

昭和57年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. VIII 脚の伸展パワーに関する研究 (第3報)
—垂直跳における跳躍高と踏切時の力学量の関係
について (その2)—

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes the need for transparency and accountability in financial reporting.

2. The second part of the document outlines the various methods and techniques used to collect and analyze data. It includes a detailed description of the experimental procedures and the instruments used.

3. The third part of the document presents the results of the study, including a comparison of the different methods and techniques. It also discusses the limitations of the study and the need for further research.

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes the need for transparency and accountability in financial reporting.

昭和57年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. VIII 脚の伸展パワーに関する研究 (第3報)

—垂直跳における跳躍高と踏切時の力学量の関係 について (その2)—

報告者 (財)日本体育協会スポーツ科学研究所

金子 敬二 黒田 善雄 塚 越 克己
雨宮 輝也 伊藤 静夫 松井 美智子

I 緒 言

垂直跳は、体力要素の中のパワーのテスト法として知られている。しかし、垂直跳から直接測定されるものは跳躍高であり、パワーそのものではない。また、垂直跳の跳躍高から、どのような力学量が推定できるかについても、その報告例は少ない。

前回の報告³⁾において、我々は垂直跳における跳躍高と踏切時の力学量の関係を検討し、跳躍高と単位体重当りのパワーに高い相関があるのを認めた。小林⁵⁾や渡川たち⁶⁾も同様の結果を得ているが、彼らの報告では、被験者の数・構成などの点で、かなりの制約がみられる。

本研究では、前回の報告に測定例を追加し、垂直跳の跳躍高と踏切時の力学量の関係を再検討すると同時に、跳躍高と単位体重当りのパワーの関係をとり上げ、男女差、跳躍高からのパワーの推定について考察する。

また、パワーには、パワー値が最大となる至適の負荷があり、それ以上の負荷でも、それ以下の負荷でもパワー値が低下することが知られている²⁾⁴⁾。

垂直跳もパワーのテストであるとされるからには、パワー値が最大となる至適負荷があると思われるが、垂直跳テストの場合には、一般に跳躍者

の体重が唯一の負荷として定まってしまう。仮に、体重に重量を負荷し、一時的に体重を増加させた状態から垂直跳を行なわせた場合、パワー値が体重負荷のみの時より増大する可能性も考えられる。

そこで、本研究では、体に重量を負荷した状態からの垂直跳を行なわせ、垂直跳において跳躍者の体重が至適負荷を考えた場合、どの程度の負荷レベルにあるのか調べるとともに、体重に重量を負荷した条件においても跳躍高とパワーに相関がみられるか検討する。

II 方 法

1. 被験者

被験者は前回の報告³⁾における90名(男49名、女41名)に男162名、女34名を加えた286名である。被験者の身体特性を男女別に表1に示し、競技種目別構成を表2に示した。被験者のほとんど

表1 被験者の身体特性

項 目	男 (N=211)		女 (N=75)	
	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD
年 齢 (歳)	25.5	13.2	20.0	2.9
身 長 (cm)	172.8	7.0	161.9	5.7
体 重 (kg)	69.0	14.3	57.5	6.2

表2 被験者の競技種目別構成 (N=268)

種目	男 人数	女 種目	人数
柔道・強化選手	48人	大学陸上競技	31人
大学ボート	41	柔道・強化選手	14
近代五種・強化選手	30	高校ボート	6
一般人*	23	一般人*	5
高校空手道	18	大学ボート	4
大学空手道	15	スキークロスカントリー・強化選手	4
一般人・高齢者**	13	大学バレーボール	4
大学レスリング	12	大学バドミントン	3
高校ボート	7	大学水泳	3
スキークロスカントリー・強化選手	3	大学弓道	1
大学バレーボール	1	近代五種・強化選手	1
		一般カヌー	1
	211		75

* 一般人の構成は日体協事務職員25名, 大学教官3名である。

** 一般人・高齢者は年齢65歳~76歳のゲートボールクラブ員である。

が高校・大学の運動部に所属する学生と社会人一流競技者である。表2の一般人は, 日本体育協会一般事務職員(25名)と大学教官(3名)であり, 一般人・高齢者は, ゲートボールクラブに所属する65歳から76歳の高齢者である。

2. 実験装置

図1に実験装置の概要を示す。前回の報告では, 床反力の検出に歪ゲージを用いたフォースプレートを使用した, 今回の報告において新たに加えられた被験者については, 水晶式圧電変換器をそなえたフォースプレート(キスラー社製9281A11型)を使用した。フォースプレートより検出される地面反力は, チャージ・アンプを通して増幅された後, マイクロ・コンピュータを内蔵した演算処理装置(ホクバン社製ジャンプ・アナライザHPD-20M型)に送られ, 波形解析処理された。以上の解析システムをジャンプアナライザと呼ぶ。

また, メジャー牽引式垂直跳計を併用し, 被験者腰部の変位を測定することにより重心変位の目安とし, 随時, ジャンプアナライザのエラーデータを削除するよう努めた。

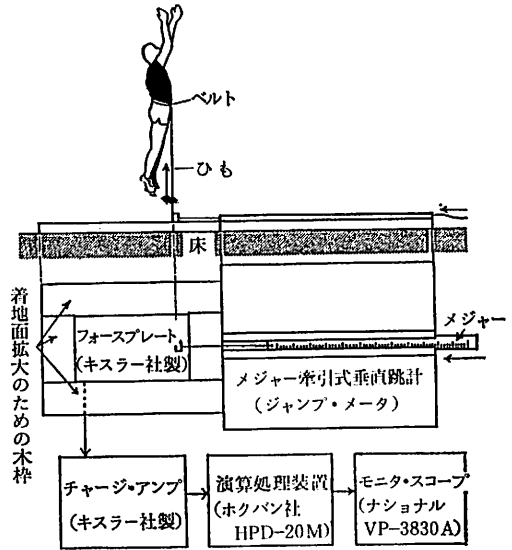


図1 実験方法及び実験装置の概要

フォースプレートのまわりには幅30cmの木枠を置き, 着地面を拡大し, 着地動作を行ないやすくした。

3. 解析方法

(1) 記号

Wt: 体重

F: 地面反力の鉛直成分(上向きを正)

g: 重力加速度

\ddot{y} : 重心の鉛直加速度(上向きを正)

\dot{y} : 重心の鉛直速度(上向きを正)

y: 静止時を基準にした重心の鉛直変位(上向きを正)

t: 時間

W: 仕事

P: パワー(仕事率)

H_G: 跳躍高(最大重心鉛直変位)

