

〔原 著〕

## 胴体および上肢関節の静的屈曲力・伸展力 からみたバレーボールスパイク技術の検討

橋 原 孝 博\*

(昭和 61 年 9 月 2 日 受付)

### A study on volleyball spiking technique based upon static strength through the range of joint motion

Yoshihiro HASHIHARA

(Hiroshima Division of Japanese Society of Physical Education)

#### Abstract

This study was designed to investigate the static strength exerted at the different joint angles of the hip, shoulder, elbow, and wrist, and to provide these information with clarifying the basic volleyball spiking technique. The strength was measured isometrically on the flexion and extension at several predetermined angles. Eighteen male students majoring in physical education served as subjects.

The maximum flexion strength for each subject was obtained in the range from 20 to 70 degree in the hip joint, 50 to 140 degree in the shoulder, 80 to 100 degree in the elbow, and -70 to 10 degree in the wrist. The maximum extension strength was obtained in the range from 60 to 100 degree in the hip, -30 to 10 degree in the shoulder, 100 to 140 degree in the elbow, and -60 to 0 degree in the wrist.

On the other hand, angles of the hip, shoulder, elbow, and wrist at the moment of impact in the international-class volleyball players were 20, 148, 155, 7 degree respectively. Although these angles were slightly deviated from those at which the maximum strength was obtained by the students, these were still acceptable in terms of generating great force in spiking. Such slight discrepancy of angles between the static maximum strength and actual spiking might be due to the fact that the point of hitting the ball was required to raise higher in the game situation.

#### I 緒言

Karpovichら(1965,1966)は関節角度が約60度から140度まで変化する肘関節屈曲運動及び伸展運動中のeccentric, concentricな肘関節屈曲力及び伸展力を測定し、その変化を同一の関節角度で測定したisometric肘関節屈曲力及び伸展力と比較した。その結果、いずれの肘関節屈曲力及び伸展力も、その大きさは関節角度の違いにより変化した、その変化の仕方はほぼ類似した傾向を示したと報告している。このことは、静的に測定された各関節の屈曲力及び伸展力であっても、動的な

---

\* 日本体育学会広島支部

動きの中で発揮される屈曲力及び伸展力を考える上での資料として役立つことを示唆するものであろう。阿江(1982)は力量台を用い、跳躍の踏切動作に近い立位で、膝関節可動範囲に亙って静的膝伸展力を測定し、踏切動作との関係を検討している。しかしながら上肢については、肘関節屈曲を除くと、上肢関節角度と屈曲力・伸展力との関係に関する報告は少なく、またこれらの力の変化を動作と関連づけて検討したものは見当たらない。そこで本研究では手、肘、肩及び腰関節の静的屈曲力と伸展力を測定し、スパイク動作との関係を検討することにより、高い打点で強く打撃するスパイク技術を明らかにするための資料を得ようとした。

## II 方 法

被験者には、大学男子体育専攻学生 18 名を用いた。これらの身長は平均 1.75 m、体重は平均 69 kg であった。



図1 静的屈曲力・伸展力の測定姿勢（上図左が手関節，右が肘関節  
下図左が肩関節，右が腰関節に関する測定姿勢）

図1は各関節の測定姿勢を示したものである。手関節の測定では、立位で手を握り、回内した前腕を全身筋力測定台（竹井機器製）の肘掛けにベルトで固定した。肘関節の測定では、座位で前腕を回内し、上腕を肩の高さで水平に保ち、測定台の肘掛けにベルトで固定した。肩関節の測定では、座位で肘を伸ばして腕を回内し、胴体をベルトで固定した。腰関節の測定では立位で、伸展力の場合は大転子の高さで腰前部を、また屈曲力の場合は腰後部を測定台の横棒に当て、ベルトで固定した。なお足部は動かないように補助者が押えた。このような測定姿勢から各関節のほぼ全可動範囲

