ヒトの脚パワーと力・速度要因

(I) 測定方法と力-速度およびパワーの関係について

川 初 清 典* 猪 飼 道 夫*

(昭和46年11月1日受付)

The Development of the Mechanical Power and the Force-Velocity Relation on the Human Leg Extensor

Kiyonori Kawahatsu and Michio Ikai

(School of Education, University of Tokyo,)

荷重負荷装置を作製して、膝関節伸展時の力と速度およびパワーを測定した。測定は、一般成人男女(23名)について行ない、更に、運動選手について、その特性を調べた。その結果、力-速度関係は Hill の特性式を満足した。運動選手についてみると、走種目競技者では、速度-力関係および仕事率-力関係ともに、短距離選手が最も高く、中距離、長距離の順に高い値を示した。サッカー競技者では、ゴールキーパーは、フィールドプレイヤーよりも高いパワーを示し、力-速度関係も高い値を示した。このように、運動選手の脚の力-速度関係は運動種目の特性を示すことが認められた。又、最大パワーは、最大筋力の30~40%の負荷で、更に最大速度の29~36%の条件で得られた。

The characteristic relation between force and velocity was studied by isotonic lever-pulley system against the different load in human leg extensor muscle. The velocity of the lower leg extension was calculated from angular velocity by the electrogoniometer and the force was measured with strain gauge tensiometer. The results were as follows:

1. As the velocity of the lower leg extension decreased with the increase of load, the force-velocity relation was presented by a hyperbolic curve as shown in the arm flexor.
2. This relation was fitted to Hill's equation except a range of the maximum velocity in adult females.
3. The mechanical power calculated from the force-velocity relation showed the maximum at approximately 30-40% of the maximum strength and at 29-36% of the maximum velocity.
4. The maximum velocity was 4.30 m/sec for adult males and 4.22 m/sec for adult females in average. The maximum strength was 67.8kg for males and 42.4kg for females. The maximum mechanical power was 41.7kgm/sec for males and 22.6kgm/sec for females.
5. The force-velocity relation in athletes showed specific pattern, that is to say, the curve for sprinter showed further higher pattern than that for middle and long distance runners. In the football player, goalkeeper showed also higher curve than the field players.

(Kawahatsu, Kiyonori and Michio Ikai: The development of the mechanical power and the force-velocity relation on the human leg extensor, *Research Journal of Physical Education*, Vol. 16, No.4, December, 1971, pp. 223~232.)

* 東京大学

緒 言

人体の運動は、筋収縮による力によつて起こされ、スピードを生ずる。ある運動では、スピードは小さいが、大きな力が発揮され、またある運動では、逆にスピードは大きい、小さな力しか発揮できない。

このような筋収縮の力とスピードの関係には、ある一定の法則性が潜んでいる。重いものを持ちあげるには大きな力を要しながらも、大きなスピードは出せない。軽いものに対してはこの逆になる。

このような力とスピードの関係をもとに、筋収縮機構の研究をはじめたのはA.V. Hill (1922)⁷⁾であるが、力対速度の関係が「直線関係ではなく」「化学的エネルギーによつて説明することの必要性」を最初に指摘したのは Fenn, W.O. (1935)⁴⁾である。等張力性収縮を起こした場合の筋力と筋短縮速度の関係について Fenn, W.O. と Marsh, B. S. (1935)⁴⁾ は、力(W)と、速度(V)の関係 (Force-Velocity Relationship) が、次の指数関係になることを示した。

$$W = W_0 e^{-aV} - KV$$

但し、Wは筋力、W₀は等尺性最大筋力、Vは筋収縮速度、aおよびkは定数。

そして先に、A.V. Hill (1922)⁷⁾ が提唱した粘性理論を改めて、「エネルギーが動員される速度が異なる」と説明したのである。

A.V. Hill⁸⁾ は、1938年、カエルの摘出筋に荷重負荷法を適用し、等張力性収縮時の熱発生を調べ、短縮速度(V)と荷重または力(P)の関係が、次のような直角双曲線の式でよく表わされることを見出した。すなわち、

$$(P+a)(V+b) = (P_0+a)b \quad (\text{一定})$$

但しPは荷重、Vは筋短縮速度、P₀は等尺性最大筋力、aおよびbは定数。

この式は Hill の特性方程式 (characteristic equation) と呼ばれる。

この Hill の特性式と人体筋の力-速度関係について行なつた研究には、Ralston, H. J. et. al. (1949)¹⁷⁾ の、上肢切断術をほどこした患者の大胸筋についてのもの、および Wilkie, D.R. (1950)²¹⁾

