

跳 躍 運 動 の 研 究 (第 1 報)

種々の膝角度における静的筋力と瞬発力について

野 原 弘 嗣・山 岡 誠 一・畑 岡 正 夫・花 田 登

Kinesiological study of Jumping (1st report)

—The effect of knee angle upon static strength and power—

H. NOHARA, S. YAMAOKA, M. HATAOKA and N. HANADA

Received September 30, 1971

I 緒 論

跳躍における踏み切りの成否は踏み切り瞬時の重心の位置と跳躍力に関係する。跳躍力は附随する肢体の動作にも関係するが、脚の筋力とその発揮のしかたに負うところが多い。そこで、基礎的研究の一部として、まず、静的に発揮される脚筋力と、瞬発的に発揮される脚筋力について検討を試みることにした。

脚の伸展筋力の測定には、従来より種々の方法が用いられている。^{1~5)}しかし、筋力は筋の伸展の度合いによって差異があり、Hettinger⁶⁾ にも指摘しているように、筋力は関節角度の相違によって異なるものであるから、脚の伸展筋力の発現様相を究めるには、膝関節角度との関連について検討しなければならない。⁷⁾⁸⁾⁹⁾

Smith, McClements, Berger⁷⁾ らは、脚の静的筋力と瞬発力の関係を脚伸展筋力と垂直跳びを用いて検討している。しかし、垂直跳びの記録について、特定の膝関節角度での伸展筋力、あるいは体重当たりの筋力などとの関係を求めているために、三者には一致した結論を得ていない。

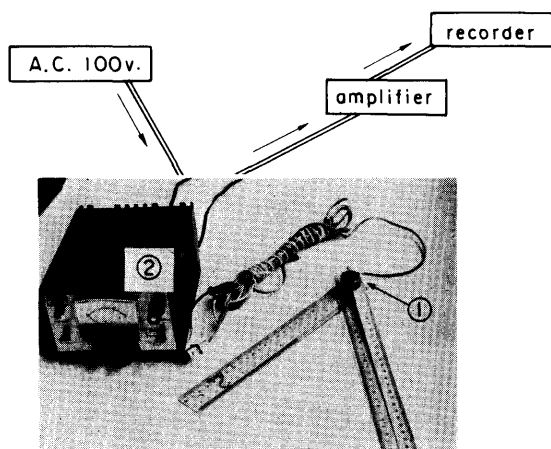
筆者らは、脚伸展の静的筋力を膝関節角度との関係から追求するとともに、瞬発力については跳躍準備姿勢における膝角度、膝の伸展に伴う角速度、跳躍高などから多面的に観察した結果、跳躍力についての若干の知見を得たので報告する。

II 実 験 方 法

陸上競技短距離選手(22才男子, 200m走ベストタイム23''5, 身長, 177.1 cm, 体重, 59.0 kg, 胸囲 86.5 cm, 座高 97.5 cm) を被験者として以下の実験を行なった。

1) 動作中の膝関節角度の測定

膝関節伸展動作中の膝関節角度(以下、膝角度と略す)の変化を正確に測定し、かつ他の記録と対応させるために被験者の膝関節外側に electro goniometer を装着して膝角度の変化をペンオシロ記録紙に収録した。



①: volume control (PR-3, B1 k Ω , COSMOS)
②: D.C. power supplier (SP-3, TRIO)

Fig. 1. Electrogoniometer.

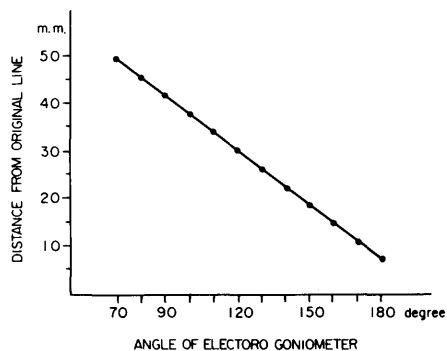


Fig. 2. The result of the test of electrogoniometer used in this study.

electrogoniometer は第1図のように、二本の直定規を結んだ交点に可変抵抗器 (PR-3, B1 k Ω , COSMOS) を取り付け、その直定規のつくる角度の変化を電圧の変化に転換するよう

