Power Jump” と称するテスト法を提案し、同じく、キック中の重心の加速度が一定という仮定のもとに、次の式を導き、平均パワーが求められることを述べている。

$$\bar{P} = \frac{W(h_1+h_2)}{h_1} \cdot \sqrt{\frac{gh_2}{2}} \quad (10)$$

(10)式の中で、 W は体重、 h_1 は跳躍開始時のスクワットの姿勢の重心位置から、つま先立ちをしたときの重心位置までの変位^{注)}であり、 h_2 は、このつま先立ちの重心位置から重心が最高位に達するまでの変位^{注)}である。

(9), (10)式によって平均パワーを求める過程で、渋川と Gray, R.K. が異なる点は、渋川がキック中の重心変位を身長/4⁵⁾ と仮定しているのに対し Gray, R.K. は、この間の重心変位を近似的に測定していることである。しかし、ともにキック中の重心の加速度が一定という条件のもとにパワーを求めているので、キック中のパワーは時間に比例して増加する。そして、その変化は、ノコギリ波状の変化を示すので、求められた平均パワーは、最大パワーの 1/2 となる関係にある。

小林ら⁵⁾も、キック中の重心の加速度 a を、 $a=t(at+\beta)$ 、ただし、 α, β は定数という仮定をし、垂直跳びにおける平均パワーを求める以下の式を導いた。

$$\bar{P} = 5.38M(4h+S) \quad (11)$$

M は体質量、 h は跳躍高、 S は身長である。

しかし、(9), (10), (11)式から求まる平均パワーは近似値であり、これらの値が、キック中に発揮される真のパワー値をどの程度再現しうるものかどうかの検討はなされていない。

そこで、(9), (10), (11)式の現行の垂直跳びテストに対する実用的有効性を検討するために、本実験のデーターを用いて、これら三式から求められる平均パワーと床反力から得られた $\left(\frac{P}{m}\right)_{\text{mean}}$ との比較を行なった。

ただし、(9)式の H 、(11)式の h は、本実験で計測されたチョークジャンプによる跳躍高 H_1 の値を用い、(10)式の h_1, h_2 については、Gray, R.K. の式が、力学的には跳躍時の腕の振りや体の沈み込みなどの予備的動作以後にあらわれる跳躍動作の上昇過程の平均パワーを求めている式に相当すると考えられるので、 h_1 は重心が最も下った時点

注) ここではあらかじめ、直立姿勢の重心位置を測定し、ここにマークを付し、そのマークの変位を計測している。

から、足がフォースプレートを離れるまでの重心の鉛直変位を求めて代入し、 h_2 には、(5)式より求められた S_n の値を使った。

結果は次の通りである。

(9)、(10)、(11)式により求められる平均パワーを単位質量あたりの平均パワーに換算して、本実験の被験者について、各々平均値を算出してみると、(9)式によって求められるパワーの平均は 36.44 W/kg、(10)式では 25.99 W/kg、(11)式では 20.92 W/kg であり、値にかなりバラツキがみられる。床反力より得られた $\left(\frac{P}{m}\right)_{\text{mean}}$ の被験者53名の平均が31.62 W/kg であるので、(9)式によって得られる値は、平均値でみると床反力からの値より 4.82 W/kg 大きく、(10)、(11)式によって求められたパワーは、逆に床反力からの値よりも、それぞれ 5.63 W/kg、10.70 W/kg 小さい値を示している。そして、これら平均値間の差は有意である。

(9)式と(11)式によって求まるパワー値の違いは、ともにチョークジャンプによる跳躍高をそれぞれの式の跳躍高として用いているので、重心の加速度が一定という仮定と加速度が放物線的に変化するという仮定の違いによるものと思われる。

また、(9)、(10)、(11)式により近似的に求められるパワー値の $\left(\frac{P}{m}\right)_{\text{mean}}$ に対する標準誤差をみると、それぞれ、6.16 W/kg、5.98 W/kg、7.28 W/kg となり、キック中に発現される真の平均パワーを予測するには、いずれもその誤差の大きいことを認めざるを得ない。

