

パワーの発揮をともなう運動と反応時間について

戸荏 晴彦* 浅見 俊雄* 菊池 武道*
足立 長彦* 佐野 裕司*

A study on the relation between movement concerned with
power and its reaction time

by

HARUHIKO TOGARI, TOSHIO ASAMI, TAKEMICHI KIKUCHI,
NAGAHIKO ADACHI and YUJI SANO

(Department of Physical Education, College of General Education, University of Tokyo)

The purpose of this study is to examine the relationship between neural reaction time and movement time when the vertical jump to light stimulus is carried out. The role of muscle strength and power in this movement is also clarified.

The subjects are nine male adults who have been athletes. The power is measured by barbell load which is increased to the limit of vertical jump. Neural reaction time is investigated by onset time of total body reaction time and muscle contraction time of EMG. Muscle strength and power is surveyed by use of force platform which is used in the movement of vertical jump reaction time. The jump height is obtained from motion picture films (64 fps).

The results were follows: The neural reaction time is not varied by increasing load. But as to the movement time, it takes place much or a bit delay. These phenomena are supposed to be the influence of muscle strength and power. Namely, the muscular strength and power might be contributed to the instantenous movement. [Proceedings of Department of Physical Education, College of General Education, University of Tokyo, No. 7, 61-67, 1972]

I. 研究目的

身体活動において瞬時的にすばやく動くことは重要なことである。人間の日常生活においても速さの訓練は初等教育の中の安全教育に含まれているごとく欠かせないものである。スポーツ活動においてすばやく動くことは成績を決定する要因の一つであり、特にボールゲームで相手とせり合う動きなどでは大切なポイントである。

瞬間的なすばやい動きには反応時間の速さと動作時間の速さの二つの要素が含まれていることはすでに知られている。反応時間に関する研究は非常に古く、すでに1800年代末期から行なわれていたが、スポーツに関連した研究は1900年代に入ってからである。これらの研究の多くは光、音刺激に対する手、足の反応という fine motor skill であり、gross motor skill には W.W. Tuttle¹⁾ による発走の反応時間をはじめいくつかの報告がある。スポーツ科学の発展とともに反応時間の研

* 東京大学教養学部体育研究室

究は1951年, T.K. Cureton²⁾により垂直跳反応時間が測定され, 国内でも猪飼ら³⁾により全身反応時間が開発され, よりスポーツ活動と密接な関係としてとらえられるようになった. その後, ウォーミングアップ,⁴⁾ 持久力⁵⁾, 筋力⁶⁾と反応時間の関係については若干の研究報告がなされたが, パワーと関連した研究は Smith, L.E.⁷⁾の報告のほかはほとんどみられない. パワーは特に動作時間のもとである筋収縮の力と速さとして考えられ, 瞬間的なすばやい動きの一要素である.

そこで本研究は重量負荷を用い全力で跳躍するという全身のパワーの発揮をとりあげ, 反応の速さと動きの速さの関係を検討するとともに, この関係に筋パワーがいかに影響をおよぼしているかを検討する.

II. 方 法

被検者はスポーツ歴をもった成人男子9名(年齢・23~38才)である. 実験は昭和47年5月から6月に実施した. 被検者はバーベルを負荷として肩にせおい, 歪計測定台(抵抗線歪計変換器, 総合計装K.K.)上に立って目の高さに設置した光刺激に対し, できうる限りすばやく, しかも最大努力で垂直方向に跳躍するという方法⁸⁾をとった.(第1図)(写真1)跳躍方法は立位の自然体で反動動作を用いるものとした. 負荷は負荷0kg

