

昭和53年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. XII 脚及び上肢の伸展パワーに関する研究

その1. 脚の伸展パワーに関する研究

—膝関節屈曲角度と脚パワーの関係—

その2. 上肢の伸展パワーに関する研究

—肩関節側方挙上角度と上肢の伸展スピード，
力，パワーとの関係—

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和53年度日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. VII その1. 脚の伸展パワーに関する研究

一膝関節屈曲角度と脚パワーの関係一

報告者 財) 日本体育協会・スポーツ科学研究所

研究者 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
白鳥 金九*

緒言

体育やさまざまなスポーツ場面においては、ただ単に筋力が強いというだけでなく、大きな力を瞬間的に発揮する能力が必要とされる場合がよくある。この能力は一般的に筋パワーとかパワーと呼ばれており、体力測定の重要な項目の一つになっており、種目によっては競技成績に大きく関与する重要な体力的要素の一つに考えられている。

従来よりパワーの評価法としてさまざまな方法や装置が開発されて来た。その代表的な方法として垂直跳をあげることができる。現在でも、垂直跳は、跳躍運動としての技術的興味²⁾の対象としてはほとんどとり上げられず、もっぱら基礎的運動能力の指標として扱われている。石河¹⁾、渋川⁴⁾⁵⁾、小林³⁾⁷⁾らは垂直跳における重心の鉛直変位とキック中の力学的パワーの間に $r=0.7$ 以上の高い相関関係がある事を見い出しており、垂直跳がパワーの測定法として、妥当である事を報告している。

しかしながら、石河、渋川、小林らが用いている垂直跳は、いずれも跳躍動作に制限を加えない自由な姿勢からの跳躍であり、両腕の振込み、反動々作や膝関節屈曲角度に条件をつけた場合の垂直跳については、ほとんど報告されていない。

そこで、本研究では両腕と上体の振込み、反動

々作を用いない脚の伸展だけによる垂直跳を膝関節角度を変化させて行なった際に発揮される力学的パワー、跳躍高などを中心にして以下の項目について検討するものである。

1. 膝関節屈曲角度と跳躍高の関係
2. 膝関節屈曲角度と脚パワーの関係
3. 跳躍高と脚パワーの関係
4. 異なる競技種目選手における1~3の比較

なお、本研究では対象競技種目としてバレーボ

表1 被検者身体特性

種目	被検者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
体 操	T・I	19	168.0	63.7
	K・A	19	163.8	54.5
	T・T	19	166.0	59.3
	H・S	19	167.4	60.7
	K・I	19	170.0	68.8
	M・N	20	162.1	54.0
	K・N	21	168.3	60.7
	平均		19.4	166.5
S・D		0.73	2.55	4.76
バ レ ー ボ ー ル	S・U	18	177.4	64.5
	K・A	18	169.7	63.2
	T・K	19	170.6	72.9
	K・S	20	174.6	57.8
	K・F	20	177.1	65.1
	T・M	21	171.7	61.3
	Y・I	22	173.6	70.0
	平均		19.7	173.5
S・D		1.39	2.82	4.73

* 早稲田大学体育局

ールと体操競技を用いた。

方法

I 被検者

本実験の被検者は、大学の運動部に所属し、現役として活躍している男子学生14名である。彼らの所属運動競技種目、年齢、身長、体重は表1に示す通りである。

II 実験装置

図1は実験装置及び跳躍の条件を示したもの

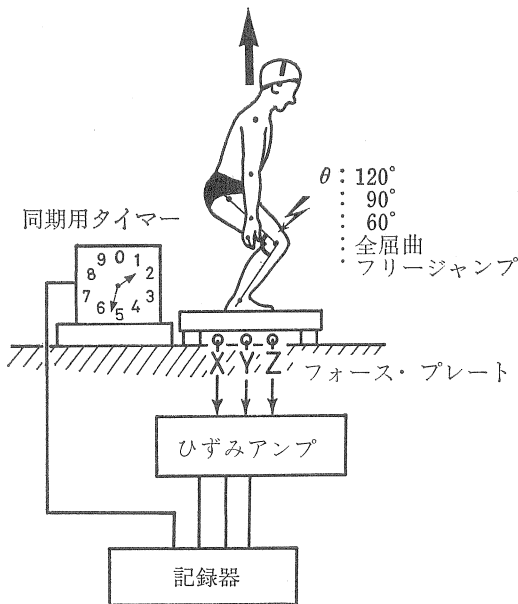


図1 実験装置及び跳躍条件の概要

である。被検者は図に示されているように三軸方向分力の測定できるフォースプレートの上で垂直跳を行ない、この時フォースプレートに加わる力(床反力)をひざみアンプを通して増幅し、ペンオシログラフに記録した。同時に、跳躍動作及び身体重心位置を観察するために16mm高速度カメラ(ボレックスH16, 64コマ/秒, $f=2.8$, 75mm, 撮影距離23.5m)にて、すべての跳躍を記録した。また、フォース・プレートの記録とフィルムの同期をとるために、一秒ごとに電気信号を発生し100分の1秒まで読み取り可能なタイマーをセットし映画の画面に写し込んだ。

III 跳躍条件

膝関節屈曲角度と脚筋出力の関係をみるために、以下の条件をつけた垂直跳を行なわせた。

(1) 上体、両腕、脚のいずれの振り込み反動々作をも使わない垂直跳。

両腕を体側にそって真下に下ろし、膝関節屈曲角度120°、90°、60°、全屈曲からの垂直跳。

(2) 跳躍動作、膝関節屈曲角度に制限を加えない自由な垂直跳。

以上(1)、(2)の膝関節角度計5種類の垂直跳をそれぞれについて2回ずつ行なわせた。

IV 実験データの解析方法

ペンオシログラフに記録された垂直跳の床反力曲線から以下の解析方法によってパワーを算出した。

F; 床反力の鉛直成分

\ddot{y} ; 身体重心の鉛直加速度

\dot{y} ; 身体重心の鉛直速度

y; 立位静止時を基準とした身体重心の鉛直方向変位

t; 時間変数

w; 体重

g; 重力加速度

p; パワーの鉛直成分

とすれば、床反力Fは、

$$F = \frac{W}{g} \ddot{y} + W \quad (1)$$

と表わせる。この床反力を跳躍のキック力と考え、身体重心の加速度 \ddot{y} は、

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

となる。これを時間について積分して行くと、身体重心の鉛直速度 \dot{y} および変位yが求められる。すなわち、

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

$$y = g \int_0^t \int_0^t \left(\frac{F}{W} - 1 \right) dt^2 \quad (4)$$

となる。

またパワー P は、床反力 F と身体重心速度 \dot{y} の積として次式で求まる。

$$P = F \cdot \dot{y} \quad (5)$$

実際には、ペンオシログラフに記録された床反力の積分は (式(3), (4)), 時間間隔を 0.016 秒あるいは 0.032 秒ごとに床反力を読み取り、シンプソンの近似法を使って行なった。

結果

I 膝関節屈曲角度と跳躍高の関係

図-2 は、垂直跳の膝関節屈曲角度と跳躍高の

表 2 各膝関節角度における値 Pmax

種目	被検者	120°	90°	60°	全屈曲	フリー
体操	T・I	294.15	251.43	220.57	206.60	479.13
	T・T	236.81	285.71	247.23	319.35	461.69
	H・S	226.13	270.88	261.52	284.86	380.21
	K・I	334.61	305.75	239.52	275.20	428.68
	K・N	341.54	361.97	331.58	268.94	383.99
	K・A	312.58	329.03	296.49	289.55	
	M・N		308.03	297.04	281.48	408.44
	平均	290.97	301.83	270.56	275.14	423.69
	S・D	44.86	34.16	36.22	31.70	37.06
	バレーボール	T・K	352.33	399.30	346.66	408.89
K・S		254.89	311.73	250.92	264.27	279.33
K・A		320.10	280.68	296.84	290.97	411.09
S・U		341.58	311.89	247.97	357.88	326.28
K・F		304.01	272.26	297.37	348.98	419.82
Y・I		353.65	431.58	300.45	338.60	467.56
T・M		233.14	220.45	240.42	333.29	440.21
平均		308.53	318.27	282.95	334.70	420.01
S・D		44.34	68.23	35.51	43.32	94.29