(2) 重心の運動

垂直跳の地面反力Fは, 踏切動作により生ずる慣性力と重力の合力と考えることができるから,

$$F = \frac{Wt}{g} \ddot{y} + Wt \dots\dots\dots(1)$$

と表わされる。よって重心の鉛直加速度 \ddot{y} は,

$$\ddot{y} = g \left(\frac{F}{Wt} - 1 \right) \dots\dots\dots(2)$$

となる。踏切前は, 立位静止姿勢をとるので, 初期条件

$t=0$ で $y=\dot{y}=0$
 にて(2)式を時間 t について順次積分すれば、重心鉛直速度 \dot{y} 、重心鉛直変位 y が得られる。

$$\dot{y} = g \int_0^t \left(\frac{F}{Wt} - 1 \right) dt \dots \dots \dots (3)$$

$$y = g \int_0^t \int_0^t \left(\frac{F}{Wt} - 1 \right) dt \cdot dt \dots \dots (4)$$

踏切動作が終了する瞬間、つまり足が地面を離れる瞬間の重心鉛直速度を \dot{y}_1 、重心鉛直変位を y_1 とすれば、重心が最高点に達するまでの鉛直変位 H_G は、

$$H_G = \frac{\dot{y}_1^2}{2g} + y_1$$

で求まる。本研究では、最大重心鉛直変位 H_G を垂直跳の跳躍高と考え、「跳躍高」と呼ぶことにする。

仕事 W およびパワー P は、

$$W = Wt \cdot H_G \dots \dots \dots (6)$$

$$P = F \cdot \dot{y} \dots \dots \dots (7)$$

で求められる。

4. 測定変量

以下に示した変量を測定の対象とし、跳躍高との関係を検討した。表記記号とその内容を示す。

- 1) F_{max} : 地面反力鉛直成分の最大値。最大地面反力と呼ぶ。
- 2) F_{max}/Wt : 単位体重当りの F_{max}
- 3) P_{max} : パワー曲線の最大値。最大パワーと呼ぶ。
- 4) P_{max}/Wt : 単位体重当りの P_{max} 。
- 5) T : 踏切時に身体重心が最下点に達した時点から足がフォースプレートを離れるまでに要した時間。踏切時間と呼ぶ。
- 6) \bar{P} : 垂直跳でなされた仕事量 (体重 $Wt \times$ 最大重心鉛直変位 H_G) を踏切時間 T で除して求めた平均的パワー値。平均パワーと呼ぶ。
- 7) \bar{P}/Wt : 単位体重当りの \bar{P}
- 8) H_G : 最大重心鉛直変位。跳躍高と呼ぶ。

図2は、これらの変量を示したものである。

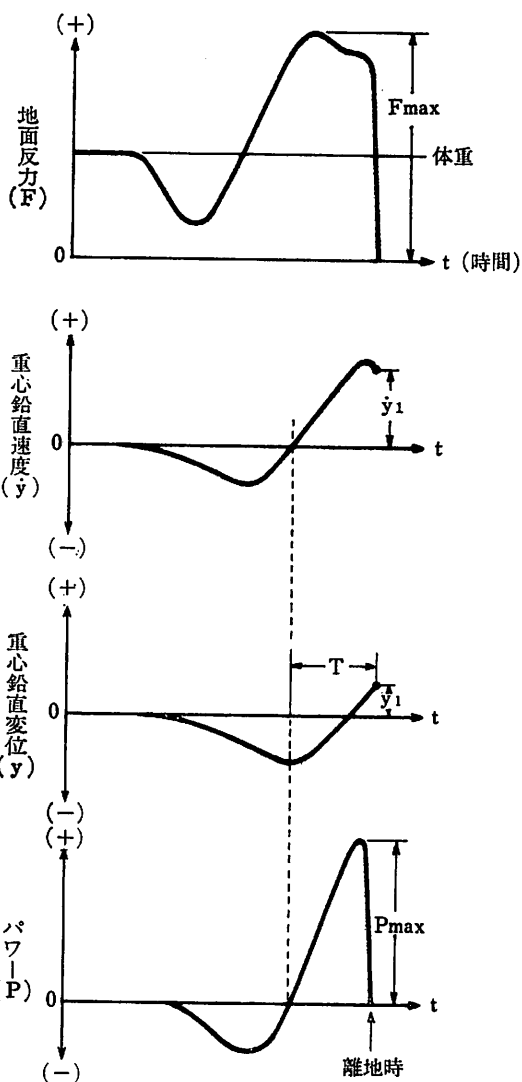


図2 測定変量の説明図

F_{max} : 地面反力の最大値, \dot{y}_1 : 離地時の重心鉛直速度, y_1 離地時の重心鉛直変位, T : 重心の最下点から離地時点までに要した時間 (踏切時間), P_{max} : パワーの最大値

5. 跳躍条件

次の2種類の跳躍条件について、実験を実施した。

- (1) 踏切動作に制限を加えない全力による垂直跳 (垂直跳1)

垂直跳の跳躍高と深い関係にある変量を検討するために、両腕、脚、胴などの踏切動作に制限を加えない垂直跳を、全力でおこなわせた。

跳躍回数は原則的に3回とし、踏切位置より大きく前方や側方に飛び出した場合には無効跳躍として、やりなおしをさせた。そして、全跳躍の内から重心鉛直変位が最も大きかった跳躍例を選び、その時に得られたデータを代表値として採用した。

(2) 重量負荷した状態からの垂直跳(直垂跳2) 身体に重量を負荷した状態から全力による垂直跳を行なわせた。負荷の条件は、重量物をつけない状態(0kg負荷)から、2kg単位でふやし、10kg負荷に至るまでの6種類である。

各条件につき3回の跳躍を行なわせ、重心鉛直変位が最も大きい跳躍例のデータを代表値として採用した。

重量負荷には、スキングダイビング(潜水)で使用するおもり付きの腰ベルトを使用し、腰部に装着した。おもりベルトを腰に巻く以外は、垂直跳1と同じ実験装置、測定方法にてデータの採取を行なった。

Ⅲ 結果と考察

1. 踏切動作に制限を加えない全力による垂直跳(垂直跳1)

(1) 測定変量の結果

表3は、測定対象とした変量の平均値と標準偏差を、男女別に示したものである。

今回の測定結果(N=286)を前回の測定結果³⁾(N=90)と比較すると、男女とも各変量の平均値は前回と、ほとんど変わらない。成人男女の平

表3 測定変量の平均値と標準偏差

測定項目	男(N=211)		女(N=75)	
	\bar{X}	S. D.	\bar{X}	S. D.
H _G (cm)	56.9	9.33	45.8	4.73
F _{max} (kg)	178.2	38.88	144.7	18.35
F _{max} /Wt	2.59	0.30	2.52	0.24
P _{max} (kg·m/s)	421.9	100.17	300.2	43.17
P _{max} /Wt(m/s)	6.13	1.01	5.23	0.57
\bar{P} (kg·m/s)	142.0	37.44	107.7	21.88
\bar{P} /Wt (m/s)	2.07	0.45	1.88	0.36
W (kg·m)	39.3	9.52	26.3	3.94
T (s)	0.281	0.043	0.251	0.044