の上腕屈筋群についてのものがある。さらに、金子 (1970)^{13), 14)} が同じく上腕屈筋群について行なつた研究があり、いずれも Hill の特性式によく適合することを証明した。また金子 (1970)^{13), 14)} は、力と速度の関係から、パワー(力×速度)発生の法則性と要因の分析を進めた。

ヒトの脚筋パワーに関しては、体育の分野で、Sargent, D.A. (1921)¹⁸⁾ が垂直跳テストを考案した。それは後に、パワーテストとして発展していくことになるが、その当時はまだ脚筋パワーという見方はしておらず、身体能力という観点から、筋力、速度、エネルギー、器用さ等をみていた。その後 Sargent, L. W. (1924)¹⁹⁾ は、これを仕事量よりもむしろ仕事率を評価するテスト法であることを指摘した。Englehardt, J.L. (1924)³⁾ は、サージエントジャンプを「15秒間の跳躍高×体重/身長」のように修正し、比較的長い時間になされる仕事という取り扱いを行なつた。また Dalen, D. V. (1940)²⁾ は、垂直跳が、体重という固定した負荷のみに対して行なう運動であることの短所を、ダンベルを持たせて跳ばせることによつて補い、負荷を変化させたときのパワーをみている。さらに Dalen は、跳びあがつたときに、使用しない側の腕は、下にさげたまま、あるいは、両手を腰に当てて跳躍し、その跳躍高から、身長をさし引いた値を用いる等の修正を行つた。また Gray たち (1962)^{5), 6)} は簡便に、垂直跳のパワーを計算する方法を示した。

仰臥姿勢において、小林 (1961)¹⁵⁾ は、負荷を上から吊して、全脚の伸展によつてこれを水平方向へキックさせ、そのときのパワーを求めた。また 洪川たち (1968)²⁰⁾ は、自転車エルゴメーターを用いて脚パワーを測定し、その方法を示した。

これらの方法による脚パワーの測定は、いずれも運動に参加する筋群や、運動様式が相違するから、Hill の特性式に直接照らし合わせるには困難である。

いわゆる「力-速度関係」は、等張力性収縮(すなわち等速度)の条件下で、同一時点で発生した力と速度を照合する必要がある。

しかし猪飼と金子 (1963)¹⁰⁾、および 洪川たち (1968)²⁰⁾ の慣性車輪による研究では、等張力性状

態が得られない実験条件であるので、主として仕事、または仕事率が取りあげられており、力-速度関係は取りあげられていない。

本測定の目的は、荷重負荷法によつて、人体の脚における力-速度関係を調べるために荷重負荷装置を作製し、力-速度関係および脚パワーを測定し、さらにそれらの個人特性について比較検討することである。

測定方法

筆者等は、力-速度関係 (Force-Velocity Relationship) を調べるのに適した荷重負荷法によつ

図1 測定装置の原理図

て、脚パワーを測定するために、図1に示すような測定装置を作製した。それは滑車を介して荷重を持ち上げる方法である。滑車の半径は30cmのものをを用い、その材質は慣性質量の小さい市販のベニア板（12mm厚）を用い、これにレバーを取りつけ、被験者の足頸部にはめるようにした。

表1 本測定で扱った被験者と主な測定内容

被 検 者	人 数	測 定 内 容
一 般 成 人 男 子	13	力-速度の関係と Hill の特性式、最大パワー発現の条件
一 般 成 人 女 子	10	
ス キ ー 競 技 者 男 子	9	力-速度の関係と Hill の特性式、最大パワー発現の条件
ス キ ー 競 技 者 女 子	4	
短 距 離 競 技 者	6	力-速度関係の走種目群別比較とその特徴
中 距 離 競 技 者	4	
長 距 離 競 技 者	6	
サ ッ カ ー 競 技 者	3	力-速度関係の競技者別比較とその特徴
高 校 生 男 子	32	最大パワーと最大速度および最大筋力の関係
高 校 生 女 子	33	