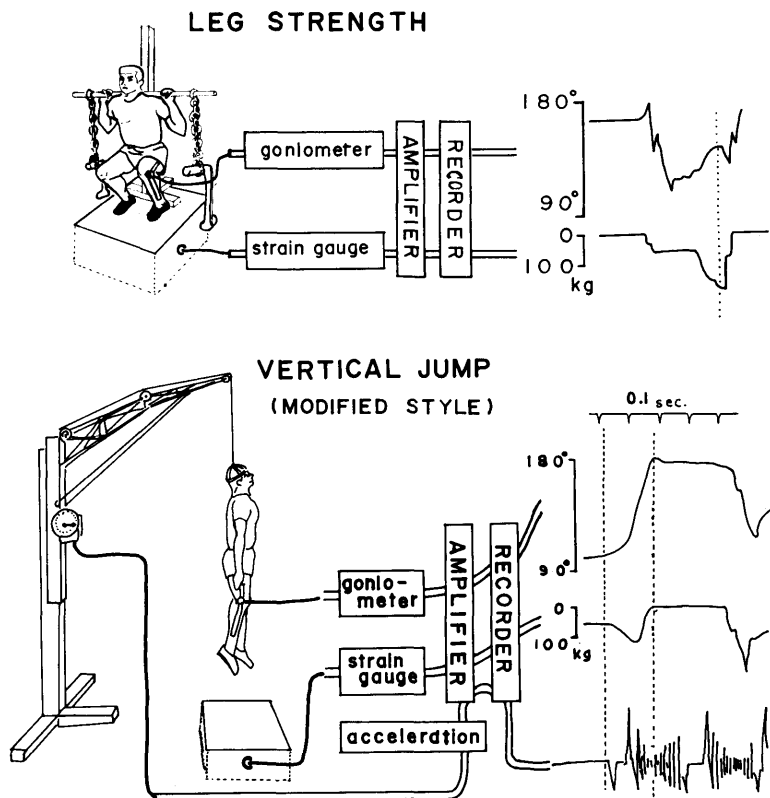


Fig. 3. Procedure of measurement of static leg strength and modified vertical jump.

に作成した。この electro goniometer の 70° から 180° にわたる間の検定成績は第2図のように直線関係であった。

2) 膝関節伸展筋力の測定

被験者は第3図のように、strain gauge を取りつけた力量計（新興通信 K. K. 製）の上にスクワット姿勢で構え、鎖で高さが固定された横木を両肩でかつぎ上げる方法を用いた。ただし、片脚の筋力測定の場合は、反対足を後方の台上において利足の筋力を測定した。なお、筋力発揮時に現われ易い腰の前後動を防ぐために、被験者の背後に支柱を立て、これに臀部を当てた姿勢で膝の伸展を行なわせた。

3) 膝関節伸展による瞬発力の測定

瞬発力の測定は、変形垂直跳びを両足および片足で、準備姿勢（以下、「構え」の姿勢と略す）の膝角度は 70° から 170° にわたる範囲で角度を変えて行なわせた。ここで用いた変形垂直跳びとは、身体の屈曲による沈み込み反動動作、腕のふり上げなどによる跳躍力増強効果を防ぐために、これらの補助的動作を禁止した形式で行なった垂直跳びである。

個々の跳躍については、leapmeter（竹井機器 K. K 製）で跳躍高を測定するとともに、leapmeter の糸巻き軸の回転速度、strain gauge を取りつけた力量計のひずみ量、electro goniometer からの膝角度を増幅器を通してペンオンロ記録紙に収録し、これを分析して身体上昇の加速度、跳躍に使われたキック力、膝関節伸展の経時的推移（角速度）などを求めた。

III 実験結果

1) 膝関節伸展筋力

第4図および第1表は、脚伸展動作における伸展筋力と膝角度の関係を示したものである。

両脚で伸展した場合についてみると、膝角度が 70° のときの伸展筋力（約 50 kg）から 120° （約 170 kg）までは、膝の屈曲が浅くなるにつれて伸展筋力は加速度的に増大し、膝角度が