均値としては、かなり安定した値であると考えられる。

測定結果は、対象とした被験者の身体特性や垂直跳の能力等が大きく異なれば、当然変わってくる。そこで、本研究と類似した被験者条件下で行なわれた研究報告をみると、小林⁴⁾が、大学運動部に所属する男子学生53名を被験者に垂直跳を行なわせた研究において、F_{max}/Wtで2.64(25.9N/kg)、P_{max}/Wtで6.17 m/s(60.5 W/kg)、 \bar{P} /Wtで3.22m/s(31.6 W/kg)、Tで0.27秒の平均値を示している。この時の跳躍高H_Gの平均が53.4cmであり、本研究における男の跳躍高は56.9cmである。F_{max}/Wt、P_{max}/Wt、Tにおいても非常に近い値を示しているが、 \bar{P} /Wtでは本研究結果が2.07 m/sを得たのに対し、小林⁴⁾は3.22 m/sと、かなり異なる値を示している。

本研究では、 \bar{P} /Wtを{(体重)×(跳躍高)/(跳切時間)}/(体重)、つまり(跳躍高)/(踏切時間)として求めた。ここで、小林⁴⁾の示した跳躍高の平均値と踏切時間の平均値を式に入れ、 \bar{P} /Wtの値を概算してみると、0.534 m÷0.27 s=2.00m/sとなり、本研究結果と非常に近い値になる。

本研究と小林⁴⁾の報告とは、基本的にかなり近い測定結果を得ているが、 \bar{P} /Wtの求め方において違いがあったものと思われる。

正木、石河⁵⁾は、リーブ・メータと16mmフィルム分析法を用いて、垂直跳の平均パワー \bar{P} を求め、男で平均145.5 kg·m/s(N=9)、女で平均108.4 kg·m/s(N=5)の値を報告している。測定方法でかなり異なるが、 \bar{P} の値においては本研究結果と近い値を示している。

(2) 跳躍高と地面反力、パワー、踏切時間の関係

表4は、跳躍高と他の測定変量との間の相関係数を示したもので、男、女、男女合計の3グループに分けて示した。

男女合計で見ると、すべての変量と跳躍高の間に、危険率0.1%水準で有意な相関関係が認められている。これは、データ数が286と多いことが一要因になっていると考えられる。一方、跳躍高との相関の程度を、相関係数からみると、F_{max}、

表4 跳躍高と地面反力, パワー, 踏切時間の相関係数

測定項目	男 N=211	女 N=75	男・女 N=286
Fmax (kg)	0.2264***	0.1451	0.3725***
Fmax/Wt	0.4979***	0.1911	0.4429***
Pmax (kg・m/s)	0.5400***	0.5458***	0.6599***
Pmax/Wt (m/s)	0.8660***	0.7168***	0.8753***
\bar{P} (kg・m/s)	0.5448***	0.4116***	0.6239***
\bar{P}/wt (m/s)	0.7145***	0.4443***	0.6678***
T (s)	0.0493	0.0982	0.1950***

***P<0.001

Fmax/Wtは, いずれも $r=0.3725$, $r=0.4429$ と低く, またTも $r=0.1950$ と低い。パワーは, いずれも $r=0.62$ 以上の相関を示しており, とりわけ Pmax/Wt は, $r=0.8753$ と非常に高い相関係数が得られている。 \bar{P}/Wt においても跳躍高と $r=0.6678$ の相関が得られているが, Pmax/Wt に比べると, 相関の程度がかなり低い。

垂直跳の跳躍高とパワーの関係については, 正木, 石河たちが, 跳躍高と平均パワー \bar{P} に $r=0.74$ の相関を見出ししている。

単位体重当りの最大パワー Pmax/Wt については, 渋川⁶⁾ が本研究とほとんど同じ実験方法によって解析し, 跳躍高との間に $r=0.7$ の相関係数が認められたことを示し, 両者の間には相関関係が存在する可能性があることを示唆している。

また, 小林たち⁵⁾ は, 53名の男子学生を被験者にした垂直跳の研究において, 跳躍高と地面反力, パワー, 地面反力曲線の立ち上がり, パワー曲線の立ち上がり, 踏切時間等との相関関係を検討した結果, Pmax/Wt との間に $r=0.794$, \bar{P}/Wt との間に $r=0.604$ の相関を得ており, 垂直跳の跳躍高から, 高い相関で力学的パワーを推定することが可能であると考察している。

いずれの報告においても, 垂直跳の跳躍高はパワーと高い相関にあることを示していることから, 垂直跳がパワーのテストであることに異論はない。しかし, 実際に跳躍高からパワーを推定しようとする時, 平均パワー \bar{P} を対象とするのか, あるいは最大パワー Pmax を対象とした方がより妥当なのか, 検討する必要がある。

前回の報告においても我々は, 跳躍高と Pmax と $r=0.813$ の高い相関が認められたことを報告した。しかしながら, \bar{P}/Wt については, $r=0.454$ と低い相関しか認められなかったため, 垂直跳の跳躍高は, 踏切り時の Pmax/Wt の指標として考えるべきであることを述べた。

今回の報回では, 前回に比べ \bar{P}/Wt の相関係数が高くなっているが, 実際に跳躍高からパワーを推定するとなると, \bar{P}/Wt の決定係数が $r^2=0.446$ であるのに対し, Pmax/Wt の決定係数は, $r^2=0.766$ と高いことから考えて, やはり垂直跳の跳躍高は Pmax/Wt を表わす指標と考えるのが妥当であるといえる。

(3) 跳躍高と Pmax, \bar{P} の関係

表4をみると, Pmax, \bar{P} は跳躍高とそれぞれ $r=0.6599$, $r=0.6239$ の相関係数が得られており, 跳躍高と Pmax, \bar{P} にも高い相関関係があるようにみえる。しかし, 前回の報告においても知られているように, Pmax, \bar{P} は, かなり体重の影響を受ける因子である。本研究でも, 体重との間に Pmax で $r=0.7866$, \bar{P} で $r=0.6478$ の相関が得られており, いずれも跳躍高との間よりも大きな相関係数である。

図3は, 全被験者について跳躍高と Pmax の関係を体重ランク別に回帰直線を求めて示したものである。ここでは, 全被験者を体重55kg未満, 55kg以上65kg未満, 65kg以上75kg未満, 75kg以上85kg未満, 85kg以上95kg未満, 95kg以上105kg未満, 105kg以上の7ランクの体重別グループに分け, それぞれのランクにおいて H_G と Pmax の回帰直線を求めた。図中の5本の直線は, 各グループにおける H_G と Pmax の回帰直線である。95kg以上のグループは, 被験者数が少ないのでデータをそのままプロットした。