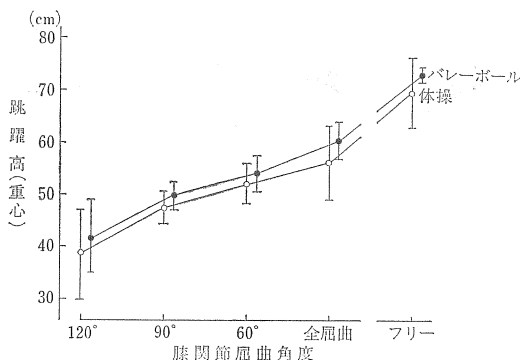


図-2 膝関節屈曲角度と跳躍高の関係

関係を示したものである。白丸が体操選手、黒丸がバレーボール選手を表わし、それぞれ7名の跳躍高の平均値と標準偏差 (± 1 S. D.) が示されている。ここで跳躍高は両腕を体側にそって下した立位静止時の身体重心位置を基準の「ゼロ」とし、身体重心が最高点に達するまでの垂直移動距離を映画フィルム分析法により算出したものである。なお、フィルムの読み取りには Nac社製モーションアナライザーを用い、松井の合成重心係数⁶⁾を用いて身体重心位置を求めた。

膝関節屈曲角度の増減に伴う跳躍高の変化についてみると、膝関節屈曲角度120°から全屈曲へと小さくなるに従って跳躍高が約 40cm 前後からほぼ直線的に増加しフリージャンプで約 70cm 前後に達している。種目別には、各屈曲角度においてバレーボール群の方が体操群より平均値で約 2~4 cm 高い値を示しているが、跳躍高のバラツキが大きくバレーボール群と体操群の跳躍高の間に有意な差は認められない。しかし、各膝関節屈曲角度における跳躍高の分散を両種目で比較すると、屈曲角度120°でバレーボール群が 8.7cm、体操群が 7.0 cm、90°でバレーボール群が 3.1cm、体操群が 2.8 cm、60°ではバレーボール群が 3.9 cm、体操群が 3.6 cm と膝関節屈曲角度 120°~60°の範囲においては跳躍高のバラツキの変化パターンが非常に類似しているにも拘らず、全屈曲になると体操群が S. D. = 7.1cm と再びバラツキが大きくなっているのに対してバレーボール群は S. D. = 3.4cm とほとんど変化していない。さらに跳躍動作に制限を加えないフリージャンプになると両種間における跳躍高のバラツキの差は一層大きくなり、バレーボール群は S. D. = 1.4cm とフリージャンプにおいて最もバラツキが小さく、しかも跳躍高の平均値が 73cm と高い値を示している。

II 膝関節屈曲角度と最大パワーの関係

表 2 は、垂直跳の踏切り中に発揮されたパワーの最大値 (以後 Pmax と記す) をそれぞれ被検者について、各膝関節屈曲角度ごとに示したものである。

被検者個々について膝関節屈曲角度の変化に伴

表3 各膝関節角度におけるPmax/体重の値

種目	被検者	120°	90°	60°	全屈曲	フリー
体操	T・I	4.62	3.95	3.45	3.24	7.52
	T・T	3.99	4.76	4.12	5.32	7.69
	H・S	3.73	4.46	4.41	4.83	6.26
	K・I	4.86	4.44	3.48	4.00	6.23
	K・N	5.63	5.96	5.46	4.56	6.33
	K・A	5.71	6.01	5.44	5.29	—
	M・N	—	5.65	5.45	5.21	7.56
	平均	4.76	5.03	4.54	4.64	6.93
	S・D	0.75	0.77	0.84	0.72	0.66
	バレーボール	T・K	4.83	5.48	4.76	5.61
K・S		4.41	5.39	4.34	5.13	4.83
K・A		5.07	4.44	4.70	4.60	6.51
S・U		5.30	4.84	3.85	5.55	5.01
K・F		4.67	4.18	4.57	5.36	6.45
Y・I		5.05	6.17	4.29	4.84	6.68
T・M		3.80	3.60	3.92	5.44	7.18
平均		4.73	4.87	4.35	5.22	6.40
S・D		0.47	0.81	0.33	0.35	1.08

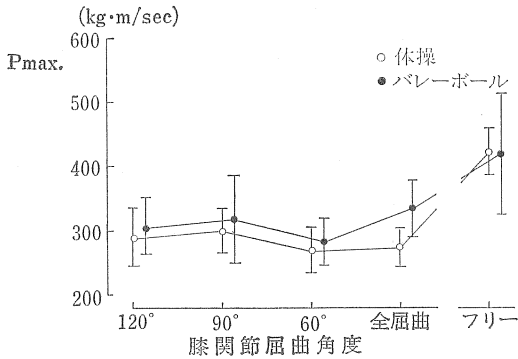


図3 膝関節屈曲角度と最大パワーの関係

うPmaxの変化の様相をみると、その変化のパターンは被検者によってさまざまであり一定した変化パターンを示していない。これはバレーボール、体操両群において見られる傾向である。

さらに、膝関節屈曲角度とPmaxの関係をバレーボールと体操両グループについて比較するために表3に示された平均値と標準偏差を種目別にプロットしグラフにしたのが図4である。このグラフより両種目におけるの特徴をみると、膝関節屈曲角度120°~60°の範囲においては、バレーボール群が平均値で多少大きな値(10~20 kgm/sec)

を示しているが、両種目共ほとんど同じ変化パターンを示しており、種目間で膝関節角度の変化に伴うPmaxの平均値、発現様相にその差は見られないが、膝関節全屈曲においてバレーボール群が体操群よりも有意に大きな値を示しているのがわかる。しかしながら、フリージャンプにおいてはPmaxに両種目間の差は見られない。

さらに、膝関節屈曲角度120°から全屈曲に至るまでの各関節角度におけるPmaxの変化をみるとバレーボール群、体操群共に膝関節角度が減少してもPmaxの値は増加あるいは減少の一定傾向を示すことなく、むしろ一定に近い発現様相を示している。

表3は、表2に示されたの値を被検者の体重で割り、単位体重当りのPmaxで表わしたものであ

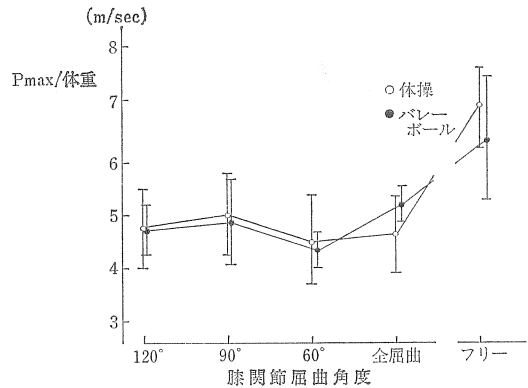


図4 膝関節屈曲角度と単位体重当りの最大パワーの関係

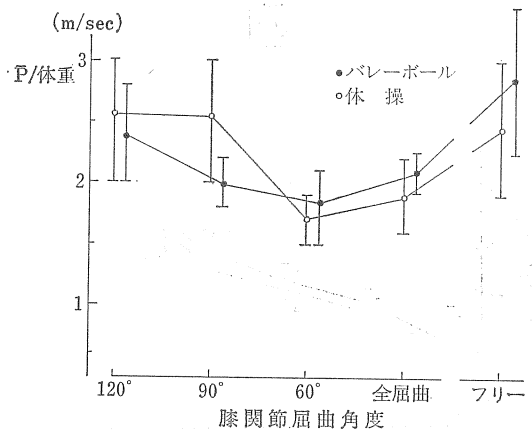


図5 膝関節屈曲角度と単位体重当りの平均パワーの関係

る。

図-4は、図-3と同様に表-3よりバレーボール群と体操群の単位体重当りのPmax(以後Pmax/体重と記す)の平均値及び標準偏差を各膝関節角度ごとにプロットグラフ化したものである。

Pmax/体重の値をみると、膝関節角度120°~60°の範囲ではPmax(図-3)の場合と反対に体操群の方が平均値で若干大きくなっているが、その差は小さい。さらにPmax/体重では、いずれの膝関節屈曲角度においても、バレーボール、体操群に差を見つける事ができない。同時にPmax/体重の変化パターンは図-3に示されたPmaxと非常に類似しており、膝関節120°~全屈曲に至るまでの各膝関節屈曲角度では、Pmax/体重の値に一定の増減傾向は認められず、ほとんど横バイ状態にあると見る事ができる。