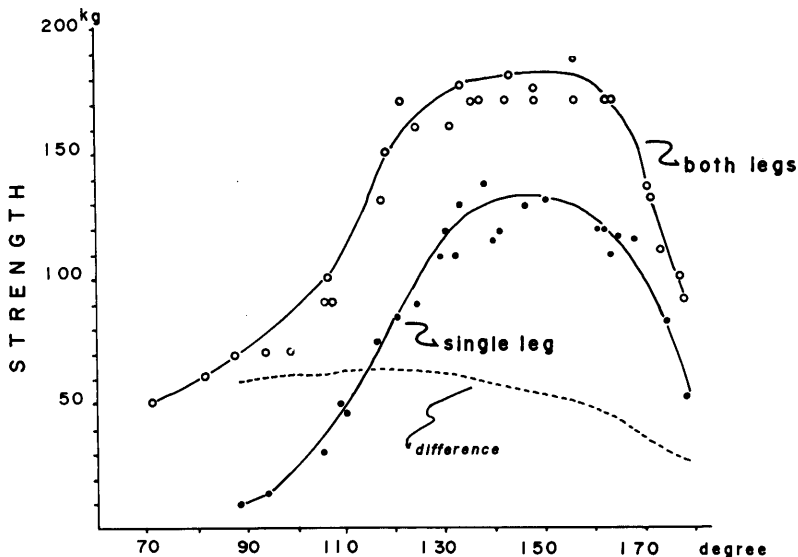


Fig. 4. The effect of knee angle upon static leg strength.

Table 1. Comparison of the level of strength and range of knee angle about both legs and single leg.

level of strength	100%	90%	85%
single leg	138°	133°~150°	130°~165°
both legs	156°	133°~156°	120°~165°

120° から 165° の範囲では、最大伸展筋力 195 kg (156°) の85%以上を示した。このうち膝角度が 133° から 156° の範囲での筋力は最大伸展筋力の90%以上であって、この範囲が最大筋力ないしはそれに近い筋力の発揮できる膝角度であると考えられる。

片脚での伸展の場合の筋力は、各膝角度とも両脚の成績より劣るが、両者はほぼ並行した変化を示し、片脚での伸展筋力の最大値 138 kg (138°) の90%を越える伸展筋力は膝角度が 133° から 150° のときに記録された。両脚と片脚の伸展筋力の差は図中に点線で示してあるように、膝の屈曲が約 150° よりも深いときには伸展筋力に関係なくほぼ同様に 50~60 kg であるが、160° よりも浅い屈曲になると両脚と片脚の伸展力の差は少なくなっていた。

2) 「構え」の膝角度からみた垂直跳びの跳躍高

変形垂直跳びにおける跳躍開始（構えの姿勢）のときの膝角度と垂直跳びの記録との関係は第5図に示した通りである。

両足踏み切りでの跳躍高は、「構え」の膝角度が 80°~90° のときに最高値 (40.0 cm) を示し、「構え」の姿勢の膝の屈曲が浅くなるにつれて跳躍高は低下する。これに対し、片足踏み

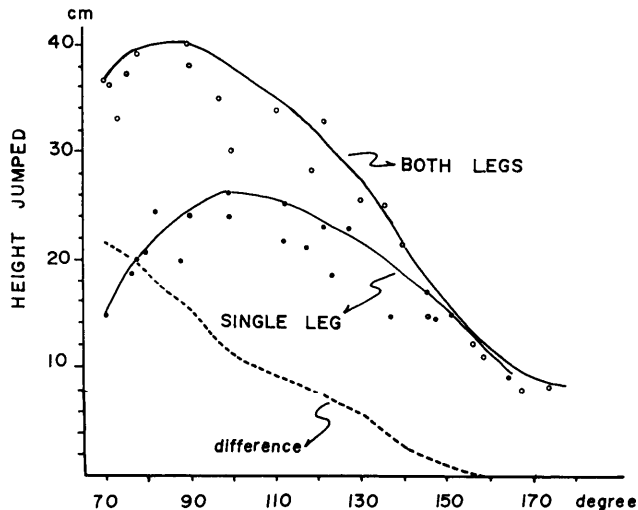


Fig. 5. The effect of knee angle upon performance of modified vertical jump.