被検者は椅子に坐り、膝関節角度 60° から 150° まで、最大努力で膝関節を伸展する。このときレバーは脚（足頸部）に引かれて滑車を回転させる。その際に滑車の周上に、ワイヤーケーブルが巻かれて図1のように荷重を引きあげる仕組みである。滑車の軸にエレクトロゴニオメーターを装着し、角変位-時間曲線を記録した。これにより角速度および力が作用する足頸部の線速度（脚伸展速度）を算出した。

荷重の設定は、等尺性最大筋力の0%、10%、20%、30%、45%、60%とし、各負荷において、速度を6回づつ測定し、その平均値を「脚伸展速度」の成績として採用した。

図2は、負荷が、等尺性最大筋力 (P_0) の0% (V_0 で示されている)、10%、30%、及び60%における角度変化曲線を示す。運動の後半では、直線となり、ほぼ等速となつてしていると判断された。従つて以下に述べる「力-速度関係」とは「荷重-速度関係」と同じ意味である。

また、本測定において扱った被検者は表1に示すとうりである。

結 果

〔I〕 力-速度関係について

一般成人男子13名、および一般成人女子10名について、ここに述べた方法で、速度および力を測定した。表2には男子についての値を示し、表3

図2 角変位—時間曲線

V_0 は無負荷を示し, P_0 は等尺性最大筋力を示す。

表2 一般成人男子の力・速度及びパワー
(P =力, V =速度, PV =パワー,
 P_0 =等尺性最大筋力であり以下同様)

Adult male		(N=13)	
$P/P_0 \times 100$	$P(\text{kg})$	$V(\text{m/sec})$	$PV(\text{kgm/sec})$
0 %	0	4.30	0
10	6.79	2.65	18.00
20	13.57	2.19	25.66
30	20.35	1.79	36.33
45	30.53	1.26	38.34
60	40.70	0.83	33.95
P_0	67.84		

表3 一般成人女子の力・速度及びパワー
Adult female (N=10)

$P/P_0 \times 100$	$P(\text{kg})$	$V(\text{m/sec})$	$PV(\text{kgm/sec})$
0 %	0	4.22	0
10	4.23	2.43	10.30
20	8.46	2.09	17.64
30	12.69	1.66	21.07
45	19.03	1.19	22.57
60	25.39	0.82	20.69
P_0	42.40		

には女子についての値を示した。また, 表2, および表3の値から図3が得られる。表2および表3の値から, 力—速度の関係を求めると次のようになる。

$$\text{男子: } (P+60.83)(V+3.47)=437$$

$$\text{女子: } (P+50.47)(V+3.54)=331$$

但し, P は荷重, V は速度を示す。

図3に示す双曲線状の曲線は, この力—速度の関係式に基づいて得られたものである。測定値は男女とも, 無負荷の状態における脚伸展速度(V_0 で表わされ, 最大速度と同じ意味である)を除

図3 一般成人男子及び女子の力—速度曲線及びパワー曲線

(直角双曲線は力—速度, 凸状曲線はパワー曲線を示し, 以下同様である)

き, Hill の特性式によく適合した。

無負荷の状態における脚伸展速度では, 男子が 4.30m/sec, 女子が 4.22m/sec であり, その男女比は, 98.2%となつて, 殆んど性差が認められない。しかし, 負荷(すなわち力)が増加するにつれて, 脚伸展速度の男女差が大きくなる。そして, 等尺性収縮における最大筋力(P_0)では, 男子が 67.84kg, 女子が 42.40kg となつて, 女子の男子に対する比は 62.5%となつた。

次に, 脚の力—速度関係について, 現在, 競技者である男子および女子を対象に測定し, 一般成人との比較を試みた。被検者は, スキー種目男子 9名, および女子 4名である。

これらスキー競技者の, 力—速度関係曲線, および仕事率—力関係曲線は図4に示す通りになつた。

最大速度(無負荷における速度)では, 男子競技者 9名の平均値が 5.68m/sec, 女子競技者 4名の平均値が 6.18m/sec となつて, 女子競技者の方が高い値を示した。又, 等尺性最大筋力では, 男子競技者の平均値が, 83.3kg, 女子競技者の平均値が 57.5kg であつた。