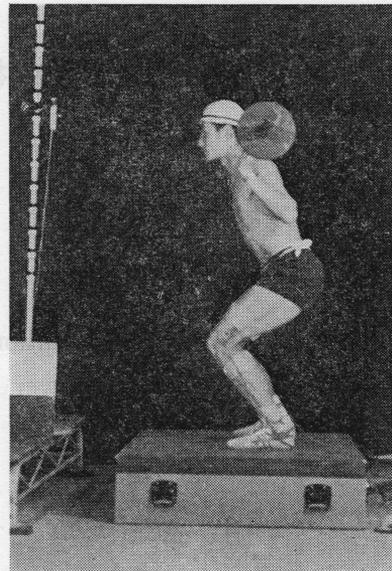
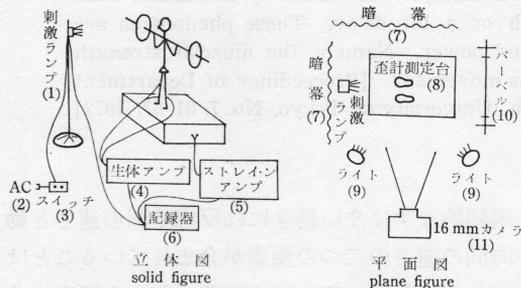


写真1 実験風景

(フォームを同一にするために木のバーを肩にせおう)から10kgずつ増量し跳躍可能な重量まで行なった. 試行回数は各負荷5回ずつとした. また, 疲労の影響を除去するために試技の間には十分な休息をおいた.

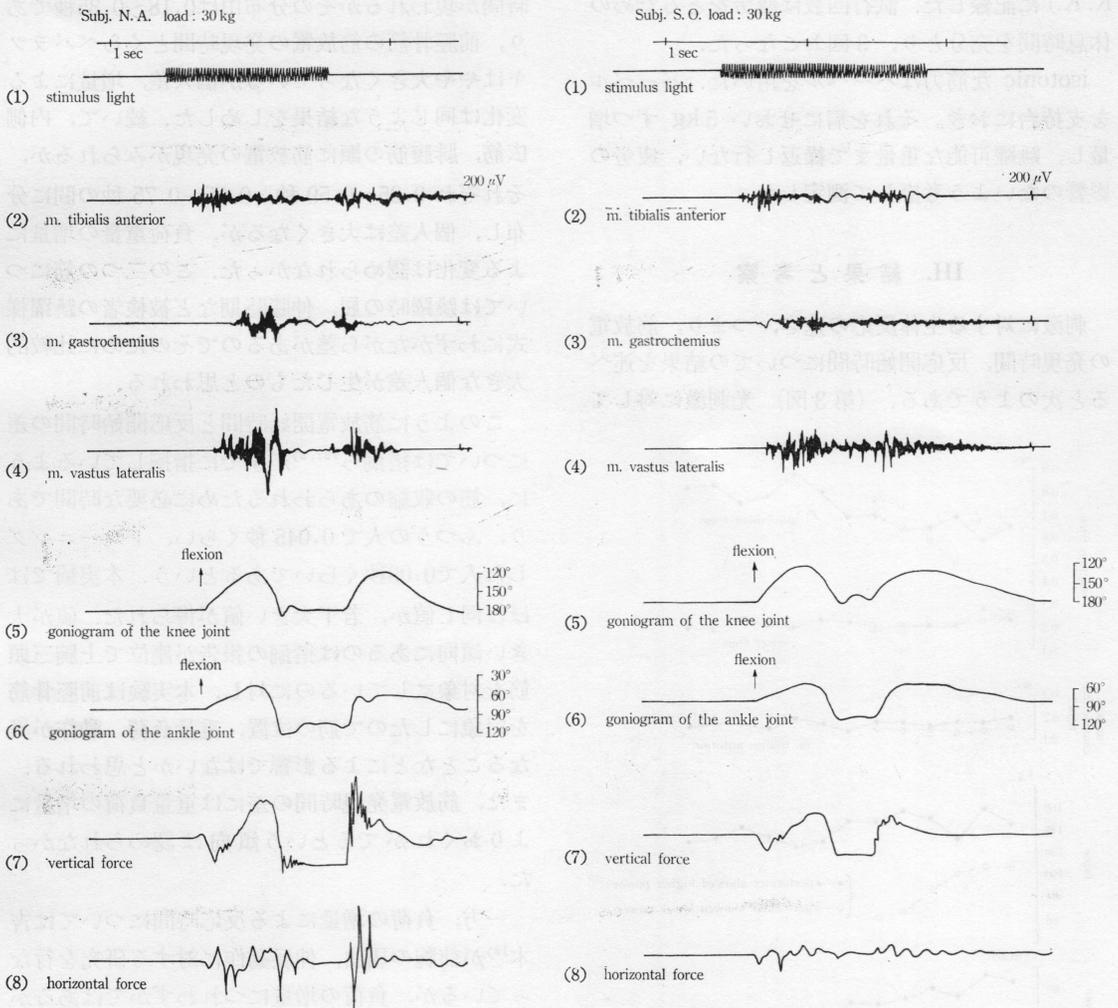
各測定項目は8素子脳波計(polygraph 140システム, 三栄測器K.K.)により同時記録した. 第2図は記録の一例だが(1)は光刺激で, ボタンを押すと交流が流れ, ネオンランプが点灯するという方法をとった.(2), (3), (4)は光刺激に対し, 筋電図の発現時間をみるために被検者の右脚より跳躍の主働筋⁹⁾をなす前脛骨筋(m. tibialis anterior), 腓腹筋(m. gastrocnemius), 内側広筋(m. vastus lateralis)の筋電図を表面電極誘導により記録したものである.(5), (6)は跳躍時における関節角の変化をみるために, 被検者の左脚にエレクトロ・ゴニオメーターを装着し膝関節角, 足関節角の変化を電氣的に記録したものである.(7), (8)は歪計測定台によるforce curveであり, それぞれ垂直方向, 前後方向への加圧変化を記録したものである. 跳躍高は16mm映画撮影(64fps)によるフィルムより求めた. その基準は大転子(Trochanter major)の位置の移動距離とした. つまり, 大転子の位置に絆創膏を貼布し直立姿勢と空中姿勢の最高点をプロットしその距離を求めた.