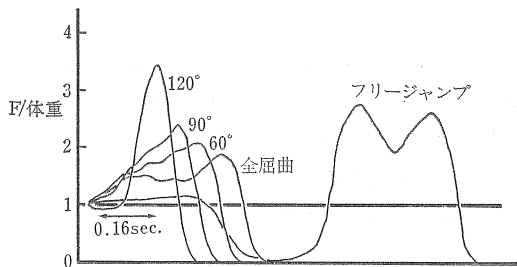


図-6 各膝関節屈曲角度におけるキックカの発現様相

Ⅲ 膝関節屈曲角度と平均パワーの関係

図-5は、垂直跳における膝関節屈曲角度と単位体重当りの平均パワー(\bar{P} /体重)の関係をバレーボール群と体操群について示したものである。 \bar{P} /体重の値は、それぞれの種目における平均値と標準偏差(± 1 S. D.)で表わされている。

バレーボール群についてみると膝関節屈曲角度が120°, 90°, 60°, 全屈曲と小さくなるに従って \bar{P} /体重の値も2.37, 1.99, 1.84, と減少し、膝関節角度60°において最小値をとるが、全屈曲では再び2.90と増加している。 \bar{P} /体重は膝関節角度60°度付近に最小値を持つなだらかな谷型の変化パターンを示している。これに対し、体操群の \bar{P} /体重の変化パターンをみると膝関節角度90°において2.53と膝関節角度120°とほとんど同程度の値を示

しているが60°, 全屈曲ではそれぞれ, 1.71, 1.89と大きく減少している。体操群においてもバレーボール群と同様、膝関節角度60°に \bar{P} /体重の最小値を示しており、膝関節角度120°から全屈曲、フリージャンプに至る \bar{P} /体重の全体的な変化パターンを観察すると、バレーボールと体操群ではほぼ同様な発現様相を示していると言える。

さらに、各膝関節屈曲角度ごとに \bar{P} /体重の値を比較すると、膝関節角度の浅い120°~90°においては体操群の方がバレーボール群より平均値で大きい値を示しているが、膝関節角度の深い、60°, 全屈曲及びフリー・ジャンプでは反対にバレーボール群の方が平均値でより大きな値を示している。

考 察

1. 膝関節屈曲角度と跳躍高について

本実験結果では、膝関節屈曲角度が120°から90°, 60°, 全屈へと深くなるに従って跳躍高はバレーボール群、体操群共ほぼ直線的に増加している。垂直跳の跳躍高は、足が地面を離れる瞬間の身体重心の鉛直方向速度の大きさによって決定される。さらに、この身体重心の鉛直方向速度を大きくするには、踏切り中に大きなキック力を発揮すると同時に踏切り時間を長くし、身体重心の鉛直方向への加速期間を長くする必要がある。本実験における垂直跳の跳躍条件として、上体及び両腕の振込反動々作を使わないため踏切り中のキック力は脚の伸展作用によってのみ生み出されるわけである。同時に、身体重心の鉛直方向移動距離を踏切りの膝関節角度の設定によって決まり、膝関節屈曲角度が深いほど、身体重心の移動距離も大きくなり、加速期間が長くなる。

結局、跳躍の原動力となる脚筋出力は各被検者個人において一定であるとすれば、膝関節屈曲角度における踏切り中の身体重心移動距離、すなわち身体重心の加速期間の差に起因するものと考えられる。

2. 膝関節屈曲角度と脚パワーの関係について 膝関節屈曲角度の変化に伴う、Pmax及び

Pmax/体重の値には増加あるいは減少の一定傾向は認められず、ほとんど一定に近い横バイ状態を示している。図-6は各膝関節屈曲角度における踏切り中のキック力を単位体重当りの値でグラフに表したものである。これを見るといずれの膝関節屈曲角度においても踏切りのほぼ終了付近にキック力の最大値が表われているが、その最大値は膝関節屈曲角度が120°から全屈曲へと深くなるに従って低下し、キック力の上昇勾配もゆるやかになっている。また、膝関節屈曲角度が深くなるに伴い跳躍高が増大している(図-2)のを見てもわかるように、踏切り終了付近の速度は膝関節屈曲角度が深くなるに従って大きくなっているのがわかる。結局、膝関節屈曲角度の変化に伴うキック力と速度の変化パターンが反対になっているため、この両者の積で表わされるPmaxは、お互いの変化パターンが相殺され、一定に近い値になったものと思われる。

さらに垂直跳における跳躍高とPmax/体重の関係についてみると、渋川、小林らは跳躍高とPmax/体重の間に高い相関関係($r = 0.7$ 以上)が見られる事を報告し、跳躍高から踏切り中に発揮された力学的パワーを評価する事の妥当性を示唆している。これは、比較的測定の容易な跳躍高から計算の複雑な力学的パワーをある程度評価できるという点で、大がかりな測定機器を持たない現場の体力測定にとって、有効な研究結果であるといえる。

そこで、本研究における跳躍高と体重の関係をみると、跳躍高が一定傾向を持って変化しても、踏切り中に発揮されたPmax/体重の値には一定の増減傾向がなく、一定に近い値を示しており、両者の間には比例的関係が見られない。すなわち、本実験における両腕、上体、脚の反動々作を使わず脚の伸展による垂直跳では、跳躍高から力学的パワーを評価するのはむずかしい。さらに、跳躍高の増減から、各膝関節屈曲角度における脚パワーを評価する事はむずかしいといえる。

1. まとめ

(1) 本研究は、両腕、上体の振込反動を用いない垂直跳を120°、90°、60°、全屈曲及びフリー

ジャンプの5種類の膝関節屈曲角度から行ない、踏切り中に発揮された力学的パワー(Pmax, Pmax/体重, \bar{P} /体重)を算出し以下項目について検討した。

- (a) 膝関節角度と跳躍高(重心)の関係
- (b) 膝関節角度と脚パワーの関係
- (c) 跳躍高と脚パワーの関係

(2) 実験方法としてフォース・プレートによる踏切り時のキック力(床反力)測定と高速度映画分析法を用いた。

(3) 膝関節屈曲角度が120°、90°、60°、全屈曲へと深くなるに従って跳躍高はほぼ直線的に上昇したが(約40cm→約70cm)、バレーボール群と体操群に各膝関節屈曲角度における跳躍高の差は見られなかった。

(4) 膝関節屈曲角度が120°から全屈曲へと深くなってもバレーボール、体操群のPmax, Pmax/体重の値に一定の増減傾向は認められず、むしろ一定に近い発現様相を示し、各関節角度における両群の値に差は見られなかった。

(5) 膝関節屈曲角度の変化に伴うP/体重の値はバレーボール、体操群共に膝関節屈曲角度60°で最小値を持つ谷型の変化をパターン示した。

(6) (3)、(4)、(5)より跳躍高とPmax, Pmax/体重の間には比例関係がみられなかった。すなわち膝関節角度とその時の跳躍高の増減から各膝関節角度における踏切り中に発揮された脚パワーを評価する事はむずかしいと考える。

参考文献

- 1) 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
- 2) 金原勇 春山国広, 三浦望慶「跳躍力を大きくする基礎的技術の研究(その1)」東京教育大学体育学部スポーツ研究所報2:P21~31, 1964
- 3) 小林一敏, 大島義晴, 小田博美, 前田寛, 「垂直跳びによるパワー評価の吟味」筑波大学体育学系紀

- 要 2 : P 95~101, 1979
- 4) 渋川侃二, 春山国広, 「垂直跳びの力学 (第 1 報)」東京教育大学体育学部スポーツ研究所報 3 : P 52~58, 1965
- 5) 渋川侃二, 「運動力学」 P 71~74, 246~263, 大修館, 1970
- 7) 松井秀治 「運動と身体の重心」 体育の科学社, 1958
- 7) 宮畑虎彦, 高木公三郎, 小林一敏, 「スポーツとキネシオロジー」 P 147~150, 大修館, 1965

昭和53年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. XII その2. 上肢の伸展パワーに関する研究