切りでの垂直跳びの場合は 100° 前後で最高値 (26.3 cm) を記録し、「構え」の膝の屈曲がこれより浅くても、また深くても跳躍高は低下する。

図中の点線はそれぞれの膝角度における両足踏み切りと片足踏み切りの跳躍高の差を示したものである。膝角度が 150°~160° よりも浅い場合には、両足跳びと片足跳びの跳躍高の差はほとんどみられないが、この膝角度より屈曲が深くなるにつれて両者の差はほぼ直線的に増大

し、膝角度が約 80° のときにはその差が約 20 cm となり、片足跳びの跳躍高は両足のその約 $1/2$ になっていた。

3) 跳躍時の膝角度，キック力，上昇加速度の推移

各膝角度からの垂直跳び動作における膝角度の変化，キック力および身体上昇の加速度の動作時間中の推移は第6図に示した通りである。同図は両足跳びと片足跳びにおいてほぼ同じ膝角度から跳躍が行なわれた例について，ペンオシロ記録紙の記録から1/30秒おきの値をとり，

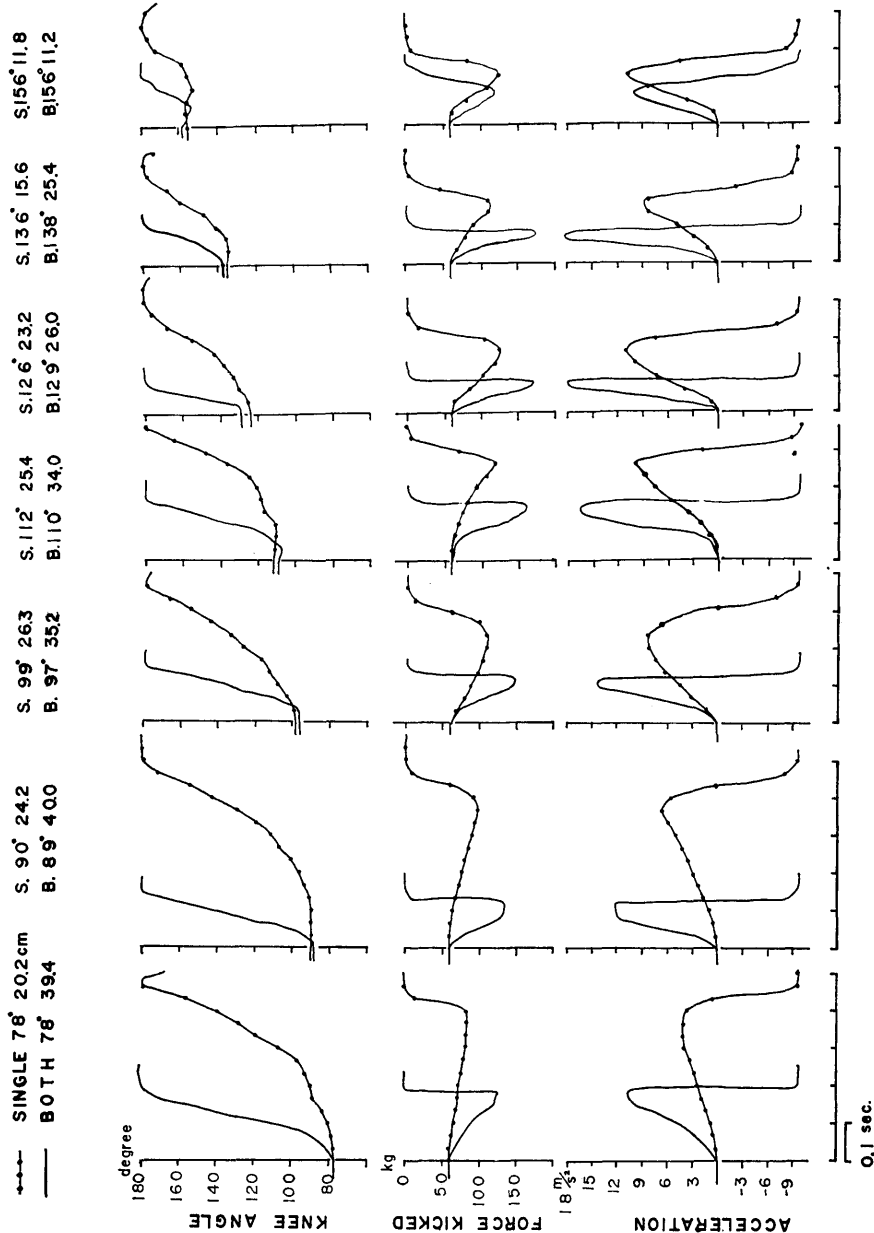


Fig. 6. The effect of knee angle upon the movement of knee joint, the kicking force, upward acceleration at modified vertical jump.

両者を比較したものである。

膝角度の経時的推移をみると、踏み切り動作の開始から膝が 180° に伸展されるまでの踏み切り所要時間は、片足跳びの方が両足跳びの場合より長く、この差異は構えにおける膝の屈曲が深くなるほど顕著である。

動作中の膝角度の経時的推移から膝関節伸展の角速度を求め、最大角速度（踏み切り動作の終了直前に記録されている）を「構え」の膝角度から比較すると第7図のようになる。それぞれの膝角度からの垂直跳びにおいて、最大角速度と垂直跳びの跳躍高（第5図）とは類似の傾向を示していて、両者の相関係数は、両足跳びでは $r = 0.96 (< p = 0.01)$ 、片足跳びでは $r = 0.76 (> p = 0.05)$ であって、いずれも有意の相関が認められた。