第1図 実験場面

Fig. 1 Schematic of instrumentation for vertical jump activity

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| (1) light stimulus | (2) alternating current |
| (3) switch button | (4) amplifier |
| (5) strain amplifier | (6) pen recorder |
| (7) black curtain | (8) force platform |
| (9) light | (10) barbell |
| (11) movie camera | |



第 2 図 刺激に対するパワージャンプの記録

Fig. 2 Recordings of EMG, electrogoniograms of knee and ankle joint, pressure force in vertical jumping activity to light stimulus

反応開始時間の測定は記録紙にあらわれる光刺激が入った点から垂直方向の force curve に変化のあった点までを計測し、時間に換算した。筋放電発現時間は光刺激の入力点から各筋放電の開始までを計測し、時間に換算した。動作時間は垂直方向の force curve の変化開始点から足が台より離れて force curve が零位になる点までを計測し換算した。

force は地面反力として歪計測定台^{8), 10), 11)} にかかる垂直方向の force curve のピークをとらえて体重を減じたものとした (単位: kg)。

パワーは被検者の体重に負荷重量を加えたものの重量 (kg) とし、跳躍高 (m)、力の作要時間 (sec) とから平均パワー (単位: kgm/sec) を求めた。

なお, isometric, isotonic な最大筋力, 垂直跳の測定も併せておこなった。

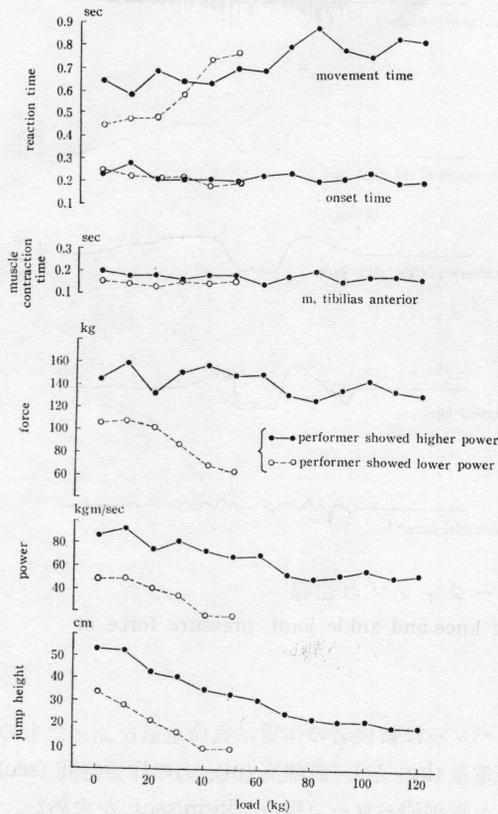
isometric な筋力の測定には isometric rack (静的筋力トレーニング台) の間に歪計測定台を設置した。被検者は固定されたバーを肩にせおい、膝関節角度を 120° にし最大努力でバーを上方に押しあげる。その時、歪計測定台にかかる垂直分力をビシグラフ (visigraph FR-102, 三栄測器

K. K.) に記録した。試行回数は疲労をとるための休息時間を充分とり、3回おこなった。

isotonic な筋力はバーベルを用いた。バーベルを支持台におき、それを肩にせおい 5 kg ずつ増量し、跳躍可能な重量まで繰返し行ない、疲労の影響のないよう考慮して測定した。

III. 結果と考察

刺激に対する生体反応の速さ、つまり、筋放電の発現時間、反応開始時間についての結果を述べると次のようである。(第3図) 光刺激に対して



第3図 負荷の増加による結果

Fig. 3 Phasic variation of vertical jumping activity in increasing load

もっとも早く現象が現われたのは前脛骨筋の筋放電で0.12~0.33秒の間に分布した。分布の個人差は1例を除けば0.12~0.25秒と小さく、負荷重量を増量した場合にもほとんど変化はみられなかった。次いで force curve より得られる反応開始

時間が現われるがその分布巾は0.18~0.35秒であり、前脛骨筋の筋放電の発現時間とくらべバラツキはやや大きくなっているが個人差、増量による変化は同じような結果をしめした。続いて、内側広筋、腓腹筋の順に筋放電の発現がみられるが、それぞれ0.25~0.59秒、0.35~0.75秒の間に分布し、個人差は大きくなるが、負荷重量の増量による変化は認められなかった。この二つの筋については跳躍時の屈、伸膝時期など被検者の跳躍様式にわずかながら差があるのでそのために比較的大きな個人差が生じたものと思われる。

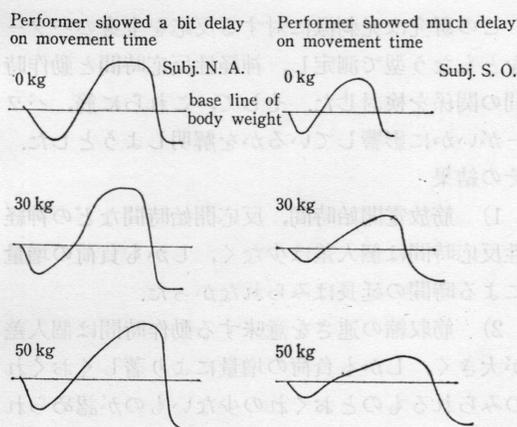
このように筋放電開始時間と反応開始時間の差については猪飼^{12), 8)}がすでに指摘しているように、筋の収縮のあらわれるために必要な時間であり、ふつうの人で0.045秒くらい、トレーニングした人で0.03秒くらいであるという。本実験ではほぼ同じ値か、若干大きい値が得られた。値が大きい傾向にあるのは猪飼の報告が座位で上腕三頭筋を対象にしているのに対し、本実験は前脛骨筋を対象にしたので筋の位置、重量負荷、動作が異なることなどによる影響ではないと思われる。また、筋放電発現時間の差には重量負荷の増量によりおくれがでるといふ傾向は認められなかった。