一肩関節側方拳上角度と上肢の伸展スピード、力、パワーとの関係一

報告者 財)日本体育協・スポーツ科学研究所

白鳥金丸* 黒田善雄 塚越克己
雨宮輝也 伊藤静夫 金子敬二
松井美智子

I 研究の目的

本研究は、Boxing の straight punch に関するひとつの知見を得る目的で行なった。

Boxing の straight punch は、Foot work, 腰のひねり、重心の移動など下肢を中心とする動きはもとより、上体のひねり、前腕、Knuckle のひねり等をともなった上肢の前方伸展運動で、その指導に当っては、全身的な運動としてとらえ、どれひとつにしても疎かにできないし、また、それら細かい動きをタイミングよくひとつの straight punch の動きにまとめて行くには、必ずしも容易ではなく、多くの時間を要するのが常である。本研究は、これら多数の straight punch を構成する条件のひとつである punch をくり出す側の肩関節拳上角度と、同じくpunchをくり出す側の、上肢の前方への伸展スピード、力、パワーとの関係に注目して行なった研究である。

従来、straight punch をくり出す際の肩関節側方拳上角度(脇の下の開く程度)については、例えば、肩の力を抜いて自然にとか、脇の下をあまりあけてはいけない等々、必ずしも合目的な拳上角度の指示はなされていなかったと思う。そこで本研究は、肩関節の拳上角度を外側方向に 0° (もっとも脇をしめた位置)、 30° 、 60° 、 90° の4段階に変化させ、各拳上角度における上肢の伸展スピード、力、パワーの発揮状況を実験的に観察することにより、この点に関する指導上の示唆を得ることを意図した。

II 研究の方法

1. 被検者

本研究の被検者は、いずれも右ききの健康な男子で、表1に示す特性を持った被検者であった。

2. 実験の条件

1) 被検者の体位

表1 被検者の特性

被検者	年齢 歳	身長 cm	体重 kg	右上腕囲 cm	右上腕長 cm	右前腕囲 cm	右前腕長 cm
K. K.	26	172.0	73.0	25.9	30.2	27.6	22.8
S. I.	30	167.0	57.0	23.5	30.0	24.5	24.6
T. A.	36	164.5	67.5	25.3	29.7	28.1	22.6
K. S.	37	165.0	71.6	28.3	28.8	32.6	24.8
K. T.	42	178.0	80.0	29.5	31.6	28.2	24.8

* 早稲田大学体育局

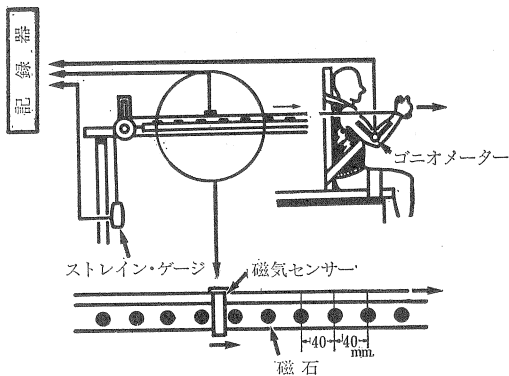


図1 実験装置

被検者が測定を受ける際の体位を側面から見れば、図1に示す通り、上体と大腿とのなす角度を直角にし、被検者が前方に力を発揮した際に力が後方に逃げることを防ぐ背もたれに背部を密着させた椅座位である。なお、椅子の高さは、被検者の足先が床にふれない高さに保った。また、被検者の上体及び大腿を図1の通り、上体は約5 cm、大腿は約10 cm 幅のベルトで椅子に固定した。特に、被検者が前方に knuckle を突き出す際、上体のひねりが加わらぬよう配慮して被検者の上体を固定した。

2) 肩関節側方挙上角度の調節

本実験は、図2に示す通り肩関節挙上角度を0°、30°、60°、90°の4段階に変え、各挙上角度における上肢の伸展力、スピード、パワーを測定したのであるが、所定の肩関節挙上角度を保つに

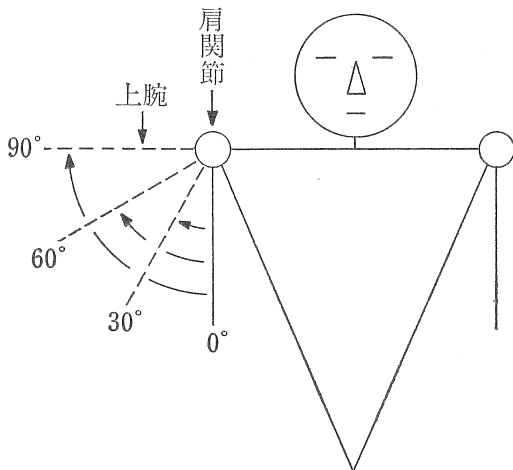


図2 肩関節挙上角度

当っては、図3に示す装置を作製し、上肢の伸展運動が所定の挙上角度で行なわれるよう配慮した。また、上肢の伸展運動に前腕及び knuckle の内側へのひねりが加わることを防ぐことを意図し、図4に示す通り、内側に厚さ約5 mmのスポンジが張ってある厚さ2 mmのアルミ板(副材料)を前腕及び knuckle に弾性包帯で固定して上肢の伸展運動を行なわせた。なお、各挙下角度における上肢の伸展力(アイソメトリック)及びスピード、パワーを測定する際の動作開始時肘関節

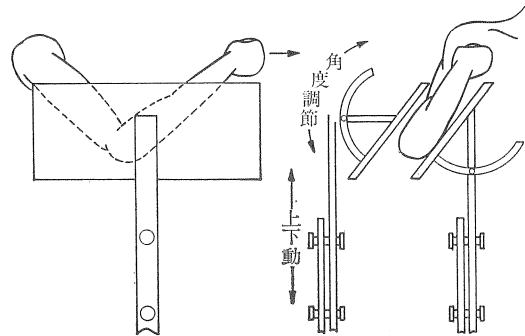


図3 肩関節側方挙上角度を保つ装置

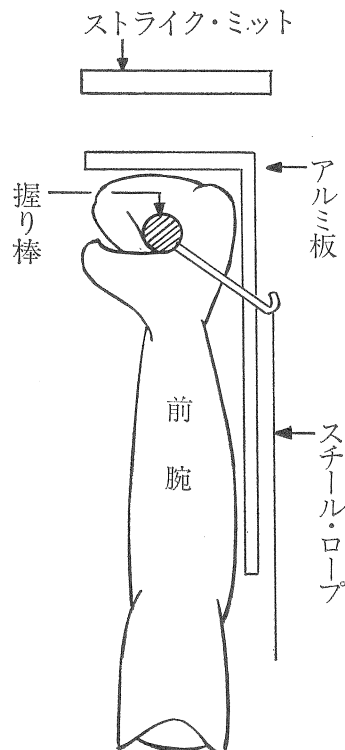


図4 knuckle 前腕の固定法

角度（上腕と前腕とのなす角度）は、いずれの場合も60度とした。

3) 上肢伸展力の測定方法

図3に示す装置にて、肩関節側方挙上角度を図2に示す通り 0°, 30°, 60°, 90°の4種に調節し、力の作用点には図4に示す固定をほどこし、図1に示すストレージの下端を固定して、4種の肩関節挙上角度における肘関節60度時の静的上肢伸展筋力を測定した。なお、力の発揮する方向は、いずれの場合も、knuckleの高さが肩と水平で、上体に対して直角の方向である。

4) 上肢の伸展スピード及びパワーの測定方法

a. スピードの測定方法

本研究における上肢の伸展スピードとは、肩の高さに保たれている肘関節角度 60°時の knuckle を肘関節角度が180°になる直前に設けられているストライク・ミット(図4)に最大努力の速さで当てるまでの knuckle の移動速である。そして、この knuckle の移動速度は、図1に示す通り、4 cm 等間隔直線に取り付けられているマグネッ

トの上を、knuckle の移動に同期して移動するマグネティック・センサー（三菱M-12）が通過することによって得られるパルスを記録（図5）することにより求めた。

b. パワーの測定方法

本研究における上肢の伸展パワー測定方法は、加重荷法である。すなわち、図1に示す通り被検者に、スチール・ワイヤーをかいして knuckle に接続されている重量負荷を、最大努力の速さの上肢伸展運動によって引きあげさせ、その際のスピード、力曲線を記録することによって求めた。そして図5は、その記録例である。ここで、

