

原著論文

デジタルカメラ、パーソナルコンピュータを利用したスポーツ
分析（垂直跳びのパワー測定）について

**Analysis of mechanical power in vertical jump for sports,
using digital camera and personal computer**

玉木 啓一

Keiichi TAMAKI

Abstract

The purpose of present study was to examine advance of new measurement method of power output during vertical jump. The advance of new method was simple and inexpensive by using digital camera and personal computer. The data obtained by new method was reliable to compare with power output on bicycle ergo-meter. The data is useful for sports coaching.

Key words : mechanical power, vertical jump, digital camera, personal computer

I はじめに

スポーツ指導において、スポーツ現象を客観的に捉え分析することは非常に有用である。スポーツ現象の分析は従来より、高価な測定機器を備える大学や研究所などで専門家の手によってなされてきた。しかしながら、実際に選手に指導を行う指導者が自分の選手の動きなどを分析、把握して指導に活かすことは困難であり、指導者の主観的な分析に頼ることが多い。優れた指導者の主観的な分析は、大学などの専門家が行う客観的な分析を超える部分が多いことは否定できないが、スポーツの発達のためには、客観的な分析によるスポーツ現象の把握が重要であろう。現場の指導者が高価な測定機器を利用し選手の測定を行うことは実際には不可能といてよい。最近20年のコンピューターをはじめとするデジタル機器の発達は、その性能を飛躍的に向上させ、20年前には数百万円以上であった動作分析などを可能にする高速度のビデオ撮影装置も、個人購入可能なデジタルカメラ等でその機能を代用できる製品が発売されている。特にここ数年で、従来より解像度が高いハイビジョンで撮影ができる物が安価で購入できるようになった。以前著者は¹⁾、市販のビデオカメラを用いた動作解析について検討を加えたが、現在では、当時の倍の毎秒60コマで撮影できる製品もあり、ヒトの動作解析において実用性も向上したと思われる。

デジタルカメラなどの動画機能を用いれば、スポーツ動作の記録が可能である。その動画から、指導者が指導に活かす情報を主観的に取り出すことでも十分指導に役立てることはできるだろうが、客観的な分析を通して力学的なパラメータを示すことは、スポーツ技術の普遍化、指導の説得力の向上などに有意義なことである。

垂直跳びは、我が国の文部省の体力測定として長年実施されてきた。新体力テストになり、その実施の一般性は減少したかもしれないが、未だにスポーツにおいて「ジャンプ力」としその有用性は高い。垂直跳びは、身体の特定位が、立位姿勢からどれだけ上昇したかで測定されることが多いが、フォースプレートなどを用いて床反力を計

測すれば、重心の上昇高として計測することもでき、人体のパワー出力の測定方法の一つとして利用されてきた。しかしながら、フォースプレートは、高価な測定機器であり、スポーツ指導者が容易に利用できる物ではない。フォースプレートを用いて重心高を求めるときには、床への力積を計測し、重心上昇速度を算出する。しかし、力学的パラメータを計測しなくても、ヒトが床から離れた瞬間から再び着地するまでを動画で観察することにより滞空時間を求めることができ、高価な測定機器を用いなくても重心高を求めることは可能である。さらに、一般的な垂直跳びの測定に加えて、踏切動作時に着目することにより、動画から有用な指標を得ることが期待できる。

そこで、本研究の目的は、個人で入手が比較的容易なデジタルカメラとパーソナルコンピュータを利用して、ヒトの垂直跳びのパワーを算出し、その値の妥当性を検討することとした。

II 方法

垂直跳びにおけるパワー計測

三脚に固定したデジタルカメラ（デジタルムービーカメラ：DMX-CA9、三洋電機株式会社）で、垂直跳びを側方から撮影した（解像度640×480、毎秒59.94コマ）。カメラから跳躍者までの距離は数m程度とした。足部から腰部は、確実に画面に入るように撮影した。撮影した動画は、メモリカードを介してパーソナルコンピュータに入力し、動画閲覧ソフト（QuickTime Player: アップル社）にて再生し後述するパラメータを得た。本研究でのパーソナルコンピュータの解析環境は、Windows7（マイクロソフト社）であったが、利用した動画閲覧ソフトは、他のバージョンのオペレーティングシステムや、他の代表的なオペレーティングシステムでも利用可能であり、実質上現在利用されているパーソナルコンピュータのほとんどで解析可能である。

図1に示したように、踏み切り動作時にもっとも深く膝関節が屈曲した時点（A姿勢）から、足が床から離れる瞬間（B姿勢）までのコマ数をコマ送りによりカウントした。また、踏切から着地