一方、負荷の増量による反応時間については吉本¹³⁾が前腕の屈曲、伸展動作に対する研究を行なっているが、負荷の増量につれわずかではあるが反応時間は短くなり、全力を出す時点に近づくにしたがいおくれがでたと報告している。しかし、山本¹⁴⁾は負荷の増量ではないが光刺激に対する瞬発最大等尺性張力を5秒間隔で30回測定したところ、筋力は疲労現象のため低下したが反応時間は回数を増しても大きな変動はおこらなかったといっている。本実験は吉本の報告と同じように負荷の増量と反応時間の関係を検討しているが、負荷を増量して最大負荷まで運動を行なっても神経性反応時間にははっきりした変化は認められなかった。このことは筋放電発現時間の結果と考えあわせると刺激に対する中枢からのインパルスの発現時期には負荷を増量しても大きな変化はないと考えられる。

また、Duffy, E.¹⁵⁾ は生体に対する負荷の大き

さと performance について生体の代謝活動における活性化 (activation) としてこれをとらえた。彼によると負荷の大きさと反応時間の間には逆U字型の関係があるという。つまり、負荷が大きくなるにつれ performance には optimal なポイントがあり負荷を最大に近づけるにつれそれは減少するという。Levitt, S.⁵⁾ Marteniuk, R. G. ら¹⁸⁾ は身体活動と反応時間の間には Duffy, E. の仮説を支持する結果が得られたと報告した。本実験も負荷の増量を活性化ととらえられるが Duffy, E. の説を支持する結果は得られなかった。これは負荷の質とか量によるものとも考えられるがなお検討を要する問題である。

これに対し、動作時間は個人差が大きく、しかも負荷の増量にともない時間が延長する傾向がみられた。(第3図) 全被検者の分布は負荷 0 kg でもっとも小さく、0.45~0.65 秒、もっとも分布巾の大きい負荷 60 kg では 0.56~1.08 秒であった。また、負荷の増量にともなう動作時間の延長には著しく長くなる被検者と、徐々に長くなるが比較的变化の少ない被検者とが認められた。この原因は筋、パワーの個人差であると考えられる。そこで垂直方向への force curve (第4図) を検討し

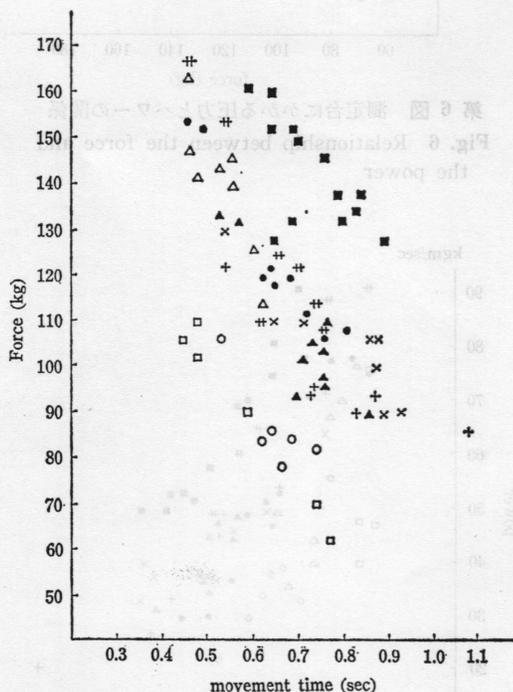


第4図 force curve における特徴

Fig. 4 Recordings of vertical force in vertical jumping activity

てみると同一負荷で動作時間に著しくおくれの認められたものは立ちあがり非常にゆるやかであり、しかもその force curve は小さい。これ

は負荷重量が大きくなるにつれその傾向は著しい。一方、比較のおくれの少ないものは立ちあがり急でしかも force curve が大きい。force curve の大きさは跳躍時のキックの強さを意味し、強いキックが跳躍高に大きな影響があることについてはすでによく知られている¹⁷⁾。そこで force と動作時間の関係をみると第5図のように