F：上肢伸展時に荷重に対して発揮された力

α ：荷重の加速度

V：荷重の速度

t：時間

w：荷重の重量

g：重力の加速度

P：上肢の発揮したパワー

とすれば、上肢伸展において荷重に抗して発揮

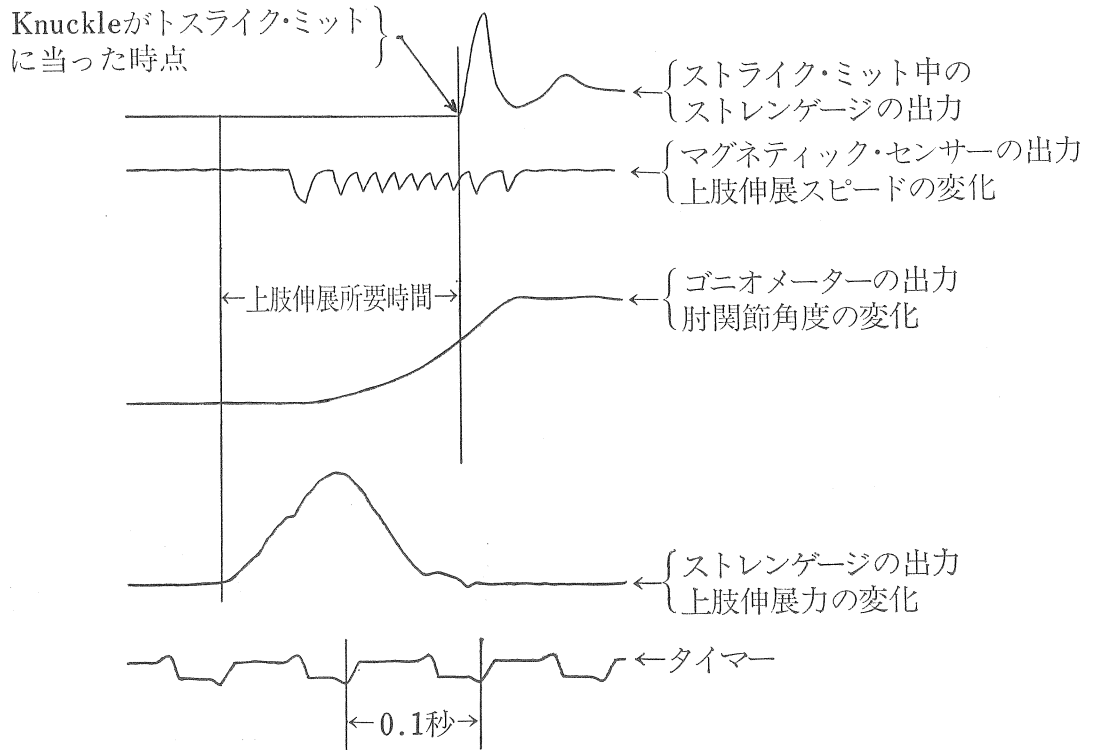


図5 上肢の伸展スピード、力の記録例

された力Fは、荷重を支える力、すなわち荷重の重量Wと、この荷重を動かすために要した力との和で、次式によって表わすことができる。

$$F = \frac{W}{g} \alpha + W \dots \dots \dots (1)$$

さらに、上肢の伸展パワーPは、力Fと荷重の速度との積であるから、次式によって求められる。

$$P = F \cdot V \dots \dots \dots (2)$$

但し、本研究における荷重の速度 $V = \text{knuckle}$ の移動速度は、上記の通りマグネティック・センサーから得られるパルスより求めている。すなわち、

- ① 4 cm 等間隔に並べられているマグネットの上を、マグネット・センサーが通過することに1コのパルス（電気信号）が得られる。
- ② マグネット・センサーからの電気信号は、ペーパースピード250 mm/秒でペンオシログラフに記録した。
- ③ 記録されたパルス間の距離Sを計測する。
- ④ 記録されているひとつのパルスから次のパルスまでに要した時間 t_i は、パルス間の距離 S_i とペーパースピード（250 mm/秒）より、次式で求めた。

$$t_i = \frac{S_i}{250} \dots \dots \dots (3)$$

さらに、マグネットの間隔は4 cmと一定であるので、荷重の速度Vは、スタート時点からの移動距離Sとその時の時間tより、次式で求めた。

$$V = \frac{ds}{dt} \dots \dots \dots (4)$$

また、荷重の加速度 α も次式により求めた。

$$\alpha = \frac{ds}{dt^2} \dots \dots \dots (5)$$

なお、使用した重量負荷は、330 g、660 g、990 gの3種で、いずれもストレンゲージ、スチールワイヤー、マグネティック・センサーを含めた重量である。また、各被検者に行なわれた上肢の伸展動作（試技）は各実験条件につき7回とした。

Ⅲ 結果と考察

1. 肩関節側方挙上角度と上肢伸展筋力

図1に示す通り knuckle を肩の高さに保ち、

肘関節角度60度一定で、図3に示す装置にて図2に示す通り、肩関節側方挙上角度を4段階に変えて測定した最大伸展筋力を表2及び図6に示した。

表2に示す通り、被検者5名の平均値と側方挙上角度との間には、一定の傾向を見ることはできなかった。また、被検者個々の測定値を追ってみても、3名は挙上角度に左右されず比較的一定した値を示したものの、1名は挙上角度の上昇につれて大きな伸展筋力を示し、1名は逆に小さな筋力を発現する傾向を示した。

従来、関節角度と筋力に関する研究は数多くなされており、両者の間には、ある一定の傾向があることが多く観察されている。但し、それらの多くは、例えば、肘関節角度と上腕屈筋力、あるいは膝関節角度と脚伸展力との関係のように、力の発揮にかかわる主動筋とその主動筋が直接関係する関節の角度とに見られる傾向である。もちろん、そうでない報告例もないわけではない。例え

表2 4種の肩関節側方挙上角度における上肢伸展筋力(右)

被検者		挙上角度			
		0°	30°	60°	90°
K.	K	45.3kg	53.5kg	70.1kg	82.5kg
S.	I	46.4	47.3	55.6	45.2
T.	A	44.2	43.1	43.1	43.1
K.	S	95.0	78.4	84.6	72.2
K.	T	68.0	68.0	63.9	72.2
平均		59.8	58.1	63.5	63.0
S. D		19.7	13.2	13.9	15.9

但し、肘関節角度は60度一定

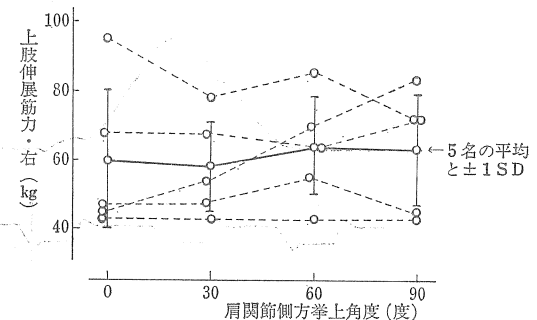


図6 肩関節側方挙上角度と上肢伸展筋力との関係

ば、Hertsberg と Clauser¹⁾は、肩関節の角度を前後方向に変えて上肢の伸展筋力を観察し、180°（水平位）で大きな筋力を観察し、90°（真下位）になるに従って筋力は小さくなる傾向にあると報告している。本研究は、Hertsberg と Clauser と同様、主働筋（上腕三頭筋）とは二次的な関係にある肩関節の角度を側方に変化させて上肢の伸展筋力を観察したのであるが、両者の間には一定の傾向が見られず、被検者によっては、ことなる傾向を示すことがあることを観察した。そして、この結果は、被検者の関係する筋の発達差に関するものか、骨格、関節の解剖学的は差に関するものかは不明であるが、例えば、プッシュ・アップあるいはディッピング等を行なわせると、被検者により、脇の開き具合・肩関節側方挙上角度がまちまちであると同様な理由によるものではないかと推察された。

2. 肩関節側方挙上角度と上肢の伸展スピード

a. 上肢伸展の所要時間

被検者に荷した上肢の伸展動作がスタートしてから終了するまでの所要時間、すなわち、3種の重量負荷、4種の肩関節側方挙上角度の組合せ実験条件で、肘関節角度 60° に保たれている上肢を最大努力の速さで伸展させ、前方に設けられているストライク・ミットをヒットするまでに要する時間（図5）の測定結果を図7に示した。

図7に示す通り、重量負荷 330 g 時の伸展所要時間は、108~172 m sec に分布し、被検者 5 名の平均値を観察すれば、側方挙上角度 60° 時の所要時間がもっとも短かく、他の側方挙上角度間においては、有意差は認められなかった。但し、側方挙上角度 90° 時については、最も短い所要時間で動作を完了した被検者もいれば、最も長い所要時間を要した被検者もあり、バラツキの多い挙上角度である特徴が観察された。