これら最大速度, および最大筋力は, とともに一般成人の値を大きく上まわるものである。

また, 力—速度の関係については, 次のようになつた。

図4 スキー選手の力-速度曲線及びパワー曲線

男子：(P+24.1)(V+1.65)=177.5

女子：(P+15.5)(V+1.67)=121.9

但し、Pは荷重、Vは速度。

図4の双曲線は上式から求めたものである。一般成人の場合には、無負荷における脚伸展の際に、実験式(Hillの持性式)に適合しない値がみら

れたが、これらスキー競技者の力-速度関係においては、無負荷における脚伸展速度の値もよく実験式に適合した。

〔Ⅱ〕 最大パワー（最大仕事率）について

一般成人男子、および一般成人女子の測定結果について、最大パワー発現の条件を、力および速度の面から調べた。

力-速度の関係がHillの持性式を満足する場合、その式から、力(P)とパワー(PV)の関係は、次のようになる。

$$PV = bp \{ (Po + a) / (P + a) - 1 \} \dots\dots(1)$$

Hill (1938)⁹⁾によると、パワーが最大となるときの力(P)を求めるために $dpv/dp=0$ とおいて(1)式を微分すると

$$p/a = \sqrt{1 + Po/a} - 1 \dots\dots(2)$$

となる。そこで測定値、P、Po、および定数aを代入した結果、一般成人については、表4が得られた。表4から、一般成人男子の最大パワーは、負荷(力)が27.3kg(等尺性最大筋力の40.3%)のとき、41.7kgm/secとなり、最大を示した。同様に、一般成人女子では、負荷が17.9kg(等尺

表4 最大パワーと力および速度の条件(一般成人)

Subjecte	N	PV max. (kgm/sec)	P		V	
			kg	% of max.	m/sec	% of max.
Male	13	41.7	27.3	40.3	1.54	36.0
Female	10	22.6	17.9	42.4	1.26	29.9

性最大筋力の42.4%)のとき22.6kgm/secとなり最大となった。

このように一般成人の測定においては、男女とも、負荷(力)が最大筋力の40%付近において、最大パワーが得られた。そのときの脚伸展速度は、表4に示される如く、男子では1.54m/secで、最大速度(無負荷における脚伸展速度)の36.0

%, 女子では1.26m/secとなり、最大速度の29.9%であつた。最大パワーが得られる際の速度を最大速度と比較すると、その割合が、男子よりも女子の場合に低いのは、女子の無負荷における速度が、比較的高いことによつてゐる。また女子の最大仕事率は男子の値の54%であつた。

次に、スキー競技者の最大パワー発現に関して

表5 スキー選手の最大パワーと力および速度の条件

Subject	N	PV max. (kgm/sec)	P		V	
			kg	% of max.	m/sec	% of max.
Male	9	46.9	26.7	32.1	1.75	30.9
Female	4	33.6	18.1	31.5	1.85	29.9

同じようにその条件を調べた結果が表5である。表5から男子競技者の場合には、等尺性最大筋力の32.1%（負荷は26.7kg）、最大速度の30.9%（速度は1.75m/sec）のときに46.9kgm/secとなつて最大を示した。また女子競技者の場合には、等尺性最大筋力の31.5%（負荷は18.1kg）、最大速度の29.9%（速度は1.85m/sec）のときに33.6kgm/secとなつて最大を示した。

〔Ⅲ〕 競技者の力—速度関係およびパワー—力関係の特徴

陸上競技の走種目の競技者については、種目群を走行距離から区分した。すなわち100mから400mまでの種目の競技者を短距離群とし、800mから1500mまでの競技者を中距離群とし、5000m以上の距離の競技者を長距離群とした。本測定では、短距離群6名、中距離群4名、長距離群6名について行なつた。

これらの競技者が、脚伸展運動を最大努力で行なつた際の力—速度関係および仕事率—力関係を図に示した。さらに、最大速度（無負荷の状態における脚伸展速度 V_0 ）、最大筋力（等尺性収縮による最大筋力 P_0 ）、および最大仕事率 PV_{max} についての平均値を表6に示した。図5および表6によると、最大筋力、最大速度、および最大仕事率のいずれにおいても、短距離群が最大、次に中距離群、長距離群の順となつている。図5にお