各グループの相関係数をみると, 55kg未満のグループで $r=0.7360$, 55kg以上65kg未満グループで $r=0.8701$, 65kg以上75kg未満グループで $r=0.8535$, 75kg以上85kg未満グループで $r=0.8718$, 85kg以上95kg未満グループで $r=0.8163$ で, いずれも $r=0.7$ 以上の高い値を示している。各グループとも H_G と Pmax が, かなり高い相関関係にあることがわかる。同時に, 各体重ランクの回帰

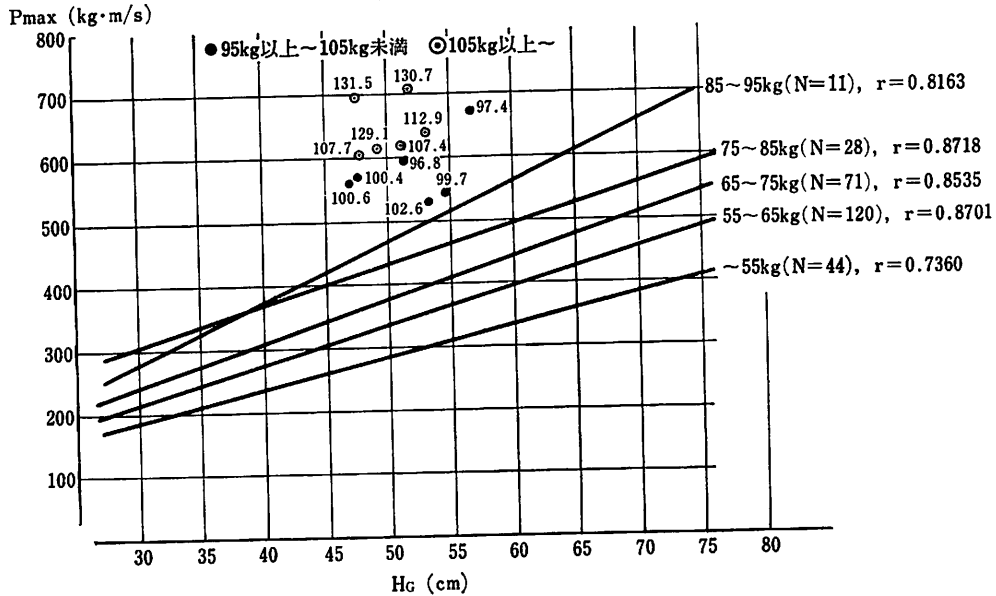


図3 体重ランク別に見た跳躍高と最大パワー P_{max} の関係

直線は、体重ランクの小さい55kg未満のグループがグラフの最も下に位置し、ランクが上がるに従って回帰直線が平行移動をするように上方に移動しているのがわかる。

すなわち、垂直跳の跳躍高が仮に同じであったとしても、跳躍者の体重が大きく異なれば、体重の大きい者の方がより大きなP_{max}を発揮していることになる。この時、P_{max}は主に体重に比例する変数になっていると考えられる。そして、体重は踏切時の地面反力と高い相関関係にあるので ($r=0.8653$)、P_{max}が体重の大小によって影響を受ける直接的原因は、体重差によって生ずる地面反力の差に起因していると思われる。

垂直跳の跳躍高からパワーを評価しようとする時、パワーの絶対値には跳躍高だけでなく、跳躍者の体重が大きく関与している点を考慮に入れる必要がある。特に、被験者の体重の差が小さい場合は、跳躍高とP_{max}はかなりの相関関係を示すが、被験者の体重差が大きい場合には、跳躍高とP_{max}の相関関係は低くなると思われる。

(4) 跳躍高とP_{max}/Wtの関係

1) 男女差

P_{max}は、跳躍高から最も高い確率で推定可能な変数である。そこで、跳躍高との関係におい

て、男と女を同一の回帰直線を用いて表わすことが可能であるかどうか検討する。

図4は、跳躍高とP_{max}/Wtの関係を男女別に示したものである。図中の黒丸(●)は男を、白丸(○)は女のデータを表わしており、それぞれについてH_GとP_{max}/Wtの回帰直線を示した。グラフの左上には、被験者数N、相関係数r、回帰式および回帰式からの推定の標準誤差S_{xy}を示した。

跳躍高をみると、跳躍高が約45cmから55cmの範囲に、男女の跳躍高が重なり合う部分があるが、この部分のP_{max}/Wtは、男女のデータがお互いに混じり合いながら回帰直線にそって分散しており、男女のデータが分離した集団をつくる傾向はみられない。

同時に、回帰直線から男と女における跳躍高とP_{max}/Wtの関係をみると、男女の回帰直線が、ほとんど一本の直線で表わされるほど接近しているのがわかる。

以上の点から、垂直跳における跳躍高とP_{max}の関係には、男女の差はなく、同一の回帰直線を用いて男女のデータを表わすことが可能であると考えられる。今回、男と女で被験者数に差があり、女のデータ数が男に比べ少なかったが、今