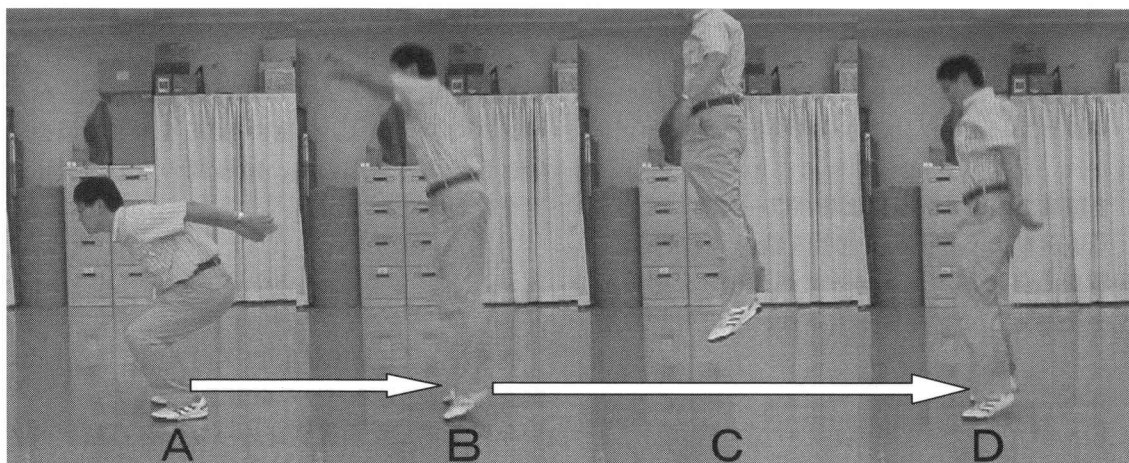


図1 撮影画像例 A: 膝関節最屈曲位 B: 踏み切り C: 空中姿勢 D: 着地
A-B: 踏み切り動作期 (接地期) B-D: 跳躍期 (滞空期)

まで (B姿勢→D姿勢) のコマ数もカウントした。踏み切り時のコマ数 (A→B) と、滞空時のコマ数 (B→D) は、毎秒 59.94 コマで撮影されているので、そのコマ数を 59.94 で除することにより時間 (秒) に換算できる。前者を床に力を及ぼす接地時間 (T_c) し、後者を滞空時間 (T_{air}) とした。また、踏み切り速度と着地時の落下速度は、踏み切りと着地時の重心の高さが同じ (踏み切り姿勢と着地姿勢が同じ) であれば T_{air} の半分に時間での自由落下速度となる。今後の計算のため、 T_{air} の半分の時間を T とする。

$$T_c = \text{ABのコマ数} \div 59.94$$

$$T_{air} = \text{BDのコマ数} \div 59.94$$

$$T = T_{air} \div 2$$

跳躍高 (重心の上昇高: H_j) は、時間 T での自由落下の距離となるので、重力加速度を g とすると。

$$H_j = 1/2 g T^2$$

となる。また、踏み切り速度 (V) は、時間 T での自由落下の速度になるので、

$$V = g T$$

となる。

垂直跳びのパワーの計算は、以下のように行った。

跳躍者が行った仕事 ÷ 実施時間

跳躍者が行った仕事は、跳躍による位置エネルギー (W_j) と踏み切り動作時の重心上昇の位置

エネルギー (W_c) との和として求めることができる。この仕事を踏み切り動作の時間 (T_c) で行ったので、垂直跳びのパワー (P) は以下の計算式となる。また、位置エネルギー計算のための質量 (m) は、跳躍時の服装での体重 (kg) とした。

$$P = (W_j + W_c) \div T_c$$

跳躍による仕事 (W_j) は、

$$\begin{aligned} W_j &= mg H_j \\ &= mg 1/2g T^2 \\ &= 1/2mg^2 T^2 \end{aligned}$$

W_c の計算は、跳躍動作 (膝関節の伸展開始から踏切まで) 時に、重心上昇速度は直線的に増加^{2), 3)}するので、静止状態から踏み切り速度まで T_c 秒で加速したとすると、踏み切り動作時の平均重心上昇速度は踏み切り速度の半分となる。したがって、この速度と T_c の積が踏み切りの重心上昇高 (H_c) となり W_c は以下ようになる。

$$\begin{aligned} W_c &= mgH_c \\ &= mg 1/2 V T_c \\ &= 1/2 m g g T T_c \\ &= 1/2 m g^2 T T_c \end{aligned}$$