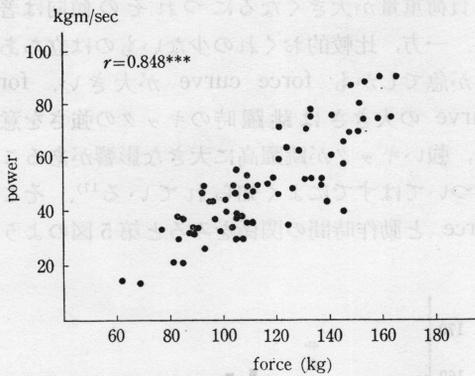
第5図 動作時間と Force の関係 (被検者別)

Fig. 5 Relationship between the force and the movement time

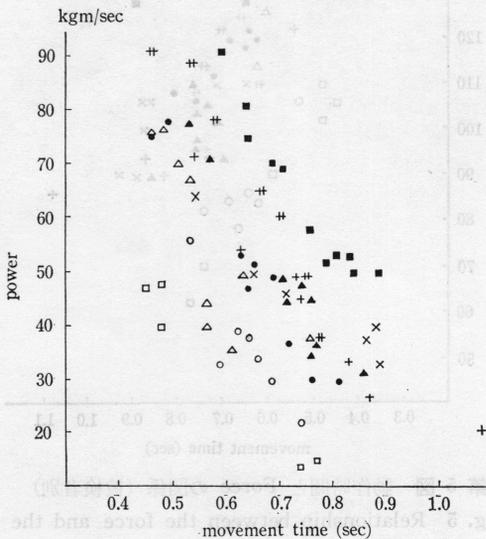
なり、はっきりした傾向があらわれた。つまり、動作時間のおくれの著しいもの(図の○、□印など)と比較的少ないもの(図の■、+印など)では force にはっきりした差がみられた。

また、force と関係の高いパワー(第6図)と動作時間の関係は第7図のようである。すなわち、パワーの大きいときは動作時間は短く、小さいときは長い。しかも動作時間のおくれの著しいもの(図の○、□印など)はパワーは小さく、比較的小さいもの(図の■、+印など)は大きい傾向がみられた。

このように負荷の増量による動作時間の延長の



第6図 測定台にかかる圧力とパワーの関係
Fig. 6 Relationship between the force and the power



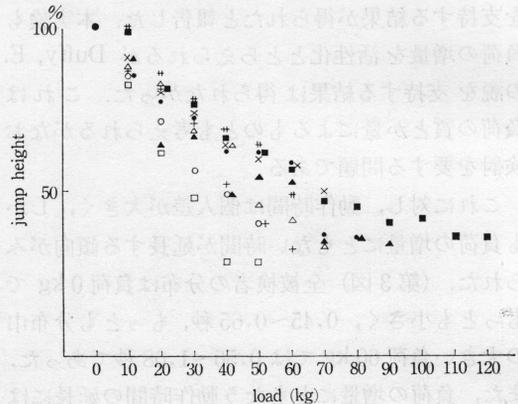
第7図 動作時間とパワーの関係 (被検者別)
Fig. 7 Relationship between the movement time and the power

個人差は force, パワーにおける差と密接な関係があるようである。

なお、負荷の増量にともなう動作時間の個人差は個々の被検者に対し、同一負荷であることによる影響も考えられる。しかし、このことに関しては体重を100としたり、isotonic な最大筋力を100%として負荷重量との関係を検討してみても分布巾は大きく、増量による変化が大きいものと小さいものが絶対値の場合と同様に見られた。