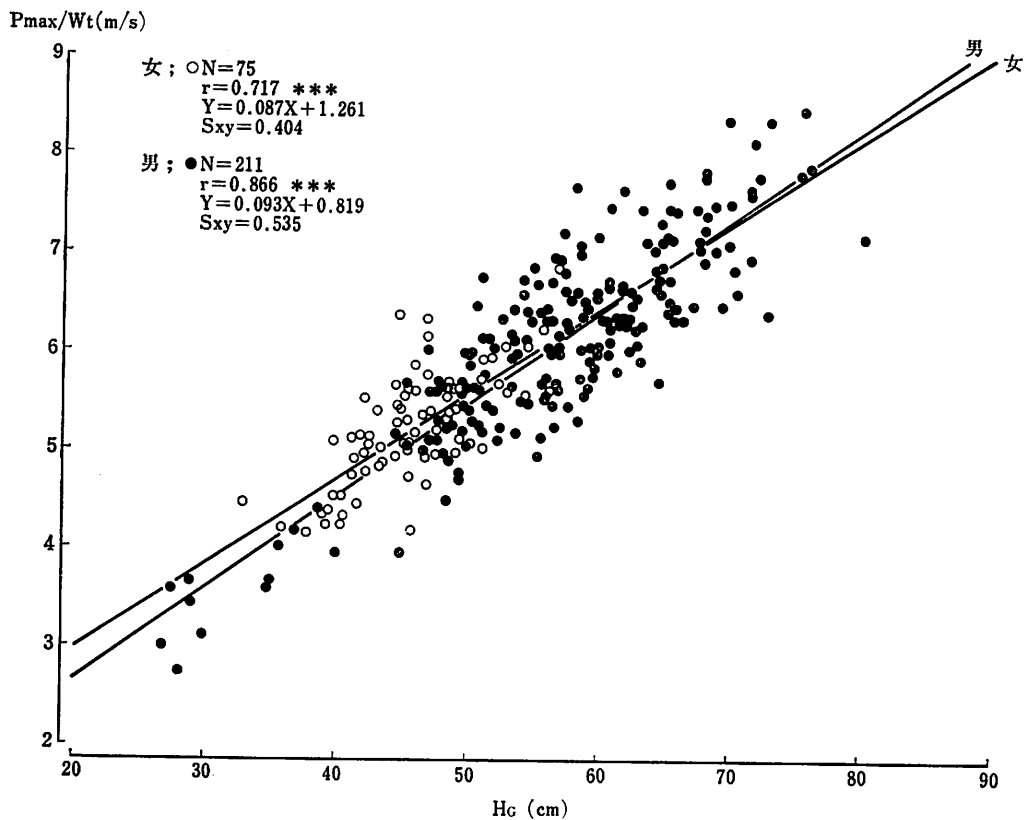


図4 跳躍高Hgと単位体重当りの最大パワーPmax/Wtの関係

後、女のデータを追加して行けば、男女の回帰直線は、さらに一本に近づくものと推察される。

2) 跳躍高からPmax/Wtを推定する誤差

男女を合わせたPmax/Wt (Y) の跳躍高(X) に関する回帰式は、

$$Y = 0.090X + 1.054 \dots \dots \dots (8)$$

となった。

(8)の回帰直線により跳躍高からPmax/Wtを推定する時の推定の標準誤差 S_{xy} は、0.482 m/sであるから、5%程度の危険率でPmax/Wtの値をとらえるためには、回帰直線からの推定値 ± 0.964 m/s (2 σ) の範囲を考えておく必要がある。

一方、跳躍高とPmax/Wtに高い相関がみられるという事実から、跳躍高に体重を乗じ(仕事量)、それとPmaxの絶対値の相関をみてみると、相関係数が0.9518と非常に高い直線的比例関係を示す。図5は、横軸に仕事量(体重×跳躍高)、

縦軸にPmaxをとり、両者の相関関係をみたものである。

Pmax(Y)の仕事量(X)に関する回帰式は、

$$Y = 9,710X + 41,606$$

で、仕事量からのPmaxの推定の標準誤差 S_{xy} は31,830kg・m/sである。

仕事量は、垂直跳の跳躍高に体重を乗ずることによって簡単に求められ、しかもPmaxを高い確率で推定できるので(決定係数 $r^2=0.9059$)、Pmaxを直接求める方法として極めて有効であると思われる。

3) Pmax/Wtのバラツキ

図4に示された跳躍高とPmax/Wtの関係から、跳躍高の高低に対比にさせてPmax/Wtのバラツキをみると、跳躍高30cm~40cmの低い部分ではPmax/Wtのバラツキが小さいが、跳躍高が上昇するに従って、Pmax/Wtのバラツキが大き

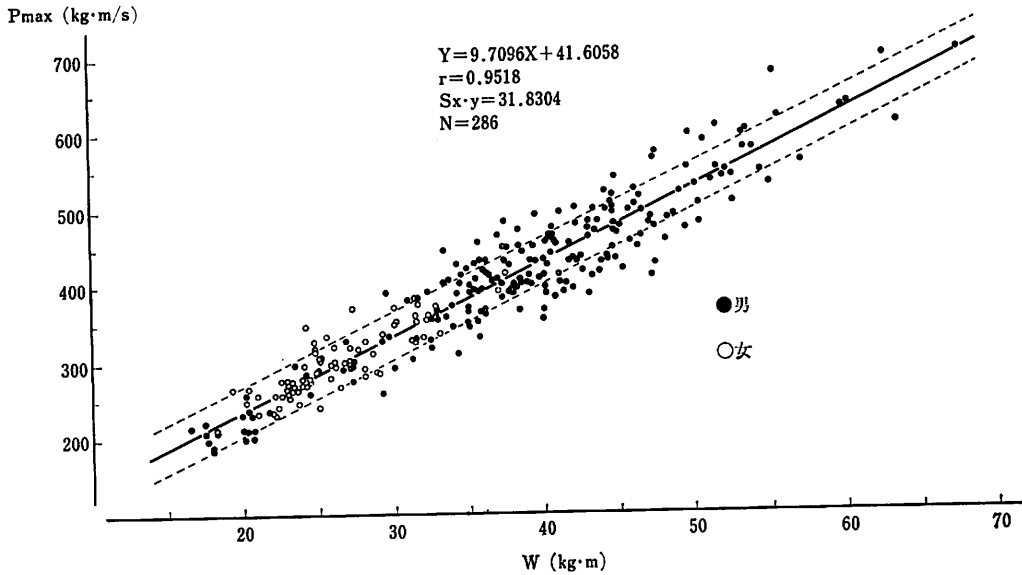


図5 垂直跳における仕事量Wと最大パワーPmaxの関係

くなるような印象を受ける。図5の仕事量とPmaxの関係をみても、16 kg·m~25kg·mの仕事量が小さい範囲ではPmaxのバラツキも小さいが、仕事量が大きくなるに従って、Pmaxのバラツキの程度も大きくなるように思われる。

前報において我々は、27名の被験者を対象に同一個人が全力跳躍から段階的(全力の3/4, 1/2, 1/4)に跳躍高を低下させて垂直跳を行なった時の跳躍高と踏切時の力学量の関係を検討した。その結果、同一個人では、跳躍高はPmaxと $r = 0.930$ 以上の高い直線相関がみられることがわかった。

図6は、その実験結果から同一個人における跳躍高とPmax/Wtの回帰直線を求めて示したものである。各被験者の回帰直線は、最大跳躍高から最小跳躍高までの範囲を線分で結んで示した。

回帰直線を比較すると、被験者によって直線の傾きにかなりの差があるのがわかる。1例を除けば、それぞれの回帰直線は跳躍高10~20 cmの低い付近で収束し、そこから跳躍高が高くなるに従って放射状に広がっているのが観察される。跳躍高の低い時には、それに対応するPmax/Wtのバラツキは小さいが、跳躍高が上がるに従ってPmax/Wtのバラツキが大きくなっている。