よって、垂直跳びのパワーは、

$$\begin{aligned} P &= (W_j + W_c) \div T_c \\ &= (1/2 m g^2 T^2 + 1/2 m g^2 T T_c) \div T_c \\ &= 1/2 m g^2 T (T + T_c) \div T_c \end{aligned}$$

となる。本研究では、 $g=9.8m/秒^2$ として計算

した。

以上の分析方法を用いて、被験者に全力で垂直跳びを行わせ、デジタルカメラによる撮影とパーソナルコンピュータによる分析を行った。

自転車エルゴメータによるパワー測定

垂直跳びのパワーの妥当性を検討するために、短時間の自転車エルゴメータペダリング中のパワーを測定した。パワー測定は、渋川ら⁴⁾の測

定原理に基づき、摩擦負荷式の自転車エルゴメータ（ERGOMEDIC 818：モナーク社）を改造したパワー測定システム⁵⁾を用いて測定した。ペダリング時の負荷は、体重に0.075を乗じた値を用い、音による合図の後、10秒間の全力ペダリングを行わせた。

III 結果

健康な女子短期大学生12名が実験に参加した。垂直跳びにおけるパワーを表1に示した。

今回測定した垂直跳びのパワーを自転車ペダリング時のパワーと比較するために、10秒間のペダリングのパワーを0.05秒ごとにチェックし、瞬間の最大値をピークパワーとして、垂直跳びのパワーとの比較を図2として示した。

垂直跳びのパワー検討のため、10秒間自転車ペダリングパワーの総仕事量を総時間で除したものの（平均パワー）と垂直跳びのパワーを、図3に示した。

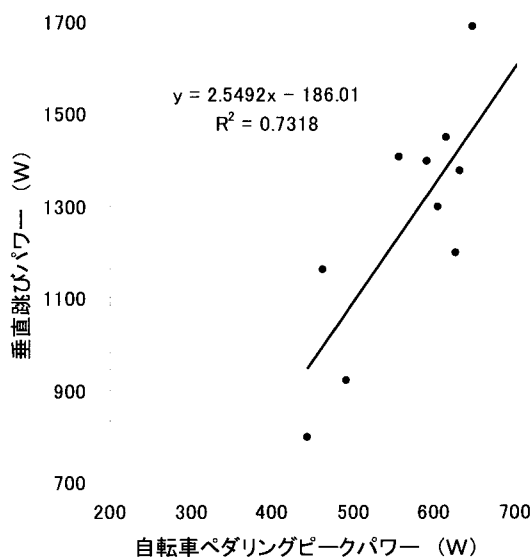


図2 自転車ペダリングピークパワーと垂直跳びのパワー

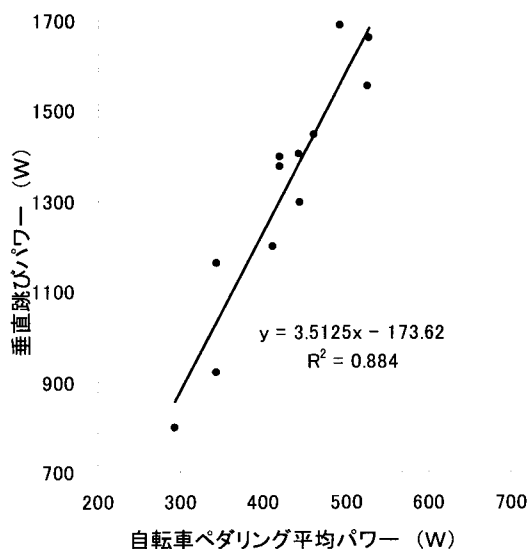


図3 自転車ペダリング平均パワーと垂直跳びのパワー

表1 被験者および垂直跳び分析結果

被験者	体重 (kg)	跳躍高 (m)	パワー (W)
A	56.4	0.371	1374
B	49.6	0.230	921
C	57.5	0.394	1688
D	42.7	0.196	797
E	46.2	0.349	1161
F	60.0	0.442	1661
G	59.1	0.349	1298
H	56.5	0.287	1197
I	52.2	0.349	1397
J	57.3	0.371	1554
K	58.8	0.287	1405
L	61.5	0.267	1447
平均値	54.8	0.324	1325
標準偏差	5.9	0.071	272