に互って、静的屈曲力、伸展力をそれぞれ5～7回測定した。

力の測定には直交ゲージを貼付した自作の歪測定器を用い、歪測定器を付けたワイヤーが屈曲あるいは伸展する身体部分と直角になるように調整した後、約2～3秒間全力で牽引させた。そして増幅器を介して電磁オシログラフに記録した力・時間曲線から力の最大値を読み取った。ここでワイヤーと屈曲あるいは伸展する身体部分がもし直角でないときは、後で求めるワイヤーと身体部分の角度をもとに、身体部分と直角をなす力の成分を補正して求めた。関節角度の測定では、被験者の側方7 m から16 mm シネカメラで測定中の被験者を5コマ撮影した。そして撮影したフィルムをフィルム分析装置にかけ、得られた身体各部位の座標をもとに手、肘、肩、腰の各関節角度を求めた。このようにして求めた各関節角度と静的屈曲力・伸展力から、本研究では角度・力関係をより理解しやすくするために、関節角度変化に対する力変化の傾向線を求めた。この傾向線には、1次から4次までの角度に関する近似式のうち、不偏分散（力の実測値と推定値の誤差の二乗和を自由度で除したもの）が最も小さい近似式を傾向線として採用した。なお、不偏分散に差が認められない場合には、できるだけ係数の個数が少ない近似式を採用した。

打撃動作に関する資料は、バレーボールワールドカップ'81における男子一流選手のスパイク動作を3次元映画撮影法（DLT法）により求めた。

### III 結 果

#### 1. 関節角度と静的屈曲力・伸展力の関係

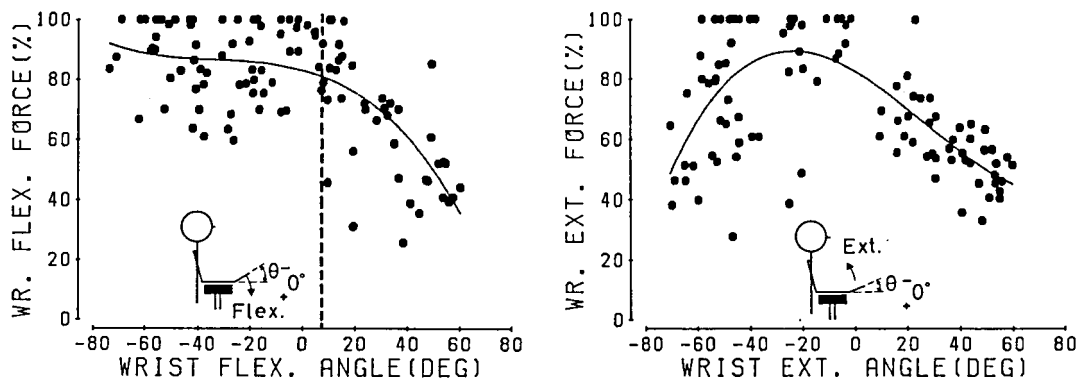


図2 手関節角度と手関節屈曲力（左図）及び伸展力（右図）の関係（破線は一流選手のインパクト時手関節角度）

##### (1) 手関節角度と手関節屈曲力・伸展力

図2左図は、手関節角度と手関節屈曲力の関係を各被験者の手関節屈曲力の最大値を100%として示したもので、右図は手関節角度と手関節伸展力の関係を同様にして示したものである。手関節屈曲力についてみると、手関節屈曲力の最大値（平均30.1 kg）は手関節角度が約-70度から10度までの広範囲で出現する。しかし、角度が約10度以上になると手関節屈曲力は著しく低下し、50度付近では最大値の約30～50%になる。

手関節伸展力についてみると、手関節伸展力の最大値(平均 18.7 kg)は手関節角度が約-60 度から 0 度の範囲で出現する。角度が約 0 度以上になると手関節伸展力は低下し、50 度付近では約 40~60% になる。また角度が約-60 度以下でも手関節伸展力は著しく低下する。

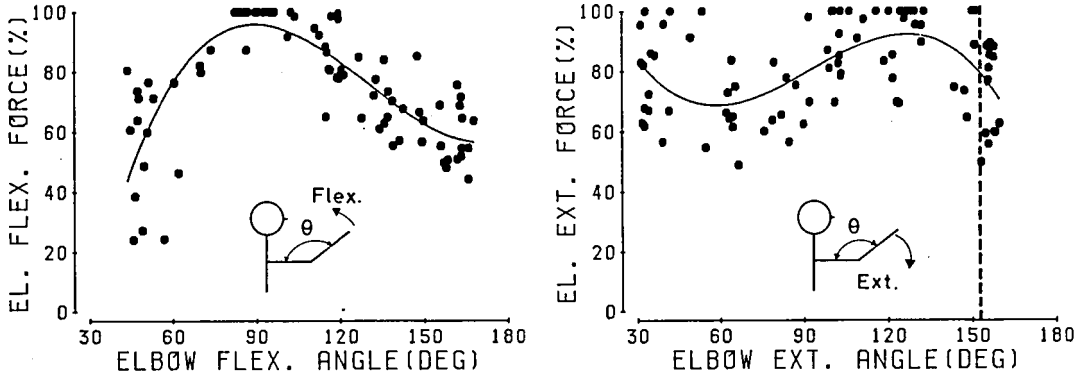


図3 肘関節角度と肘関節屈曲力(左図)及び伸展力(右図)の関係(破線は一流選手のインパクト時肘関節角度)