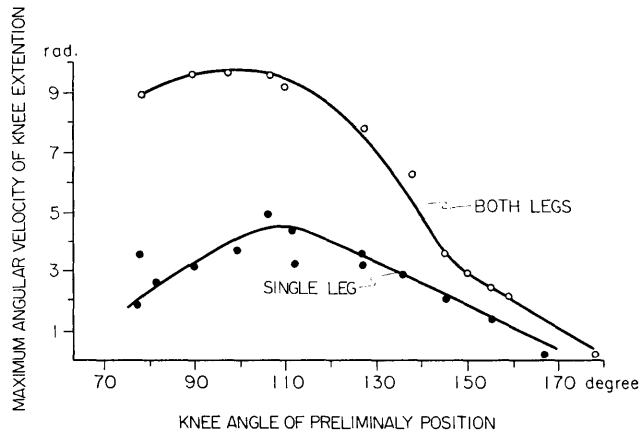


Fig. 7. The effect of knee angle upon the maximum angular velocity of knee extension in modified vertical jump.

キック力と身体上昇の加速度の経時的推移（第6図の中段および下段）をみると、両足跳びの場合では 78° から 138° 、片足跳びの場合には 78° から 126° と「構え」の膝角度が浅くなるにつれてキック力、身体上昇の加速度はともに大きくなり、先に述べた静的筋力の成績（第4図）において高い水準の筋力を示した膝角度（両足で 138° 片足で 136° ）で最も大きい値を示していた。

IV 考 察

スクワット姿勢からの膝伸展動作による最大ないしはそれに近い筋力は、両脚での伸展では膝角度が 133° から 156° 、片脚では膝角度が 133° から 150° のときに記録された。この成績は、両脚による膝角度の最大筋力は膝角度が 135° から 164° のときに発揮されるとの Linford³⁾らの報告とはほぼ一致する。しかし椅座姿勢で膝を伸展する場合の膝角度と伸展筋力の関係をみた従来の報告をみると、丹羽⁴⁾は 100° 、Clarke⁵⁾は 105° から 115° において最大筋力が発揮できると述べている。膝を伸展する動作で最大筋力を発揮する膝角度に、筆者らの値と丹羽や Clarke⁵⁾の値に $30^\circ \sim 40^\circ$ の差異があるのは、スクワット姿勢と椅座姿勢の相違による股関節伸展筋群の関与の有無によるものであろう。

垂直跳びは簡単な動作であるが、その跳躍高は反動動作、腕ふり動作¹⁰⁾、および身体各部のキック力を有効に結合させるタイミングなどの技術的条件によっても影響を受ける。しかし、本実験では、これらの技術的要素を除いた変形垂直跳びを用いたために、跳躍高は主として脚伸展の力学的条件、つまり跳躍力によって決定されたと考えてよいであろう。