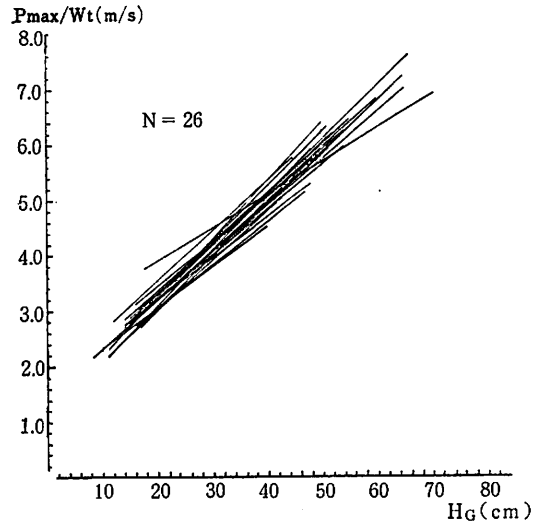


図6 同一個人が高さを変えて跳んだ時の跳躍高Hgと単位体重当り最大パワーPmax/Wtの関係

跳躍高が高くなるに従って、跳び方等の個人差が大きく影響してくるものと思われる。

跳躍高とPmax/Wtの関係においても、Pmax/Wtのバラツキは、跳躍高が低い時は小さいが、跳躍高が上がるに従って、放射状に大きくなるのではないかと推察される。

2. 重量負荷した垂直跳（垂直跳2）

(1) 負荷重量と跳躍高とパワーの関係

図7は、被験者に重量を負荷した状態から、全力による垂直跳を行なさせた時の跳躍高とPmaxの関係を示したものである。図中のプロットにつけた数字は、被験者の体に負荷した重量の大きさを表わしており、単位はkgである。ゼロは、体にまったく重量物を負荷しない状態を表わしている。

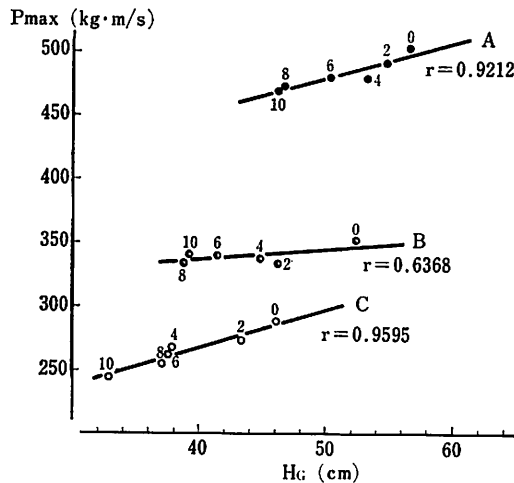


図7 重量負荷した垂直跳における跳躍高 H_G と最大パワー P_{max} の関係

重量と跳躍高の関係をみると、重量が上がるに従って、跳躍高が低下しているのがわかる。無負荷状態から10kg負荷に至るまでの跳躍高の変化は、被験者Aで10.2cm、被験者Bで13.2cm、被験者Cで13.2cmと、いずれも10cm以上の低下を示している。

また、重量と P_{max} の関係をみると、被験者AとCは、重量が上がるに従って P_{max} が低下しているが、被験者Bでは、重量が増加しても P_{max} は明らかな低下傾向を示さず、ほとんど一定の値を示している。重量と \bar{P} の関係をみても(図8)、 P_{max} の場合とほぼ同様の傾向を示すことがわかる。

ヒトが発揮するパワーには、パワーが最大値となる負荷があり、それ以上の負荷でもそれ以下の負荷でもパワーが低下することが知られている。

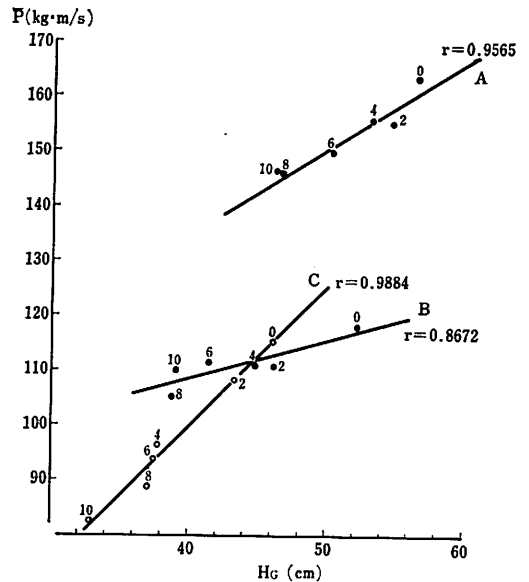


図8 重量負荷した垂直跳における跳躍高 H_G と平均パワー \bar{P} の関係

しかし、一般に実施されている垂直跳テストでは、跳躍者の体重のみが負荷となっており、負荷は固定してしまう。そして、この体重は、垂直跳のパワーにおいて、最大値をもたらすに必要な負荷以下のレベルにあるのか、それ以上のレベルにあるのかわかっていない。同一の個人においては、筋出力に直接的に関与しない脂肪等の増加によっても体重は増加するが、仮に体重がパワーに最大値をもたらす負荷レベル以下にあったとすれば単なる脂肪等の増加による体重増でもパワーの値は大きくなるはずである。

しかし、図7, 8をみてもわかるように、身体におもりを付けて体重を増加させても、パワーは増大せず、逆に減少している。垂直跳における体重負荷の大きさは、垂直跳でパワーが最大になる負荷よりも、大きな負荷になっていると思われる。そのため、本実験のように、筋出力要素が変わらずに、単なる体重のみを増加させた場合には、パワーは減少すると考えられる。同様に、脂肪等の筋出力に関与しない部分の増大による体重の増加は、垂直跳の跳躍高を減少させると同時に、この跳躍高の減少はパワーの減少をも表わしているといえる。

(2) 跳躍高と単位体重当りのパワーの関係

同一の個人において跳躍高に高低の変化をつけて垂直跳を行なった場合には、跳躍高と単位体重当りのパワーに高い直線相関($r=0.930$ 以上)が観察された。この場合は、跳躍者の体重は一定であり、跳躍高を意識的に変化させたものである。

体に重量を負荷し、一時的に体重を増加させた状態では、単位体重当りのパワー(パワー/体重)を求める時の分母が変わる。同時に、負荷重量が大きくなるに従って跳躍高が低下し、パワーもまた低下する傾向を示しているので、対象とするいずれの変量とも変化することになる。