(2) 肘関節角度と肘関節屈曲力・伸展力

図3は肘関節角度と肘関節屈曲力・伸展力の関係を示したものである。肘関節屈曲力についてみると、肘関節屈曲力の最大値(平均 20.6 kg)は肘関節角度が約 80~100 度の比較的狭い範囲で出現する。角度が約 100 度以上では肘関節屈曲力は低下し、160 度付近では約 50~70% になる。また角度が約 80 度以下では肘関節屈曲力は著しく低下する。

肘関節伸展力についてみると、肘関節伸展力の最大値(平均 24.0 kg)は肘関節角度が約 100~140 度で出現する。角度が約 140 度以上では肘関節伸展力は著しく低下する。一方、角度が約 100 度以下になると肘関節伸展力は低下し、60 度付近では約 60~80% になる。また角度が約 60 度以下では肘関節伸展力は再び増大し、被験者の中にはこの付近で最大値が出現するものもいた。

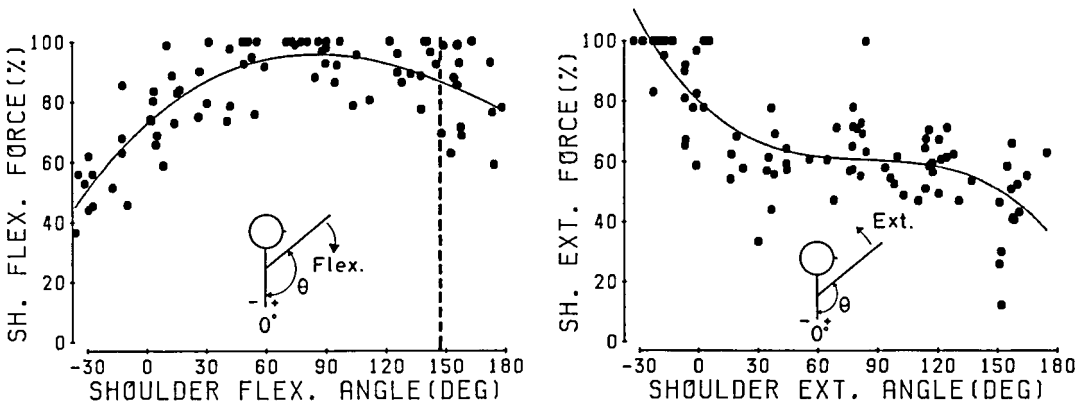


図4 肩関節角度と肩関節屈曲力(左図)及び伸展力(右図)の関係(破線は一流選手のインパクト時肩関節角度)

### (3) 肩関節角度と肩関節屈曲力・伸展力

図4は肩関節角度と肩関節屈曲力・伸展力の関係を示したものである。肩関節屈曲力についてみると、肩関節屈曲力の最大値(平均34.2 kg)は肩関節角度が約50~140度までの広範囲で出現する。角度が約140度以上になると肩関節屈曲力は低下する傾向がある。また角度が約50度以下でも肩関節屈曲力は低下し、-30度付近では約40~60%になる。

肩関節伸展力についてみると、肩関節伸展力の最大値(平均35.4 kg)は肩関節角度が約-30~10度の範囲で出現する。角度が約10~30度では肩関節伸展力は著しく低下し、50~70%になる。角度が30度以上になると約140度までは肩関節伸展力は約50~70%で変化しないが、角度が約140度以上では肩関節伸展力は更に低下する傾向がある。