垂直跳びにおける身体重心の運動は、跳躍力 F が身体の質量 m に与える加速度 a として決定され、その運動方程式は、

$$ma = F \dots\dots\dots ①$$

である。

また、垂直跳びで身体重心をある高さまで跳び上がらせる跳躍力のなす仕事 W は、踏み切りのはじまりの時間 t_0 から終了の時間 t_x について、刻々の時間 dt に発揮される跳躍力 f を積分したものに等しく、

$$W = \int_{t_0}^{t_x} f \cdot dt \dots\dots\dots ②$$

で示される。以上、①、②式で明らかなように、変形垂直跳びにおいて負荷（体重）は一定であるから、身体重心の得る上昇の加速度、ならびにその結果としての跳躍高は、構えの姿勢から膝が 180° まで伸展されていく間の、それぞれの膝角度において発揮されるキック力の大ききで決定されるものである。

「構え」の姿勢の膝角度を変えて実施した変形垂直跳びにおいて、両足跳びの場合には「構え」の膝の屈曲が深くなるにつれて跳躍高が上昇し、 $80^\circ \sim 90^\circ$ で最高値を記録するのに対して、片足での跳躍では約 100° で最高値を示し、これより深く膝を屈曲して跳ぶと記録が低下する結果をみた。膝を深く屈曲した位置からの跳躍は、浅い屈曲からの場合よりも踏み切りにおける重心の移動距離が長く、したがって、重心に対して跳躍力を働かし得る距離が長くなり、力学的には有利になる。しかし、片足での跳躍の場合にはこれに反し、 100° よりも深く屈曲したときに跳躍高が低下してくるのは、片脚の深い膝屈曲位の伸展筋力は第4図にみられるように著しく弱いために、強い筋力を発揮できる膝角度（約 100° ）にまで立ち上がっていく膝伸展の速度が第6図の上段のように緩慢であって、同図の下段にみられるように身体重心に与える加速度が小さくなり、約 100° までの膝の伸展動作が跳躍に有効に働いていないといふことができる。

両脚と片脚の伸展筋力の差は、膝の屈曲が増しても第4図の点線のようにほぼ $50 \sim 90$ kg で一定しているのに対し、垂直跳びの跳躍高の差は「構え」の膝角度が深くなるにつれて第5図の点線のように直線的に大きくなる。

このような脚伸展筋力の膝角度による違いが、垂直跳びで筋力のなした仕事のちがいとして現われる関係を模式的に示したのが第8図である。図の下段は個々の膝角度における両脚と片脚の伸展筋力の差を示している。これを膝角度 90° から 180° の間で 10° 毎に区切り、それぞれの区間での筋力を先の②式に従って積分し、 $S_1, S_2 \dots S_9$ を求めた。図の上段は筋力の積分値を S_1 から順次 S_9 まで累積合計したものである。それぞれの位置（角度）から膝を 180° に伸展するまでの筋力の差は、それぞれの膝角度から 180° に膝を伸展する動作の中で発揮されるときには図の上段に示した曲線のような仕事（筋力の積分値）の差を生み、動作をはじめるときの膝角度が深くなるにつれてその差は増大する。