図5 走選手の力—速度関係および仕事率—力関係（横軸は力、左縦軸は速度、右縦軸は仕事率を示し、双曲線は力—速度関係、凸状曲線は仕事率—力関係を表わす）

表6 走選手の最大筋力 (P_0)、最大速度 (V_0) 及び最大仕事率 (PV_{max})

Runner	N	P_0 (kg)	V_0 (m/sec)	PV_{max} (kgm/sec)
Sprinter	6	94.5	6.58	58.29
Middle distance runner	4	75.5	4.95	46.53
Long distance runner	6	65.6	4.66	40.47

いて、力—速度関係を示す双曲線およびパワー—力関係を示す放物線状の曲線は、パワーを主とする筋運動能力における走種目競技者の種目の差を示している。

次に、本測定法の脚伸展運動が、サッカー競技において、球を蹴ることとよく類似した運動であることに注目し、力—速度関係および仕事率—力関係について調べた。被検者は、東京大学サッカー部員であり、ウイング、バック、およびゴールキーパーを1名づつ選び、競技のポジションと力—速度関係、および仕事率—力関係について測定した。そしてこれらの競技者の力—速度関係および仕事率—力関係を図6に示した。さらに表7は、これらの競技者の身長、体重、最大筋力、最大速度、および最大パワーを示している。図6および表7から、ゴールキーパーである被検者INIが、最大筋力、最大速度、最大パワーともに、最も高い値を示しており、最大パワーでは、ゴールキー

図6 サッカー選手のポジションと力—速度関係曲線および仕事率—力関係曲線（G・Kはゴールキーパー、Bはバック、Fはフォワード）

表7 ナッカー選手の身長・体重並びに、最大筋力、最大速度、および最大仕事率

(Football)						
Subj.	Age	Body height (cm)	Body weight (kg)	P ₀ (kg)	V ₀ (m/sec)	PV (max) (kgm/sec)
I N I	19	175.0	66.0	81	6.84	65.94
S I K	21	179.0	72.0	68	5.01	49.88
K R S	22	168.0	61.0	80	5.53	42.32

Note: INI Goalkeeper
SIK Back
KRS Wing

図7 最大仕事率と最大筋力の関係

パー、バック、ウイングの順に高い値を示した。これら3名の力-速度関係曲線および仕事率-力関係曲線を見ると、ゴールキーパーが全般にわたって著しく高い。このことは、ゴールキーパーの練習内容、ゴールキーパーとして要求される適性などが示されていると思われる。

〔IV〕 最大パワーに対する最大筋力と最大速度

各個人の成績について、最大パワーと最大筋力（等尺性最大筋力）の関係をみると、図7の如く

図8 最大仕事率と最大スピードの関係

なる。この図から、女子（白点）の値は、男子（黒点）の値と同じ範囲に分布し、男女共に、筋力の高い人ほどすぐれたパワー能力をもつことを示した。

次に、「パワーと筋力」の項で扱ったのと同じの被検者について、最大パワーと最大速度（無負荷の状態における速度）の関係を調べ、図8に示した。図8から、白点で示される女子の値は、筋力とパワーの項でみられた傾向とは異なっており、男子に比較して、最大速度では同じ程度の成績分布を示しながら、最大パワーでは男子（黒点）よりも下まわる傾向を示している。すなわち、最

大パワーは、最大速度よりもむしろ、最大筋力に強く影響されていることがわかる。

〔V〕 脚筋パワーと全身パワー

ヒトが全身運動を行なう際に、脚のなす役割は大変大きいので、全身が出し得るパワーと、脚パワーとの関係を調べてみる必要がある。R. Margaria たち(1966)¹⁶⁾は、全身無酸素性パワーを測定するために、全力で階段を、かけあがる方法を用いたが、本研究においては、摩擦負荷を与える自転車エルゴメーターを、全力で回転させる方法を用いて、全身無酸素性パワーを測定した。

同一被検者について、脚パワーと、全身無酸素性パワーの関係をみると、図9のようになり、脚筋パワーがすぐれている人ほど、高い全身性パワーを示している。

図9 脚筋パワーと全身無酸素性パワーの関係

論 議

本研究においては、荷重法によつて、脚パワーを測定する方法を確立し、更にその応用について示した。この方法によつて、脚力およびパワーを測定することは勿論、脚伸展速度と脚筋力、脚仕事率と脚筋力の関係を、一般人および運動選手について示した。