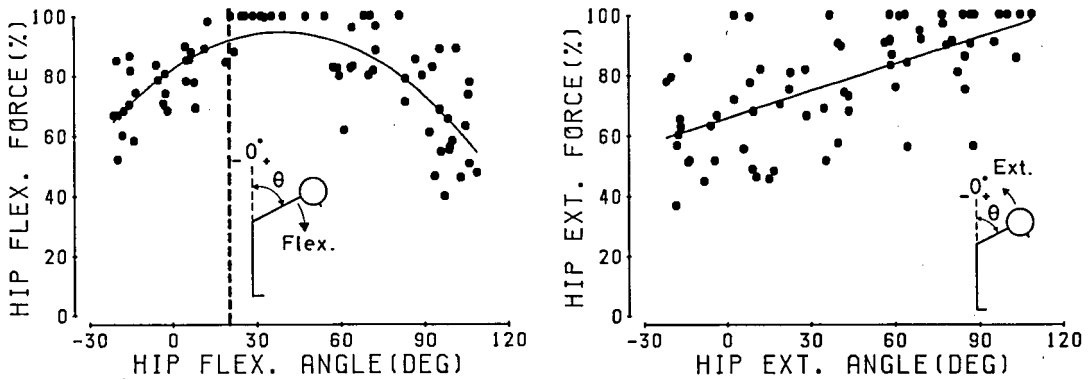


図5 腰関節角度と腰関節屈曲力(左図)及び伸展力(右図)の関係(破線は一流選手のインパクト時腰角度)

### (4) 腰関節角度と腰関節屈曲力・伸展力

図5は腰関節角度と腰関節屈曲力・伸展力の関係を示したものである。腰関節屈曲力についてみると、腰関節屈曲力の最大値(平均49.9 kg)は腰関節角度が約20~70度で出現する。角度が約70度以上では腰関節屈曲力は低下し、100度付近では約50~70%になる。また、角度が約20度以下になっても腰関節屈曲力は低下し、-20度付近では約60~80%になる。

腰関節伸展力についてみると、腰関節伸展力の最大値(平均75.6 kg)は腰関節角度が約60~100度で出現し、角度が小さくなるにつれ、腰関節伸展力は低下する傾向がある。

## 2. 一流選手の打撃動作について

一流選手によるインパクト直後のボール速度は16.74~28.41 m/sの範囲にあった。そして、インパクト時の手先の速度とインパクト直後のボール速度との差は0.92~13.11 m/sの範囲にあり、手先とボールの速度差が大きいものほどインパクト直後のボール速度は大きかった( $r = 0.91$ ,  $p < 0.001$ )。従って、強い打撃のスパイクをするためには、インパクト時におけるボールの捉え方(手掌のボールへの当て方や身体各部分のインパクト姿勢)が重要であると考えられる。

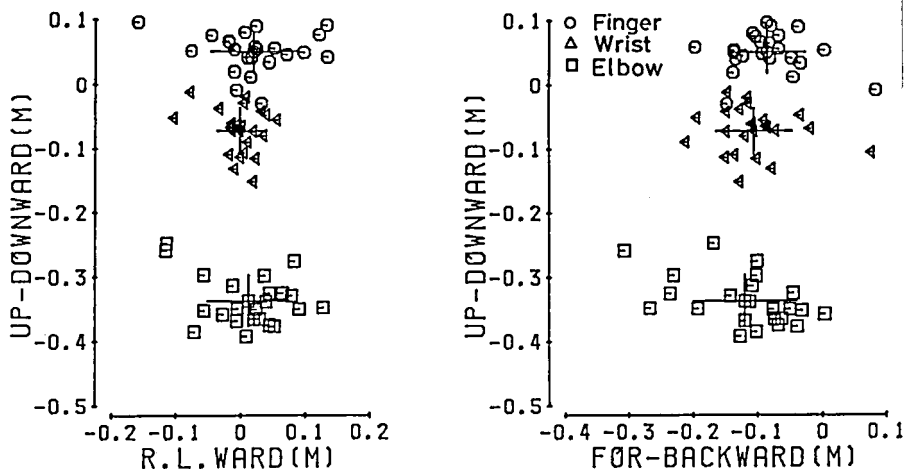


図6 一流選手の手及び前腕のインパクト姿勢 (○, △, □はボール中心に対する手先, 手首, 肘の相対位置を示し, 十字の印は各部位の平均値と標準偏差である)