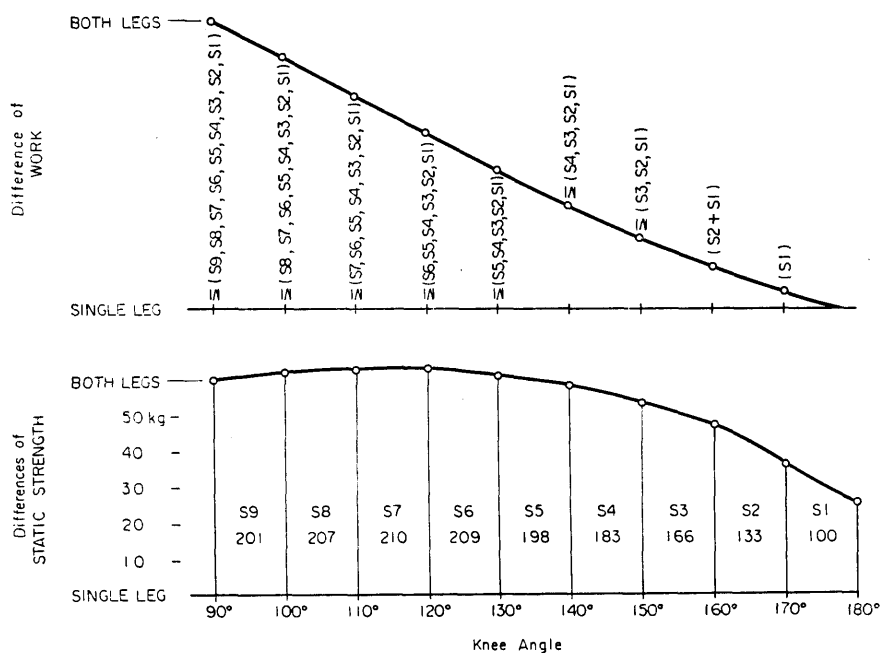


Fig. 8. The ideal effects of differences of static strength between both legs and single leg upon differences of the work between them.

Table 2. Comparison of effects of preliminary knee angle on integral value (S) and mean score ($\bar{F}$) of kicking force exerted in modified vertical jump.

single leg	knee angle	78°	90°	99°	112°	126°	136°	156°
	S	100%	156	157	133	139	100	100
	$\bar{F}$	100%	149	220	206	278	213	238
both legs	knee angle	78°	89°	97°	110°	129°	138°	156°
	S	100%	118	102	132	103	106	78
	$\bar{F}$	229%	366	332	339	490	460	268

変形垂直跳びにおける踏み切り時のキック力の積分値 s (第6図中段に示した strain gauge のひずみの経時曲線を「構え」の基線で切った面積として求めた) は構えの膝角度に伴って第2表のように変化する。キック力の積分値 s と変形垂直跳びの跳躍高との相関係数は、両足の場合では $r=0.67$ ($>p=0.10$), 片足の場合では $r=0.70$ ($>p=0.10$) でいずれも有意の相関を示した。先に述べたように変形垂直跳びの記録は踏み切りにおける膝伸展の角速度と高い相関を示し、変形垂直跳びの跳躍高は、ともに踏み切りのキック力 f によって決定されるキック力積分値ならびに脚伸展角速度 (脚伸展速度) と高い相関関係にある。一方、変形垂直跳びに

における平均キック力 $\bar{F}$ （キック力の積分値 S をキック時間で除して得た）と脚伸展筋力との相関係数は、両足踏み切りの場合には $r=0.63$ ($>p=0.10$)、片足の場合には $r=0.64$ ($>p=0.10$) であって、いずれも有意の相関が認められた。また、踏み切りにおける最大のキック力は脚伸展筋力の大きい膝角度（ $130^{\circ}\sim 160^{\circ}$ ）のときに示されていた。このように筋力発揮に時間的制約のない静的な脚伸展筋力が大きい膝角度では、極めて短時間に最大限の筋緊張を要する瞬発力もまた大きいことが推測できる。

V 総 括

種々の膝角度で脚を伸展した場合の静的筋力を測定するとともに、準備姿勢の膝角度を変えた変形垂直跳びを行なったときの跳躍高、キック力、膝角度の変化、身体の上昇の加速度を分析検討した結果、次の知見を得た。

1. スクワット姿勢からの膝伸展動作において、最大筋力が発揮できる膝角度は、両脚による伸展では 133° から 156° であり、片脚の場合は 133° から 150° であって、両脚と片脚に大きな違いはない。しかし、スクワット姿勢では膝の伸展に股関節伸展筋群の協力が加わるためか、椅座姿勢からの膝伸展の場合より、最大筋力を示す膝角度が $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 浅い。