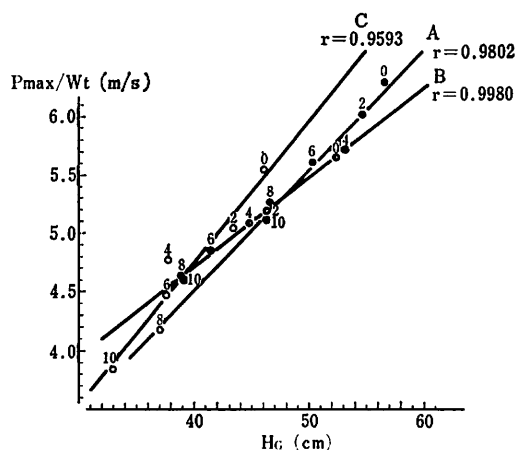


図9 重量負荷した垂直跳における跳躍高 H_c と単位体重当りの最大パワー P_{max}/Wt の関係

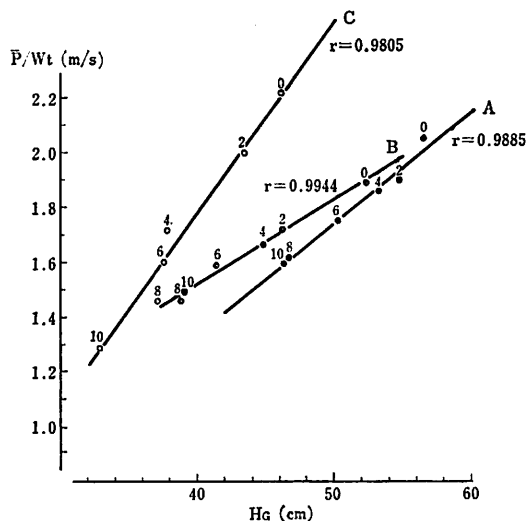


図10 重量負荷した垂直跳における跳躍高 H_c と単位体重当りの平均パワー \bar{P}/Wt の関係

図9と10は、跳躍高と単位体重当りの P_{max} および \bar{P} の関係を示したものである。ここでいう体重 Wt は、被験者自身の体重に、体に負荷した重量物の重さを加えた値のことであり、単位体重当りのパワーを求める時も、この値を用いている。

P_{max}/Wt についてみると、跳躍高との回帰直線には、被験者ごとにかかなりの個人差がみられているが、被験者各人においては、跳躍高と $r=0.9593$ 以上の高い直線相関がある。 \bar{P}/Wt についても P_{max}/Wt の場合と同じく、各被験者の回帰直線は異なるが、跳躍高と \bar{P}/Wt の関係は $r=0.9805$ 以上と、非常に高い直線相関を示している。

以上の点から、同一個人においては体に負荷した重量が大きくなるに従って、垂直跳の跳躍高および単位体重当り(体重+負荷重量)のパワーは減少傾向を示すが、この時の跳躍高と単位体重当りのパワーには、非常に高い直線相関関係があるといえる。

IV ま と め

垂直跳において、跳躍高と踏切時の種々の力学量の相関関係を検討し、跳躍高から推定するのが妥当な力学変量を見出すと同時に、両者がどのような関係にあるかを考察した。

実験の方法は、

垂直跳 1 : 286名の被験者(男211名, 女75名)を対象とした、跳躍動作に制限を加えない全力による垂直跳

垂直跳 2 : 3名の被験者について、体に重量を負荷した状態からの全力による垂直跳の2条件について行なった。いずれも、フォースプレートにより地面反力を検出し力学解析を進めた。本研究の結果を要約すると以下の通りである。

垂直跳 1

1) 垂直跳における跳躍高は、パワーと $r=0.62$ 以上の高い相関が観察されたが、特に、単位体重当りの最大パワー P_{max}/Wt との間に $r=0.8753$ の高い相関が得られ、単位体重当りの平均パワー \bar{P}/Wt との間にも $r=0.6678$ の相関が認められた。また、地面反力、踏切時間との間には、 $r=0.44$ 以下の低い相関しか得られなかった。したがって、跳躍高からの推定を考える時、跳躍高

は P_{max}/Wt の指標と考えるのが妥当であるといえる。

2) 跳躍高と P_{max}/Wt の回帰直線は、男と女でほとんど同一の直線で表わせるほど接近しており、跳躍高と P_{max}/Wt の関係は、性別に関係なく一本の回帰直線で表わすことができると思われる。

3) 5%の危険率で跳躍高から P_{max}/Wt を推定するためには、回帰式からの推定値に ± 0.964 m/sの範囲を考える必要がある。また、跳躍高に体重を乗じて求まる仕事量は、 P_{max} と高い相関($r=0.9517$)にあり、 P_{max} を直接推定するのに有効であると思われる。

4) P_{max}/Wt のバラツキは、跳躍高が低い時には小さいが、跳躍高が高くなるに従って P_{max}/Wt のバラツキも大きくなるものと推察される。

垂直跳2

5) 体に重量を负荷した場合、重量が上がるに従って、跳躍高、 P_{max} 、 \bar{P} が減少する傾向を示した。筋パワーには、パワー値が最大となる至適負荷があるが、垂直跳における体重は、至適負荷より大きな負荷レベルにあると考えられる。

6) 同一個人において、重量負荷により一時的に体重を増加させた場合(被験者の体重+重量を Wt とする)においても、垂直跳の跳躍高と P_{max}/Wt には高い直線相関が観察される。

参考文献

- 1) 石河利寛, 正木健雄: 垂直跳に関する研究(II), 体育学研究2(7)P204 (1957)
- 2) 金子公有: 人体筋のダイナミクス, 第1版 杏林書院(1974)
- 3) 金子敬二, 黒田智雄, 塚越克己, 雨宮輝也, 伊藤静夫, 松井美智子: 脚の伸展パワーに関する研究(第2報) — 垂直跳における跳躍高と踏切時の力学量の関係について —, 昭和56年度日本体育協会スポーツ科学研究報告(1981)
- 4) 小林一敏: 力学的にみた瞬発力, 体育学研究11, P 604~607 (1961)
- 5) 小林一敏, 大島義晴, 小田博美, 前田寛: 垂直とびによるパワー評価の吟味, 筑波大学体育紀要2, P 95-101 (1979)
- 9) 渡川侃二: 運動力学 第3版, P246-258, 大修館(1970)

[資料]

ジャンプアナライザの測定精度の検討

ジャンプアナライザは、マイクロ・コンピュータを用いて垂直跳の地面反力を解析し、地面反力、パワー、重心速度、重心変位、跳躍高などを算出する。本研究では、垂直跳の測定に、このジャンプアナライザを使用し、種々のデータを求めた。