(1) 手掌のボールへの当て方

図6は一流選手のインパクト時における手先, 手首, 肘の位置をボール中心を原点として示したものである。左図は後方から, 右図は側方から見たもので, ここで前方向は打撃後のボールの進行方向を示している。左右の図とも個人差は見られるが, 平均的に見ると左図から, ボール中心は手先と手首のほぼ中央部にあり, 前腕をやや左に, 手をやや右に傾斜させてインパクトしていることがわかる。また右図から, 前腕をやや前傾させ, 手首はボール中心の後方約10cmにあり, 手関節をやや前屈させてインパクトしていることがわかる。なお, 一流選手のインパクト時手関節角度は, 後方から見ると平均12度, 側方から見ると平均7度であった。

(2) 身体各部分のインパクト姿勢

図7はインパクト時における身体各部位の位置の平均値を身体重心を原点として示し, インパクト姿勢を横から見たスティックピクチャーで表わしたものである。なお, 黒丸を付した身体部分は左の腕と脚である。上半身についてみると, 胴体を前傾し, 右腕は肘関節をやや屈曲させて前上方に上げ, 手首が重心の18cm前方に位置する姿勢をとっている。左腕は肘関節をほぼ直角に曲げて肘を左脇腹に付け, 前腕を身体前方に出している。一方, 下半身についてみると, 右脚はほぼ身体重心の位置で真下に下ろしているが, 左脚はわずかに前方に出し, 足先が重心の28cm前方に位置している。なお, 一流選手の胴体と上向き鉛直線とのなす角度(腰角度)は平均20度, 肩及び肘関節角度はそれぞれ平均148, 155度であった。

#### IV 考 察

##### 1. 関節角度と静的屈曲力・伸展力の関係

本研究で得られた各関節角度と静的に発揮された力との関係において, 肘関節角度と肘関節屈曲

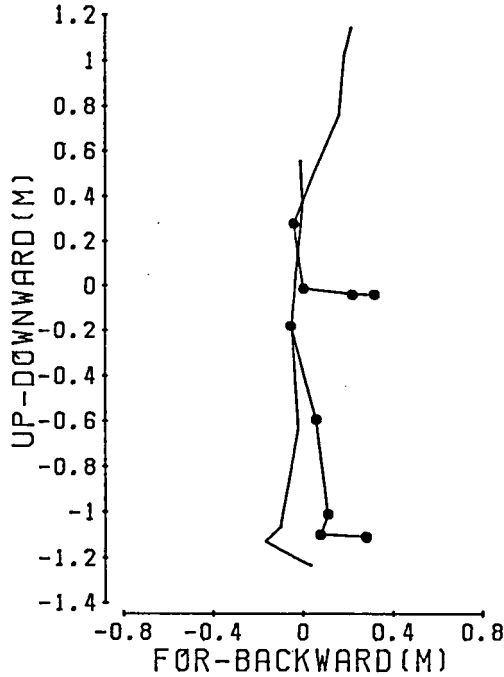


図7 一流選手の身体各部分のインパクト姿勢（原点は身体重心の位置，黒丸が付いている身体部分は左の腕と脚である）

力の関係は石田 (1957), Karpovich ら, 丹羽 (1966) の結果と, また肘関節伸展力については Sato ら (1968) の結果と一致し, 肩関節角度に対する肩関節屈曲力及び伸展力の関係は Williams ら (1959) の結果と一致した。しかし, 腰関節角度に対する腰関節屈曲力の関係は, これまでに報告されている Williams ら, 波多野 (1972) の結果とは異なり, また Williams らと波多野の結果も同一ではなかった。これは Williams らの研究では立位で片膝を引き上げることにより, また波多野の研究では sit up により腰関節を屈曲させており, 各研究ごとに測定姿勢が違っているためである。同様に, 腰関節伸展力についても測定姿勢が本研究と異なる丹羽のものとは違っていた。従って, 本研究のように静的に発揮された力を動作と関連づけて検討するときは, できるだけ対象とする動きに近い姿勢で測定するように注意を払う必要があると考えられる。なお, 手関節角度と手関節屈曲力及び伸展力の関係については, これまでに報告されたものは見当たらない。

関節角度変化に対する静的屈曲力・伸展力変化の原因については, 本研究の資料のみでは明確にすることはできない。しかし, Kulig ら (1984) は, この力変化は筋の長さ・張力関係による, 特に, 関節角度変化につれてモーメントの腕の長さが変化することによると述べている。従って, Kulig らに従えば本研究で得られた関節角度・力関係は生力学的要因により決定されたものであり, 一流選手の場合にも当てはまると考えられる。