2. 変形垂直跳びの跳躍高は、両足跳びでは「構え」の膝角度が深くなるにつれて上昇し、 $80^{\circ}\sim 90^{\circ}$ で最高値を記録する。しかし、片足による跳躍では「構え」の膝角度が約 100° のときに最高値を記録し、これより膝を深く曲げた「構え」から跳ぶときは、膝を深く曲げたときの伸展筋力が弱いために、約 100° までの膝伸展動作が緩慢になって重心に有効な加速度を与えることができず跳躍高が低くなる。

3. 両脚と片脚による個々の膝角度における脚伸展筋力の差は膝の屈曲が $150^{\circ}\sim 160^{\circ}$ より深くなってもほぼ一定（ $50\sim 60$ kg）であるが、変形垂直跳びにおける両足跳びと片足跳びの跳躍高の差は、個々の膝角度における脚の伸展筋力の踏み切り時間に対する積分値の差であるので、「構え」の膝角度が深くなるにつれて大きくなる。

4. 変形垂直跳びの踏み切りにおけるキック力は脚伸展筋力の強い膝角度で大きく、また、踏み切り動作中の平均キック力と脚伸展筋力とは有意の相関を示したことから、静的筋力が強い膝角度では瞬発力もまた大であることがうかがわれる。

（この研究は昭和45年度、文部省科学研究費の補助を受けて行なった）

文 献

- 1) Carpenter, A. : A study of angles in the measurement of the leg lift. Res. Quart., 9 : 70~72. 1938.
- 2) Rogers, F. R. : Physical capacity test. A. B. Barnes and Co., New York, 1931.
- 3) Linford, A. G. and L. Raric : The effect of knee angle on the measurement of the leg strength of college males. Res. Quart., 39 582~586, 1967.
- 4) 丹羽 昇 : 角度と筋力の関係—脚筋力の場合—, 体育学研究, 15 : 48~59, 1970.
- 5) Clarke, H. H. : Muscular strength and endurance in man. Printice-Hall. Inc., New Jersey, 1966.
- 6) Hettinger, G. R. 猪飼道夫, 松井秀治共訳 : アイソメトリックトレーニング, 大修館, 東京, 1970.
- 7) Smith, L. E. : Relationship between explosive leg strength and performance in the vertical

- jump. Res. Quart., 32: 405~408, 1960.
- 8) McClements, L. E.: Power relative to strength of leg and thigh muscles. Res. Quart., 37: 71~78, 1965.
 - 9) Berger, R. A. and J. M. Henderson: Relationship power to static and dynamic strength. Res. Quart., 37: 9~13, 1965.
 - 10) 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), 東京教育大学スポーツ研究所報, No. 2: 21~31, 1964.
 - 11) 渋谷侃二, 吉本 修: 垂直跳の力学 (第2報), 東京教育大学スポーツ研究所報, No. 7: 47~54, 1969.

Summary

The effect of knee angle upon static leg strength and upon the jumping height, the kicking force, the movement of knee joint, upward acceleration at modified vertical jump with various preliminary knee angles were investigated on a sprinter.

The result were as follows:

1. The highest leg strength in the squatting position of both legs and single leg were recorded when knee angles between 133° ~ 156° , and 133° ~ 150° respectively. They are approximately 30° ~ 40° greater than the optimum angle of knee extension in the sitting position, because in the squatting position the movement of the knee extension were helped by hip extension muscles.
2. In modified vertical jump by both legs, the jumping record decreased as the knee flexion became greater and the highest record were obtained when the knee angles were between 80° ~ 90° . But in the case of the jump by single leg, the highest record were obtained when knee angle was approximately 100° . Because the strength of single leg at the position of deep knee flexion were very weak, so the speed of the knee extension up to 100° were very slow that the movement of knee extension from preliminary knee angle to 100° could not increase the jumping height.
3. As the knee flexion became greater, the differences of the jumping height between both legs and single leg became greater, in spite of the differences of the strength between both legs and single leg were approximately constant (50~60 kg). Because the "work" of the jump is the integral value of the strength about take off time, the difference of the strength is increased as the difference of the "work" when it was used at movement.
4. The knee angle by which the highest leg strength was obtained was the same to the knee angle by which the kicking force was recorded at the take off of the modified vertical jump. Besides the significant correlation coefficient was obtained between the mean score of the kicking force and leg strength measured in various knee angles.