そこで、ジャンプアナライザがどの程度の測定精度をもつのか、16mm映画分析法との比較実験を行なったので報告する。

1. 実験方法

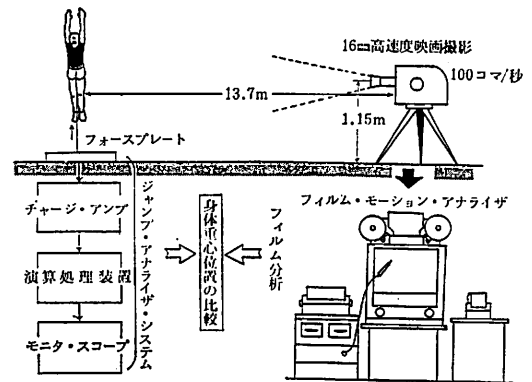
図1に実験方法の概要を示した。

被験者には、フォースプレート上で全力による垂直跳を行なわせた。被験者は男4名、女1名である。その時のフォースプレートからの力波形をジャンプアナライザで解析すると同時に、跳躍動作を被験者の測方より16mm高速度映画に撮影した。レンズから被写体までの距離は13.7m、レンズの高さは1.15m、撮影コマ数は毎秒100コマである。

撮影したフィルムからは、フィルムモーションアナライザ(Nac社製GP-2000)を用いて、跳躍時の重心変位を求めた。

ジャンプアナライザとフィルム分析法によるデータの比較には、以下に示した $H_1 \sim H_3$ の跳躍時の3つの局面における身体重心の変位を求めて行なった。

H_1 : 立位静止から重心が最下点に達するまで



資料図1 ジャンプアナライザ・システムの測定精度検討実験

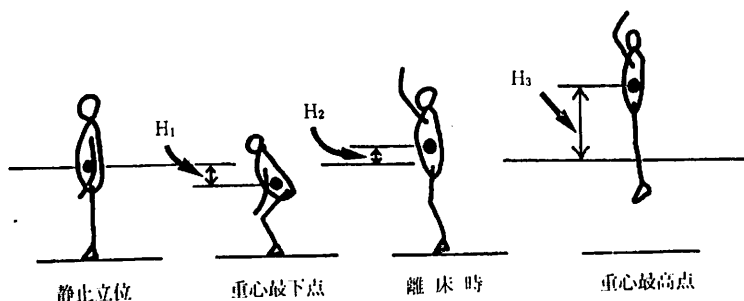
資料表1 ジャンプ・アナライザとフィルム分析による重心変位の比較

		A	B	C (1)	C (2)	D	E
H ₁	ジャンプアナライザ	17.3	28.3	33.3	29.2	36.3	34.8
	フィルム分析	17.7	29.6	37.7	34.1	40.5	35.4
	差	- 0.4	- 1.3	- 4.4	- 4.9	- 4.2	- 0.6
H ₂	ジャンプアナライザ	12.3	13.5	14.2	15.2	13.7	13.2
	フィルム分析	13.7	14.5	13.3	16.1	14.3	14.0
	差	- 1.4	- 1.0	0.9	- 0.9	- 0.6	- 0.8
H ₃	ジャンプアナライザ	41.7	54.3	58.5	59.5	59.8	45.1
	フィルム分析	40.5	53.5	56.3	59.4	59.5	45.0
	差	1.2	0.8	2.2	0.1	0.3	0.1

H₁ : 立位静止から重心が最下点に達するまでの重心鉛直変位

H₂ : 立位静止から足先が地面を離れるまでの重心鉛直変位

H₃ : 立位静止から重心が最高点に達するまでの重心鉛直変位



の重心鉛直変位

H₂ : 立位静止から足先が地面を離れるまでの重心鉛直変位

H₃ : 立位静止から重心が最高点に達するまでの重心鉛直変位

2. 結果

表1は、ジャンプアナライザとフィルム分析による重心変位を比較したものである。被験者5名は、いずれもアルファベットA~Eで表わし、また被験者Cにおいては、2回の跳躍例について分析を行なったので(1)、(2)として両方を示した。

表に示された数値は、上からジャンプアナライザによる重心変位、フィルム分析による重心変位、ジャンプアナライザの重心変位からフィルム分析の重心変位を引いた値の順になっている。

H₁をみると、ジャンプアナライザとフィルム

分析の差がマイナスになっていることから、フィルム分析に比べ、ジャンプアナライザの値が小さくでる傾向にあることがわかる。被験者別に差の大きさをみると、被験者A, B, Eは、約1cm前後の差であるが、被験者C, Dでは、約4~5cmの差になっている。被験者の平均では両者の差は-2.6cmである。

H₂もH₁同様に、フィルム分析の方に値が大きくなる傾向がある。しかし、両分析法による値の差は、被験者別にみても最大で-1.4cm、被験者平均で-0.93cmと、かなり小さくなっている。

また、H₃はH₁, H₂とは反対に、ジャンプ・アナライザの方が大きな値を示す傾向に変わっている。両分析法による測定値の差も、被験者Cの(1)における2.2cmが最も大きく、次いで被験者Aの1.2cmと続いているが、その他の被験者では、1

cm以下の差になっている。

一方、フィルム分析法においても種々原因による誤差が生ずることが言われている。例えば、シネカメラの動作に起因する機械系の誤差、レンズ等の光学系の誤差、あるいはフィルムを分析する時の読み取り誤差など、様々な原因が存在する。しかし、読み取り誤差は、読み取り方法やデータの平滑化処理等で最小限におさえられるし、光学系の誤差にしても被写体とカメラの距離を十分に離らすこと等の方法でかなり軽減することができる。

今回の実験では、フィルム分析からは、速度など微分処理を経ないで身体各部位の座標点を読み取るだけで求まる重心位置を測定の対象とした。したがって、重心位置を正確に求めるためには、身体部位の座標が読み取りやすい大きさに被写体が写っているか、あるいは被写体の運動や姿勢が複雑でない等の条件が要求されるといえる。被写体の運動および姿勢の面から考えると、重心の最下点、すなわち H_1 を求める時が最も複雑である。他方、表の下に示した模式図をみてもわかるよう

に、静止立位時、離地時、重心最高点到達時の姿勢は極めて単純である。

H_1 における両分析法における差は、フィルム分析法の誤差が大きく影響しているものと思われる。

一方、ジャンプ・アナライザは、地面反力を2回積分することにより、重心位置を算出しているため、地面反力が正確に測定されているとすれば、その積分処理過程における誤差が重心位置の精度に与える影響が大きいと考えられる。

また、積分処理による重心位置の算出は、 H_1 の段階での重心位置の誤差がそのまま H_2 に影響し、さらに H_2 が H_3 に誤差を伝えることになる。 H_1 の段階における誤差も、結局 H_3 の値に影響を与える。逆に、 H_3 において正しい値が得られている場合には、 H_1 、 H_2 においても正しい値が得られている場合が多いとも考えられる。

H_3 、 H_2 におけるジャンプアナライザの値は、極めて妥当な値と判断され、誤差の程度は、 H_3 で最大3.8%、 H_2 で最大11.4%で、絶対値では最大約2 cmである。