負荷が軽いときの運動は、脚自身の慣性質量の影響を受けやすい。本測定において、図3に示さ

れる如く、一般人では、特に女子において、無負荷の状態の測定値が、力-速度の関係式に合致しにくい傾向があつた。しかし、運動選手の測定においては、無負荷の状態における測定値も、実験式(Hillの特性式)によく一致した(図4)。

このように差がみられたことに関しては、無負荷での脚伸展とHillの特性式の関係、および、下腿と大腿伸筋群の慣性質量、荷重の運動(脚伸展運動の際の荷重の加速度)等の条件を考慮して、今後さらに検討しなければならない。

更に、無負荷の状態において、脚伸展速度は、男子は平均値で、4.30m/sec、女子は4.22m/secとなり、殆んど差をみない傾向を示したのに対し、等尺性最大筋力では、男子が平均値で67.84kg、女子は42.40kgとなつて、女子の最大筋力は男子のおよそ62%であつた(一般人の項、表2、表3)。

このような傾向は、最大速度と最大仕事率の関係を示した図8にもあらわれており、無負荷の状態では、男女の間に脚伸展速度の差をみなかった。最大速度(無負荷の状態における速度)の性差については、金子(1970)^{13),14)}が、人体の上腕屈筋群における測定から、殆んど差がない事を報告している。

次に最大パワー(最大仕事率)の発現条件について、一般人男子の平均値では、最大筋力の40.3%、同女子の平均値では最大筋力の42.4%の負荷において得られた。この点についてはA.V. Hill(1938)⁸⁾が最大筋力の約30%の負荷で、機械の仕事率の最大値を得、人体の場合でもほぼ同じであると述べたこと(1940)⁹⁾、およびWilkie, D.R.(1950)²¹⁾の研究結果にも、人体の上腕屈筋群における実験結果から、最大筋力の約30%の負荷において機械の仕事率の最大値を得ていることと比較すると、本研究ではやや高い筋力で最大仕事率が得られている傾向を示した。

又、短距離走競技者の平均値では、最大筋力の36.1%で最大仕事率を得ており、金子(1970)^{13),14)}が一般人男子について、上腕屈筋群では、最大筋力の35%、同女子については36%で最大仕事率を得たと報告したことに近い値が認められた。更に、スキー競技者では、男女共、最大筋力の約30

%の負荷で、最大仕事率が現われた。そして、最大仕事率は最大速度の29%~36%の範囲で得られた。この速度の条件は、金子(1970)¹³⁾が上腕屈筋群について、一般成人男子が最大速度の33%、女子が34%と報告したことに近い値である。

走種目競技者については(図5)、走行距離が短い種目群の競技者ほどパワーが高く、逆に、走行距離が長い種目の競技者ほどパワーが低いという結果を得た。筋運動の様式は、走行距離が短い種目ほど高いパワーが要求されることからみて、当然の結果ともいえるが、それが本研究によつて明らかにされたということである。

次にサッカー競技者については(図6)、ゴールキーパーが特に高い仕事率-力関係曲線を示した。Caru, B. たち(1970)¹⁾も、ゴールキーパーの無酸素性全身パワーがフィールドプレーヤーよりも高いという結果を得て、「ウイングでは、ゲームにおいて常に走っており、持久的な運動が多く、ゴールキーパーは、攻撃されたときに、瞬発的に動けなくてはならないという運動の性格が表わされている」と述べている。ゴールキーパーは、ボールを相手陣地にむかつて、出来るだけ遠くへ蹴りかえすトレーニングを多く行ない、又、強力な跳躍力が要求され、トレーニングされるという事実が、パワー成績の優秀さの背景にあるものと考えられる。

要 約

荷重負荷装置を作製して、最大努力による膝関節伸展時の力と速度、およびパワーを測定した。脚伸展速度の測定は、エレクトロゴニオメーターを使用し、力の測定は、ストレインゲージ張力計によつた。

1. 脚伸展速度は、筋力(負荷)の増加とともに減少し、力と速度の関係は直角双曲線となつた。

2. 力-速度の関係は、一般成人男子、およびスキー競技者(男子および女子)では、Hillの特性式に適合したが、一般成人女子での最大速度はこれからはずれた。

3. 一般成人の測定値では、男子13名の平均値が、最大筋力 67.8kg, 最大速度 4.30m/sec, 最大パワー 41.7kgm/sec となり、女子10名の平均値