## 2. 静的屈曲力・伸展力と打撃動作の関係

図2左図における破線は一流選手の側方から見たインパクト時手関節角度を示したものであり、この角度は大きな手関節屈曲力が発揮できる範囲内にある。しかし、これ以上手関節を屈曲すると屈曲力が急激に低下する境界付近であることがわかる。従って、強い打撃をするために、手首のスナップを利用するとしても、インパクトするには大きな力が発揮できる手関節角度の範囲内でボールを捉えるべきであると考えられ。

図3右図、図4、5左図における破線はそれぞれ一流選手のインパクト時肘、肩関節角度及び腰角度を示したものである。インパクト時の肘、肩関節角度は、肘関節伸展力あるいは肩関節屈曲力の最大値出現範囲をわずかにはずれているが、それは関節伸展側の境界付近であり、かなり大きい伸展力あるいは屈曲力が発揮できる角度であることがわかる。また、インパクト時腰角度も腰関節屈曲力の最大値出現範囲をわずかにはずれている。しかし、図5左図における腰関節角度は大腿と胴体のなす角度であり、インパクト姿勢において一流選手は左脚をわずかに前方に出していたことを思い出せば、実際にはこの破線で示すよりももう少し大きい腰関節屈曲力が発揮できる角度になっていたかもしれない。これらのことから強い打撃をするためには、一つには大きな力が発揮できる（あるいは大きな衝撃力に抗することができる）関節角度でインパクト姿勢をとることが重要であると考えられる。しかし、バレーボールのスパイクでは各関節を伸展させて打点を高くすることも必要であり、そのために一流選手は両要因ともほぼ満たすことのできる関節角度でインパクト姿勢をとっていたものと推察される。

## V まとめ

大学男子体育専攻学生を被験者として、上肢及び腰関節の角度変化に伴う静的屈曲力、伸展力を測定した。その結果、各関節の屈曲力、伸展力最大値出現範囲はそれぞれ、手関節では $-70\sim 10$ 度、 $60\sim 0$ 度、肘関節では $80\sim 100$ 度、 $100\sim 140$ 度、肩関節では $50\sim 140$ 度、 $-30\sim 10$ 度、腰関節では $20\sim 70$ 度、 $60\sim 100$ 度であった。そして、インパクト時における一流選手の手、肘、肩関節角度及び腰角度は、それぞれ $7, 155, 148, 20$ 度であった。このように、一流選手のインパクト時各関節角度が静的屈曲力・伸展力の最大値出現範囲を僅にはずれていたのは、実際のスパイクでは強く打撃するばかりでなく、各関節を伸展して打点を高くすることも必要だからであると考えられた。

## <参考文献>

- 1) 阿江通良 (1982) 「高くとぶための跳に関する運動生力学的研究—踏切における身体各部の貢献とメカニズムについて—」筑波大学大学院教育学博士論文, 620-629.
- 2) Doss, W.S. and P.V.Karpovich (1965) Comparison of concentric, eccentric and isometric strength of elbow flexors, J. Appl. Physiol., 20:351-353
- 3) 橋原孝博 (1984) 「一流バレーボール選手のスパイク動作」第7回バイオメカニクス学会大会論集, 走・跳・投・打・泳運動における“よい動き”とは, 星川・豊島編, 名古屋大学出版会, 151-155



- 4) 波多野義郎(1972)「ケーブルテンシオメーター使用による各種筋力測定の結果について」体育学研究, 17(2):89-95.
- 5) 石田俊丸(1957)「万能力量計による筋力測定第(3)肘関節屈曲における測定方法の吟味」体育学研究, 2(7):76.
- 6) Kulig.K., J.G.Andrews and J.G.Hay (1984) Human strength curves, R.L.Terjung(edt.), Exercise and Sport Sciences Reviews, 12:The Collamore Press,417-466.
- 7) 丹羽昇(1966)「関節角度からみた腕筋力」体育学研究, 5(1):190.
- 8) Sato, M. and Y.Sakai (1968) Isometric and eccentric strength of elbow flexors and extensors, J.Anthropol.Soc.Nippon, 76:183-190, (Reported in Exercise and Sport Sciences Reviews, 12:435, 1984.)
- 9) Singh, M. and P.V.Karpovich(1966)Isotonic and isometric forces of forearm flexors and extensors, J. Appl.Physiol., 21:1435-1437.
- 10) Williams, M. and L.Stuzman (1959) Strength variation through the range of joint motion, The Physical Therapy Review, 39:145-152