IV 考察

本研究で測定した垂直跳びの力学的な分析についての検討を行う。表1に示した跳躍高は、通常

の垂直跳びの測定結果と比較して低いと感じられる。しかし、この原因は測定方法の相違によるものと考えてよい。従来の垂直跳びの計測方法は、直立立位姿勢から、身体のある部位が跳躍時にどれだけ上昇したかを計測するものである。身体が地面から離れる前に、つま先立ちになることによって10cm以上の重心上昇が考えられる。さらに、手の指先で計測する方法では、跳躍前に地面と水平であった両肩が、跳躍時に斜めになり跳躍高を本研究の方法に比較してさらに高めることが考えられる。本研究と同様の計測方法の先行研究⁶⁾では、ナショナルチームの男子バレーボール選手の値でも43cm程度の低い値になっている。先行研究でのジャンプの方法と本研究での方法は異なる(本研究でのジャンプの方法が高く跳べる)が、著者が行った検証では、その差は10cm程度であり、身体の大きなバレーボール選手が従来の方法で跳躍したなら80cm前後の値と予想され、本研究での跳躍高は妥当と考えてよい。

本研究では、フォースプレートのような高額な測定機器を用いなくても、実験室で測定するようなパワーを得ることができるかの検証が重要である。本研究での測定では、踏み切り時の姿勢と着地時の姿勢が同じであることが前提となる。しかし、実際には両姿勢が腕の位置を含めて全く同じである保証はない。しかしながら、着地時に尻もちをつくなどのジャンプは測定時にすぐ判断でき、腕の位置などによる重心高の変化はわずかであり測定精度を大きく損ねるものではないと考えてよい。この点においては、実験室での測定でも同様に起こりうる測定誤差である。

垂直跳びのパワーの計算においては、地面を押している時間を計測する必要がある。フォースプレートを用いた測定では、直接地面反力を測定できるので、体重以上の力がかかっている時間を直接計測可能である。本研究での測定では、膝関節が最も屈曲した時点から足が床から離れた時点までの地面を押している時間と推定して計算している。目視による膝の動きの判断は容易であるが、実際に地面を押しているかどうかのデータを収集しているわけではない。測定結果の検証のために、十分な休憩を置いて自転車エルゴメータでのパ

ワー測定を行い検討した。

図2および図3は、垂直跳びのパワー出力と、自転車ペダリングのパワー出力との相関をみたものである。垂直跳びから算出したパワーと、自転車ペダリングでのピークパワーとの相関係数は、0.855 ($p<0.001$)、平均パワーとの相関係数は0.940 ($p<0.001$)であり、両者とも有意に高い相関が得られた。外部に発揮されたパワーを直接的に測定する方法である自転車エルゴメータのパワーの結果と非常に高い相関が得られたことは、今回の垂直跳びからのパワー算出方法は、動作遂行時間を直接測定してはいないが十分に信頼できる結果であると考えてよい。

垂直跳びの踏み切り動作時間(T_c)は、0.2~0.3秒程度であったので、自転車ペダリングでの結果のピークパワーと高い相関がみられるのではないかと予想したが結果は逆で、10秒間にわたって出力し続けたパワー(平均パワー)との相関が高かった。この原因は、自転車エルゴメータ負荷が、摩擦抵抗のみではなく、動輪を回転させる負荷も含まれていることに起因したのだろう。二つの負荷が、今回の女子の被験者にとって相対的に重い負荷となり、ペダリング技術の差により、本来の筋能力を十分に発揮できなかったためと考えられる。平均パワーのほうが、持続力の要素も加味されるが、被験者本来持つ筋の能力を反映できた値であるために高い相関が出たと考える。

自転車ペダリングのパワーは、ピークパワーで $593 \pm 91W$ 、平均パワーで $427 \pm 73W$ であった。これらの値は、表1の垂直跳びのパワーに比較して半分以下である。この差異の原因は、今回の被験者が自転車の選手ではなく、ペダリング時に両足を利用して(ペダルを踏むと同時に、他側ではペダルを引き上げて)ペダルに回転力を与える技術ももっておらず、片足で交互にペダルを漕いでいる。つまり、左右を交互に利用して片脚だけでパワーを発揮している。したがって、瞬間のピーク値および平均パワーでは、片脚で発揮したパワーを示していると考えてよい。一方、垂直跳びは、両脚同時にパワーを発揮した結果である。このことが、垂直跳びの測定値が自転車ペダリング時のパワーよりも大きかった原因であろう。さ

らに自転車ペダリングでは、ペダルからチェーンとギヤを介して力が伝えられた動輪の回転からパワーを算出している。この部分での機械的な伝達ロスも両者の差異を広げた理由であろう。