重量負荷 660 g 時の伸展所要時間は、挙上角度 0°、30°、60°の順に短縮する傾向が見られたが、60°と90°との間には、有意な差は認められなかった。

重量負荷 990 g 時の所要時間については、挙上角度 0° 時の所要時間だけが他の 3 挙上角度条件時に比して有意に大きく、他の 3 条件間には有意

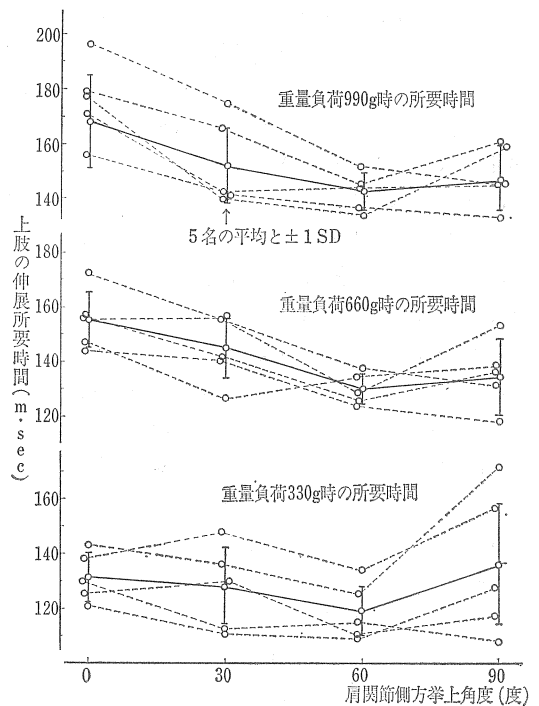


図7 肩関節側方挙上角度と上肢伸展所要時間

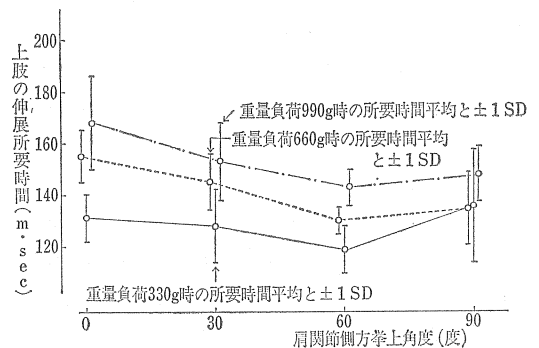


図8 重量負荷別上肢の伸展所要時間

な差は認められなかった。

ついで、負荷量と伸展所要時間との関係を観察すると、図8に示す通り、重量負荷が大きくなるに従って所要時間は、明確に遅延する傾向が見られた。但し、挙上角度 90° における重量負荷 330g と 660g との間には、有意差は見られなかった。

上肢の伸展距離・knuckle の水平方向移動距離は、重量負荷、肩関節側方挙上角度の実験条件によって変化しない被検者ごとの定数なので、ここに示す所要時間は、knuckle 平均移動速度の指

標でもあるが、Boxing においては、Punch を相手に当てるまでに要する時間、あるいはその防禦に関する時間としても興味がある。そして、Boxing において使用される glove の重量が 8～16 オンス (227～454 g) であることを考え合せると、図 8 に示す結果は、指導面にも参考になる興味深いものと思われた。Boxing の straight punch は、どのような側方拳上角度からも早い punch をくり出せることが望ましいわけであるが、本研究において得られた図 7、8 の結果から考察すると、脇をしめすぎでくり出す (側方拳上角度 0°) punch は、相手に当るまでに時間がかかる傾向にあり、逆に開きすぎる (側方拳上角度 90°) と、早い者、遅い者の個人差が強く、一般的には、60°、30° が適した側方拳上角度であろうと考察された。

b. 上肢伸展速度の変化

本研究における上肢伸展速度 (knuckle 移動速度) は、図 1 に示す方法にて測定した 4 cm ごとの移動時間より換算した値である。図 9-1～9-3 に示す結果は、横軸に上肢の伸展距離 (knuckle 移動距離) をとり、縦軸に 4 cm 間の平均速度をとって、4 種の肩関節側方拳上角度における各 4 cm 間の平均速度 (5 名の平均値と ± 1 SD) を示したものである。もちろん、表 1 に示す通り被検者の上腕長、前腕長の長さがことなるので、4 cm ごとの同一伸展距離にまとめて平均値を求めることには問題もあるが、上腕長+前腕長の値が、最も長い被検者と最も短い被検者の差が 4.1 cm で、伸展距離が 32 cm を越える者は 1 名で、他はいずれも 28 cm を若干越える程度であったので、伸展距離 28 cm までの 4 cm ごとにまとめて観察した。

図 9-1～9-3 のを並列して比較すれば、重量負荷が大きくなるに従って、明確に伸展速度が減少して来る傾向が観察でき、伸展終末速度 (knuckle ストライク・ミットに当る直前の伸展距離 24～28 cm の平均速度) を比較すると、重量負荷 330g 時と 990 g 時とでは、側方拳上角度により 0.5～0.7 m/sec の有意差が見られた。

肩関節の側方拳上角度と伸展速度との関係を観察すると、伸展初期速度については、重量負荷

660g 時には有意でなかったが、330g 及び 990g の際には、拳上角度 30° が早く、90° が有意に遅い結果を得た。しかし、伸展中間期における速度については、拳上角度 60°、90°、30° 時が早く、0° についてはいずれの重量負荷時においても遅かった。そして、伸展終末速度と拳上角度との関係を観察すると、いずれの重量負荷においても、5 名の平均値は拳上角度 60° の値が高く (早い)、拳上角度 0° との間には有意差が認められた。従来、右ストレート・パンチは、どちらかといえば脇をしめた位置 (拳上角度 0°) からくり出すようにとの指導が多くなされているように思う。もちろん、これは単にパンチのスピードあるいはパンチ力の問題だけではなく、防禦面をも配慮しての指導であると思うが、それにしても、脇をしめた位置・拳上角度 0° からくり出す knuckle には、必ずしも早いスピードが得られない本結果に興味を持たれた。また、かつて報告者等は、わが国の一流アマチュア・ボクシング選手の punch を 500～600 コマ/秒で高速度撮影し、右ストレートについては、15m/sec 前後の終末速度を得²⁾ている。この結果は、本実験とことなり、まったく自由な選手任意のかまえから、全身を使用しての右ストレートの値である。本実験の結果は、前記の通り下肢の動きはもとより、上体のひねり等をできるだけ排除し、できるだけ単純なかたちで上肢の伸展スピードを得るようにした結果である。また、前者はボクシングの一流選手で、後者は 1 名をのぞいて未経験者であるちがいもある。それにしても、両者の間には 3 倍近いスピードの差があることは、下肢の動き、上体のひねりなど全身的な動作が punch のスピードに大きく関与していることが推察され、興味深い結果であった。

3. 肩関節側方拳上角度と上肢の伸展パワー

a. 上肢伸展パワーの発揮パターン

本研究における上肢伸展パワーは、330g、660g、990g 3 種の重量負荷を使用しての測定で、重量の移動速度 (knuckle の移動速度) を 4 cm ごとの平均移動速度としてとらえ、さらにその間に発揮された力を測定することによって求めた。すなわち、発揮された一連の上肢伸展パワーを 7 区分の平均パワーとしてとらえた。図 10 は、3 種の重量