また、この実験から得られた重量負荷が垂直跳

に及ぼす影響については春山¹⁸⁾の報告にみられるごとく必ずしも直線的とはいえないが、負荷が大きくなるにつれ跳躍高は減少し、体重の120%前後の負荷で横ばい状態になった。しかし、筋、パワーのすぐれた被検者は10kg程度の負荷では負荷なしとかわらない成績を示した。一般に跳躍高には大きな個人差がみられた。(第3図, 第8図)



第8図 各負荷重量に対する跳踏高(%) (被検者別)
Fig. 8 Phasic variation of jump height in increasing load

IV. 結 語

この研究は光刺激に対する反応を全身のパワーをとまなう型で測定し、神経性反応時間と動作時間の関係を検討した。そして、これらに筋、パワーがいかに影響しているかを解明しようとした。その結果

1) 筋放電開始時間、反応開始時間などの神経性反応時間は個人差は少なく、しかも負荷の増量による時間の延長はみられなかった。

2) 筋収縮の速さを意味する動作時間は個人差が大きく、しかも負荷の増量により著しくおくれのみられるものとおくれの少ないものが認められた。

3) 負荷の増量による動作時間に著しくおくれのみられるものとおくれの少ないものは force, power の大きさにはっきりした差がみられ、動作時間の短縮には筋、パワーの向上が望まれることを示唆した。

本研究に対し、御協力下さった東京大学教養学

部体育科の諸先生方に心から感謝の意を表します。

文 献

- 1) Tuttle, W. W.: "Studies in the start of the sprint." Res. Quart. 4 (2), 110-116, 1933.
- 2) Cureton, T. K.: "Physical fitness of champion athletes." University of Illinois Press, Urbana, 94-102, 1951.
- 3) 猪飼道夫, 浅見高明, 芝山彦太郎: 「全身反応時間の研究とその応用」 OLYMPIA 2 (4), 18-27, 1961.
- 4) Phillips, W. H.: "Influence of fatiguing warm-up exercises on speed of movement and reaction latency." Res. Quart. 34 (3), 370-379, 1963.
- 5) Levitt, S. and Gutin, B.: "Multiple choice reaction time and movement time during physical exertion." Res. Quart. 42 (4), 405-410, 1971.
- 6) Smith, Leon E.: "Reaction time and movement time in four large muscle movement." Res. Quart. 32 (1), 88-92, 1961.
- 7) Smith, Leon E.: "Relationships between individual difference in static strength and "strength" in action." 体育学研究 17 (2), 97-103, 1972.
- 8) 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 (I)」東京教育大学スポーツ研究所報 2, 21-31, 1964.
- 9) 高木公三郎, 熊本水頼, 塚原政義: 「Kinesiologyにおける筋電図学的研究 (VI)」体育学研究 6 (1), 64, 1961.
- 10) Payne, A. H. and Slater, W. J.: "The use of a force platform in the study of athletic activities. A preliminary investigation." ERGONOMICS, 11 (2), 123-143, 1968.
- 11) Ramey, Melvin R.: "Force relationships of the running long jump." MEDICINE AND SCIENCE IN SPORTS 2 (3), 146-151, 1970.
- 12) 猪飼道夫: 「動作に先行する抑制機構」日本生理学雑誌 17 (5), 292-298, 1955.
- 13) 吉本 修: 「反応時間と重量負荷の関係について」体育学研究 15 (5), 107, 1970.
- 14) 山本直道: 「筋力指標に関する研究」体力科学 21, 28-48, 1972.
- 15) Duffy, E.: "Activation and behavior" New York: John Wiley and Sons, 1962.
- 16) Marteniuk, Ronald G.: "Motor performance and induced muscular tension," Res. Quart. 39 (4), 1025-31, 1968.
- 17) 金原 勇: 「跳躍における基礎的技術について」体育の科学 14 (11), 619-22, 1964.
- 18) 春山国広: 「重量負荷が垂直跳におよぼす影響について」体育学研究 15 (5), 108, 1970.