本研究で行った、垂直跳び動作を動画撮影し、そこからパワー出力を算出する方法は、単純な方法であるがゆえに、測定機械のメカニカルな伝達ロスもなく、スポーツ指導者個人レベルで、測定用の機材も入手可能であり非常に有用性の高い方法である。

本研究でのパワー測定法は、実験室レベルで行う測定に比較して、簡便であり有用性も確認された。しかしながら、従来我が国で実施されてきた、垂直跳びの測定がより簡便であり、従来の垂直跳びと比較したスポーツに対するメリットを検討してみる必要がある。

従来の垂直跳びは、跳躍高を示すものである。一般的には跳躍高のみで体力要素の瞬発力を評価することには十分であると思われる。しかしながら、スポーツ指導において、パフォーマンスに直結する情報を得ることが重要である。本研究の12名の結果の上位2名を比較すると、パワーでは被験者Cが最高値であったが、跳躍高では被験者Fが最高値であった。従来の方法では、跳躍高が高く、体重も大きいFの選手が一番パワーの高い選手となる。両者は、同じスポーツ選手ではないので、これ以上の議論はできないが、測定値と実際のプレーとに、ギャップを感じることは時折みられる。

このギャップの例として、全国レベルの大会で優勝したパフォーマンスの高い男子テニス選手の例を思い出す。この選手の垂直跳びの測定値は凡庸なものであった（跳躍高60cm程度）。本人も垂直跳びに苦手意識を持っていたが、試合においては、十分なパフォーマンスを発揮していた。本研究の方法で測定すると、跳躍高は高くないものの、踏み切り動作の時間(Tc)が短く、一回のキックで大きな重心移動はできないかもしれないが、短い時間で身体移動が開始できテニスのプレーには不都合がない、むしろ結果的に素早くボールの落下地点に移動できる身体能力を有していたと考えられる。このことから、本研究のパワー測定

は、従来の垂直跳びの測定よりも、スポーツ現場へのより多くの情報を提供しうる方法であり、スポーツ指導に役立つ有効性も高いと考えられる。

V 結論

デジタルカメラおよびパーソナルコンピュータを利用して垂直跳びのパワーを算出する方法は、簡便でなおかつスポーツ指導に有用な情報を得ることができる。

VI 要約

指導者が活用可能な市販のデジタルカメラやパーソナルコンピュータを利用して、ヒトの垂直跳びのパワー算出の妥当性と有用性を検討した。

パワー算出の機材は、個人所有が可能なものであり、スポーツ指導者にとって活用可能なものである。

測定、および分析も以下のように簡単である。

1. 垂直跳び動作を撮影する。
2. 膝関節が最も屈曲した時点から、踏み切りまでのコマ数をカウントする。
3. 上記のコマ数から、床を押した時間 (Tc) を算定する。
4. 踏み切りから着地までのコマ数をカウントする。
5. 上記のコマ数から滞空時間を計算し、その半分の値をTとする。
6. 跳躍時の服装での体重 (kg) を測定する。この値をmとする。
7. 跳躍高 (m) は、以下の式で計算できる。
$$\text{跳躍高} = 1/2 g T^2$$
8. パワー (W) は、以下の式で計算できる。
$$\text{パワー} = 1/2 mg^2 T (T + Tc) \div Tc$$
ここで g : 重力加速度 (9.8 m/秒²)

本研究のパワー算出は、簡便でなおかつスポーツ指導に有用な情報を得ることができる。

【参考文献】

- 1) 玉木啓一：8mmVTR とパーソナルコンピューターを用いた動作分析の検討、武蔵丘短期大学紀要、2：115-119、1994
- 2) Asmussen E, Bonde-Peterson F：Storage of elastic energy in skeletal muscles in man, *Acta Physiol Scand* 91：384-392, 1974
- 3) Bosco C, Luhtanen P, Komi P.V.：A simple method for measurement of mechanical power in jumping, *Eur J Appl Physiol* 50：273-282, 1983
- 4) 渋谷侃二、斎藤真一、井田時子：自転車エルゴメータの慣性とそれが及ぼす影響、教育大学スポーツ研究所報、10：61 - 67、1959
- 5) 富田寿人、武藤貴雄、吉野貴順、玉木啓一、加藤和彦、星川秀利、石原啓次、野坂俊弥、玉真昭男：スピードスケート・ショートトラック・ナショナルチームの無酸素的能力と氷上滑走能力の推移 -長野・オリンピックからソルトレイク・オリンピックまで-、静岡理工科大学紀要、10:113-129、2002
- 6) Komi P.V, Bosco C：Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women, *Med Sci Sports* 10：261-265, 1978