が、最大筋力 42.4kg, 最大速度 4.22m/sec, 最大パワー 22.6kgm/sec となつた。

4. スキー競技者では、男子9名の平均値が、最大筋力 83.3kg, 最大速度 5.68m/sec, 最大パワー 46.9kgm/sec となり、女子4名の平均値が、最大筋力 57.5kg, 最大速度 6.18m/sec, 最大パワー 33.6kgm/sec であつた。

5. 最大パワーは、最大筋力の30%~40%の負荷で、又最大速度の29%~36%の条件で得られた。

6. 力-速度関係の男女差は無負荷の状態ではほとんどなく、負荷が増加するにつれて大きくなつた。

7. 走種目競技者では、力-速度関係曲線および仕事率-力関係曲線は、短距離、中距離、長距離の順に高い値を示した。

8. サッカー競技者において、ゴールキーパーは、フィールドプレーヤーよりも大きいパワーを示した。

9. 脚パワーは、全身無酸素性パワーと高い関係にあつた。

最後、本研究にあたつて、種々の示唆を仰いだに、大阪体育大学、金子公宥助教授に、記して深く謝意を表します。

なお本研究は、文部省科学研究費特定研究「運動制御とその機構」の一部として行なわれたものである。

引 用 文 献

- 1) Caru, B. et al.: Maximal aerobic and anaerobic muscular power in football players. J. Sports. Med., 10, 100-103, 1970.
- 2) Dalen, D. V.: New studies in the sargent jump. Res. Quart., 11, 112-115, 1940.
- 3) Englehardt, J.L.: A test of physical efficiency. J. Psychol., 15, 573-578, 1924.
- 4) Fenn, W.O., and Marsh, B.S.: Muscular force at different speeds of shortening. J. Physiol., 85, 227-297, 1935.
- 5) Gray, R.K. et al.: A test of leg power. Res. Quart., 33, (1), 44-50, 1962.
- 6) Gray, R.K. et al.: A useful modification of the vertical power jump. Res. Quart., 33, (2), 230-235, 1962.

- 7) Hill, A.V.: The maximum work and mechanical efficiency of human muscles and their most economical speed. *J. Physiol.*, **56**, 19-41, 1922.
- 8) Hill, A.V.: The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc. Roy. Soc. B.*, **126**, 136-195, 1938.
- 9) Hill, A.V.: The dynamic constants of human muscle. *Trans. Roy. Soc. B.*, **128**, 263-274, 1940.
- 10) 猪飼道夫・金子公宥, パワーの測定. *OLYMP I A*, **2**, 68-75, 1963.
- 11) 猪飼道夫・金子公宥, 慣性エルゴメーターによる人体筋パワーの測定. *体育学研究*, **8**, 72-82, 1965.
- 12) 猪飼道夫・金子公宥, パワー(瞬発力)の研究 I, **I**, *体育の科学*, **15**, 571-576, 634-639, 1965.
- 13) Kaneko, M.: The relation between force, velocity and mechanical power in human muscle. *Res. J. Physical Education*, **14**, (3), 143-147, 1970.
- 14) 金子公宥, 筋収縮の力・スピード・パワー, *体育の科学*, **20**, (6), 368-373, 1970.
- 15) 小林一敏, 力学的にみた瞬発力. *体育の科学*, **11**, (12), 604-607, 1961.
- 16) Margaria, R., et al.: Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *J. Appl. Physiol.*, **21**, (5), 1662-1664, 1966.
- 17) Ralston, H.J., et al.: Dynamic features of human isolated voluntary muscle in isometric and free contraction. *J. Appl. Physiol.*, **1**, (2), 526-533, 1949.
- 18) Sargent, D.A.: The physical test of a man. *School and Society*, **13**, (318), 128-135, 1921.
- 19) Sargent, L.W.: Some observations on the sargent test of neuromuscular efficiency. *Am. Phys. Educ. Rev.*, **29**, 47, 1924.
- 20) 波川侃二等, 自転車エルゴメータ作業の力学的考察. *東京教育大学スポーツ研究所々報*, (6), 55-62, 1968.
- 21) Wilkie, D.R.: The relation between force and velocity in human muscle. *J. Physiol.*, **110**, 249-280, 1950.