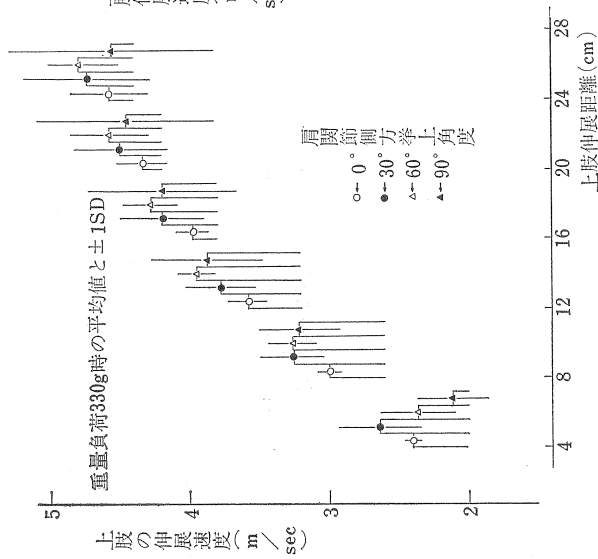


図9-1 330g重負荷時の上肢伸展速度

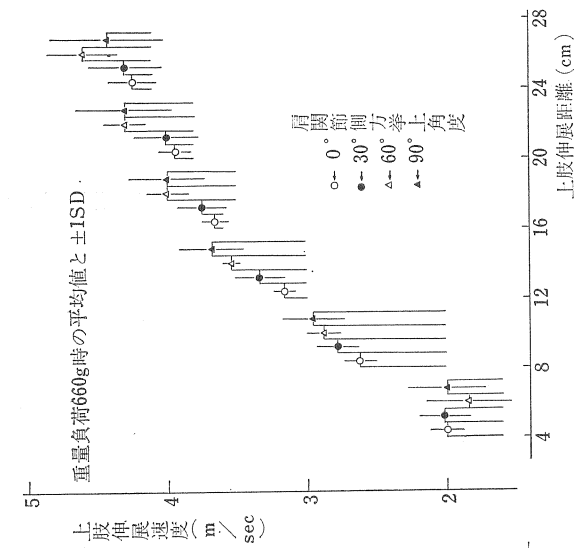


図9-2 660g重負荷時の上肢伸展速度

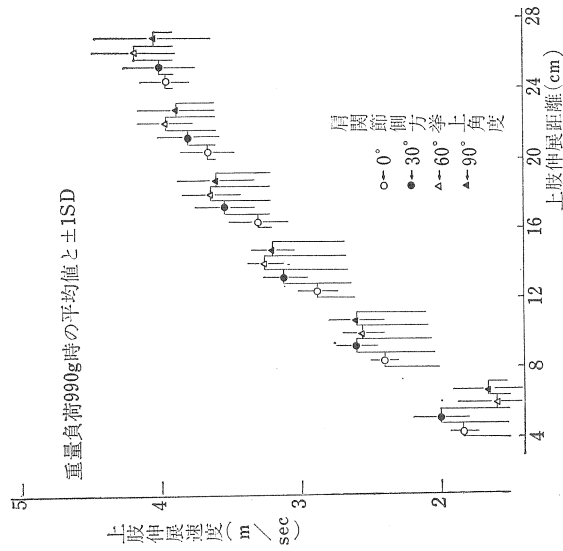


図9-3 990g重負荷時の上肢伸展速度

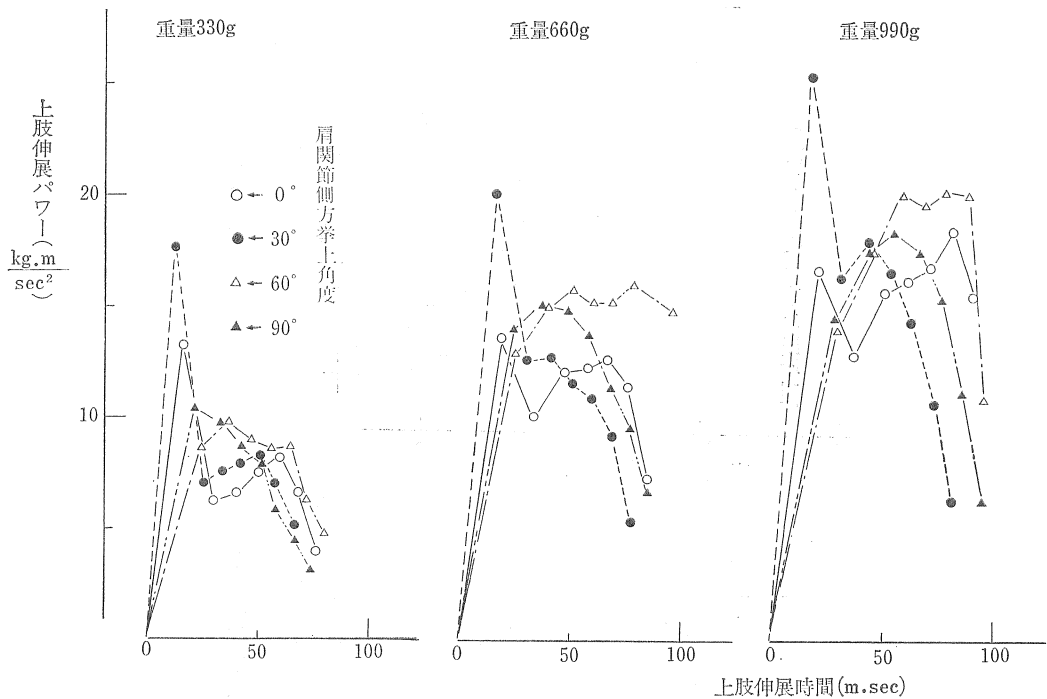


図10 3種の重量負荷, 4種の挙上角度における上肢伸展パワーの被検者例

負荷, 4種の肩関節側方挙上角度にて得られた上肢伸展パワーの1被検者の例である。図10に示す被検者は, いずれの重量負荷時においても, 挙上角度30°, ついで0°の際に立あがりよいパワーを発揮し, この被検者にとっては, 比較的脇をしめた伸展動作がすばやいパワーの発揮に適した動作と考えられる結果である。この被検者のように, 低い挙上角度において立あがりよいパワー発揮パターンを示した被検者は2名, 逆に60°, 90°の高い挙上角度時に良い者1名で, 他の2名は, 0°の挙上角度だけが悪く, 他の3角度条件は, 同じようなパワーの発揮パターンを示した。

b. ピーク・パワー, 平均パワーと側方挙上角度との関係

7区分にてとらえた伸展パワーの中から, 最も高い値をピーク・パワーとし, また, 7区分の平均を平均パワーとして, 3種の重量負荷, 4種の挙上角度との関係を示したのが図11及び12である。

ピーク・パワーと側方挙上角度との関係については, 図11に示す通り, 330gの重量負荷時にお

いては, 挙上角度0°時の平均値が他の挙上角度の平均値に比して有意に低く, 逆に挙上角度30°時の平均値は他の挙上角度より高く, 挙上角度60°と90°との間には有意差が認められなかった。660gと990gの重量負荷時に同様な傾向で, 挙上角度0°時だけが有意に低く, 他の3角度条件間には有意差が認められなかった。平均パワーと挙上角度との関係を観察すると, 図12に示す通り, 660gと990gの重量負荷時については, 挙上角度