この結果は、(9)、(10)、(11)式のいずれも、キック中の重心の加速度変化にある一定の仮定をしているのに対し、実際の重心の加速度の変化はさまざまであり、かなり個人差のあることに原因していると思われる。また、(9)・(11)式の中で、キック中の重心変位を身長/4 にしている仮定は、本実験でもキック中の重心変位と身長との比に、 $\bar{X}=0.26$ 、 $S.D.=0.04$ という値が見い出せたことから、ほぼ妥当な仮定と考えられる。

いずれにしても、現在行なわれている垂直跳びのテストでは、上体の使い方や腕の振り方などに制限がなく、このテスト法で得られた跳躍高を前述した近似式に適用してゆくことは難しい。

事実、Gray, R.K. は、(10)式を用いて、キック中の平均パワーを算出するために、垂直跳びの跳び方に制限を加えている。

垂直跳びによって評価しようとしているパワーは、主として脚の発揮するパワーであると考えられるならば、脚の伸展動作のみで、垂直跳びを行なわせるのも一つの方法であり、跳び方に制限を加えることによって、キック中の重心の加速度の変化パターンにみられる個人差も小さくなることが推測されるので、⁹⁾ 垂直跳びのテスト法の改良によっては、(9)、(10)、(11)式のような跳躍高からのパワー推定式の有効性も高くなると考えられる。

まとめ

本研究の結果を要約すると次の通りである。

- 1) チョークジャンプによる跳躍高は、単位質量あたりの最大キック力、平均キック力、重心の加速度の立ち上り勾配、パワーの立ち上り勾配およびキック時間のいずれとも低い相関関係にあった。立位静時の重心位置から重心が最高点に到るまでの重心の鉛直変位（以下、重心変位と呼ぶ）と上述の諸因子との間の相関関係も、同様に低い値を示した。
- 2) チョークジャンプによる跳躍高と重心変位はともに、単位質量あたりの最大パワーおよび平均パワーとの間に、0.1%水準で有意な高い相関があった。

とくに、重心変位と単位質量あたりの最大パワーとの間には、 $r=.794$ の高い相関係数が得られた。

これは、垂直跳びテストの中で、力学的パワーを一つの評価要素として取りあげることの妥当性を示すものである。

- 3) 垂直跳びから近似的にパワーを求めるために、渋川、Gray, R.K.、小林らが提示した式は、現在行なわれているテスト法の中で応用する限り、真のパワー値を推定する信頼性は低いと考えられる。

参考文献

- 1) Adamson, G.T. and R.J. Whitley, "Critical Appraisal of Jumping as a Measure of Hu-

- man Power." **Medicine and Sports**, Vol. 6: Biomechanics II, pp 208-211, 1967.
- 2) Ginette, H. and J. Damoiseau, "Relations between Performance in High-Jump and Graph of Impulsion." **Medicine and Sports** Vol. 8: Biomechanics III, pp. 417-425, 1973.
 - 3) Gray, R.K., K.B. Start and D. J. Glencross, "A test of leg power." **Res. Quart.**, 33 (1) : 44-50, 1962
 - 4) Gray, R.K., K.B. Start and D.J. Glencross, "A usefull modification of the vertical power jump." **Res. Quart.**, 33(2) : 230-235, 1962.
 - 5) 久内武, 小林一敏「児童, 生徒の体格, 運動能力と跳躍運動の力学的関係」順天堂大学体育学部紀要, 7:11-13, 1964
 - 6) 石河利寛, 正木健雄「垂直跳に関する研究」**体育学研究** 2-7: 204, 1954
 - 7) 野村治夫, 岩田敦「跳躍における荷重とスピードの関係について」**身体運動の科学 I-Human Power の研究**, キネシオロジー研究会編:第1版 pp.99-110, 杏林書院, 1975
 - 8) 渋川侃二, 春山国広, 三浦望慶「垂直跳のパワーについて」**体育学研究**, 11-1: 201, 1966
 - 9) 渋川侃二, 春山国広「垂直跳びの力学 (第1報)」**東京教育大学スポーツ研究所報** 3: 52-58, 1965
 - 10) 渋川侃二, **運動力学**.第7版 pp.246-258, 大修館, 1976