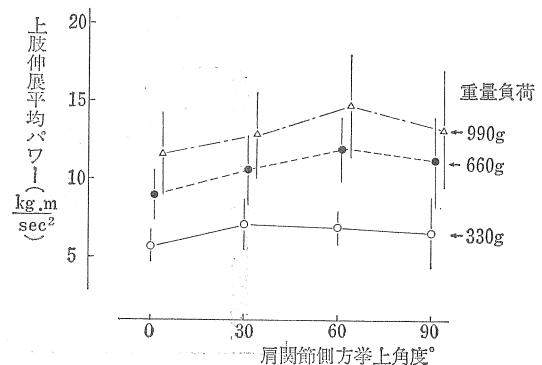


図11 上肢伸展ピークパワーと側方挙上角度

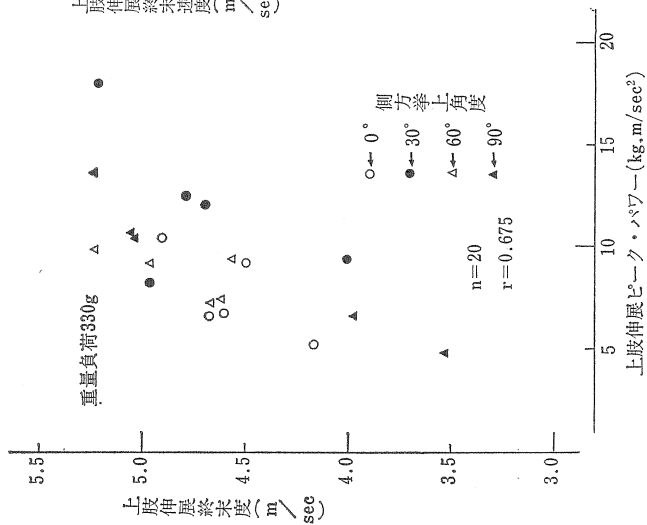


図13-1 330g重量負荷時の終末速度とピーク・パワー

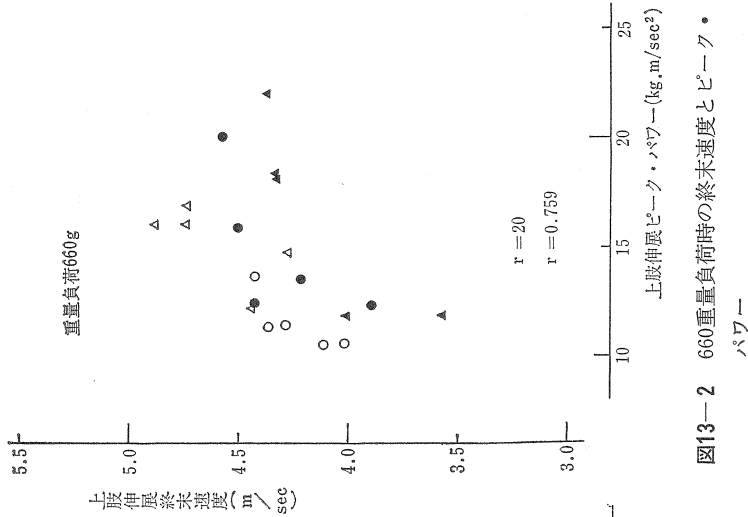


図13-2 660重量負荷時の終末速度とピーク・パワー

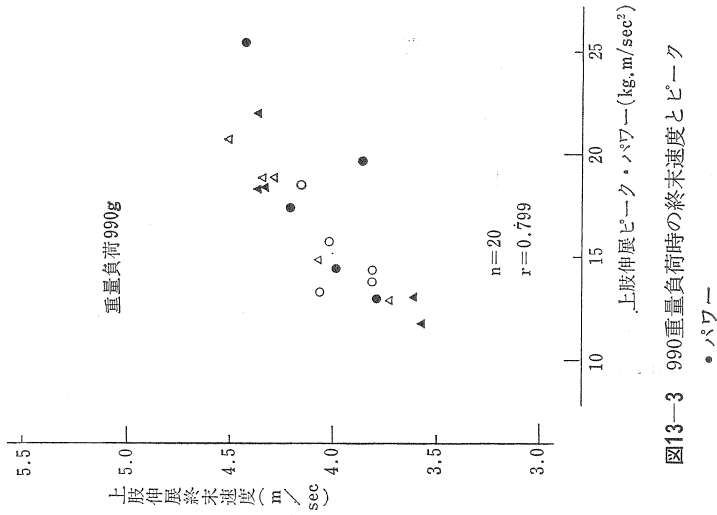


図13-3 990重量負荷時の終末速度とピーク・パワー

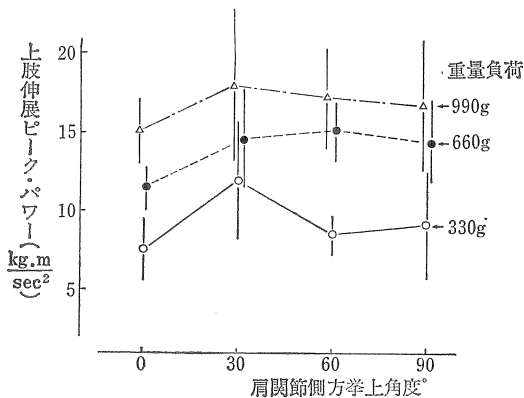


図12 上肢伸展平均パワーと側方挙上角度

0°, 30°, 60°の順に高くなる傾向を示したが、60°と90°の間には660g時には有意差は認められなかったが、990g時は90°の方が有意差に低下していた。330gの重量負荷時は、挙上角度30°, 60°, 90°の間及び0°と90°の間に有意差なく、0°と30°及び60°との間に有意差が認められただけで、挙上角度の変化にともなう平均パワーの大きな変化は見られなかった。すなわち、大きなパワーを発揮しようとするならば、側方挙上角度は30°あるいは60°が適当であろうと考えられる結果であった。なお、ピーク・パワーと平均パワーとの間には0.1%水準の有意な相関が認められ、平均パワーは、ピーク・パワーの70%前後であった。

c. 伸展終末速度と伸展ピーク・パワーとの関係

本研究の被検者は5名だけなので、相関関係を観察するには充分ではないが、横軸に上肢伸展ピーク・パワー、縦軸に上肢伸展終末速度をとり、3種の量重負荷別に両者の測定値をプロットしたのが図13-1~13-3である。

図13-1~13-3に示す通、330gの重量負荷においては $r=0.675$ 、1%水準、660g時には $r=0.759$ 、0.1%水準、990g時には、 $r=0.798$ 、0.1%水準の有意な相関が得られた。すなわち、スピードのあるパンチをくり出すためには、高い上肢の伸展パワーが必要であると考えられる結果であった。また、図示はしないが、終末速度と伸展平均パワーとの間にも同様に高い相関が認められた。なお、この終末速度と伸展パワー及び伸展

筋力3者の相関関係を観察すると、3者間には相互に5%水準以上の相関が認められた。東京オリンピック時のトレーニングドクター山崎³⁾は、筋力の増加は必ずしもパンチのスピードに結び付かない旨を述べているが、この主張に反論する結果、すなわちスピードのあるパンチ、破壊力のあるパンチをくり出すためには、上肢の伸展筋力、パワーともに必要であることが考察される結果であった。

IV まとめ

1. いずれも右ききの男子5名を被検者とし、ボクシングにおけるストレート・パンチに関する知見を得る目的で、右肩関節の側方挙上角度と右上肢伸展筋力、伸展スピード及び伸展パワーとの関係を検討した。
2. 上体のひねり等を排除するとともに、0°、30°、60°、90°4種の肩関節側方挙上角度が保たれて筋力、スピード、パワーの測定が行なわれるような装置を作製し、本研究に使用した。
3. 測定した上肢の伸展筋力は、肘関節角度60°でナックルを肩の高さに保って、上体に直角水平に突き出す静的筋力であるが、43.1~95.3kgの筋力が得られた。但し、5名の平均値には肩関節側方挙上角度との間に、一定の傾向は見られなかった。
4. 肘関節角度60°で肩の高さに保つナックルを、上体に直角水平に最大努力の速さで突き出させ、肘関節角度が180°になる直前に設けられたストライク・ミットに当たるまでのナックルの移動速度をマグネティック・センサーを利用し、4cmごとに測定した。但し、同時に加重負荷法による上肢伸展パワーを測定する意図により、330g、660g、990g3重量を負荷させた。
5. ナックルがストライク・ミットに当たる直前の上肢伸展終末スピードは、3.6~5.2m/secで、側方挙上角度との関係を観察すると、いずれの重量負荷時においても、5名の平均値は挙上角度60°時に高く(早い)、0°時との間には有意差が認められた。
6. 量重負荷330gで得た上肢伸展パワーは、ピーク値で4.8~17.9kg·m/sec²、平均パワーで

3. 4~9. 3kg・m/sec²であり、660g 負荷時はピーク値で10. 5~20. 0 kg・m/sec²で、平均パワーは7. 1~14. 7kg・m/sec²であった。また、990g 負荷時のピーク値は11. 8~25. 4kg・m/sec²で、平均パワーは8. 3~18. 1kg・m/sec²であった。なお、ピーク・パワーと平均パワーとの間には有意な相関が認められ、平均パワーはピーク値の70%前後であった。

7. 側方拳上角度と伸展パワーとの関係を観察すると、ピーク・パワー、平均パワーいずれにおいても拳上角度 0°時の値が低く、ピーク・パワーは 30°、平均パワーは 60°時に高い傾向が見られ、90°時は個人差が強く観察された。

8. 上肢の伸展終末速度と伸展ピーク・パワーとの間に有意な相関関係が認められた。

9. 上肢伸展終末速度と伸展パワー及び伸展筋力 3 者の間には相互に 5%水準以上の相関が認められ、スピードのあるパンチ、破壊力のあるパンチをくり出すためには、上肢の伸展筋力、パワーともに必要であると考察された。

参 考 文 献

- 1) Hertzberg, H. T. E., C. Clauser, Size and Motion in Bioastronautic Data Book, Webb, P., (ed), NASA-Sp-3006, 1964, Sect. 14, 241—271.
- 2) 白鳥金丸, 市原康允, Boxing の Punch に関する研究第 1 報—Punch Speed—について体育学研究15 卷 5 号, P121, 1970
- 3) 山崎栄一, ボクシング 東京オリンピック・スポーツ科学研究報告, P185—192, 1965.

