

新しい筋力トレーニング機器の開発に 関する研究

—関節角度，角速度と最大筋力の関係—

名古屋大学 桜井 伸 二

(共同研究者) 同 池 上 康 男

同 岡 本 敦

同 矢 部 京之助

A Basic Study for the Development of the New Weight Training Machine

—Relationship among Joint Angle, Angular Velocity,
and Torque in Maximum Voluntary Contraction.—

by

Shinji Sakurai, Yasuo Ikegami,
Atsushi Okamoto and Kyonosuke Yabe
*Research Center of Health, Physical
Fitness and Sports, Nagoya University*

ABSTRACT

Relationship among joint angle, angular velocity, and torque in maximum voluntary contraction was investigated on joint movement. Elbow joint torque changes during maximum elbow flexion was determined in seven university male students using the isokinetic device (Cybex-II) in various angular velocities of motion including isometric contraction. The results are as follows; (1) Peak torque values in dynamic contractions relative to that of isometric condition decreased gradually with increased speed of motion, and were 80% (60 deg/s), 71% (120 deg/s), 67% (180 deg/s), 60% (240 deg/s), and 55% (300 deg/s). (2) Peak dynamic torque was reached at elbow joint angles in the range of 70—90 degrees, with a displacement toward smaller elbow angles with higher angular velocities.

Using these results in this study, it appears that there is a good possibility of planning and making a new weight resistance training machine.

要 旨

人体の関節運動について、関節角度・角速度と最大発揮トルクの関係を求めた。7名の男子大学生を対象として、アイソキネティック筋力測定装置（サイベックスⅡマシン）を用い、最大努力時の肘関節屈曲トルクの変化を求めた。最大発揮トルクは角速度が大きくなるのにもとない、100% (0 deg/s), 80% (60deg/s), 71% (120 deg/s), 67% (180deg/s), 60% (240deg/s), 55% (300deg/s) と小さくなる傾向が認められた。また、最大トルクの発揮される関節角度は肘関節角度70—90度の範囲であり、関節角速度が大きくなるにしたがい関節角度の小さな条件下で最大トルクが発揮される傾向が認められた。これらの結果に基づいて、広い範囲の角度・角速度の運動で筋力の向上に適切な負荷を加えられるようなウエイトトレーニングマシンの設計が可能であると考えられる。

緒 言

近年、アイソキネティックトレーニング器具が筋力トレーニングに広く用いられるようになってきた。アイソキネティック筋力トレーニング法が紹介された当初から、この方法は従来の方法に比べてより大きな効果をもたらすとの報告もなされてきた (Thistle, et al., 1967, Pipes & Wilmore, 1975)。バーベル等のフリーウエイトを用いた従来のトレーニング法はアイソキネティックトレーニング法に比べ、(1)運動の加速度の影響により動作の後半で十分な負荷をかけることができない、あるいは(2)関節角度により変化する最大筋力に対応できない、などの点で劣っていると言われ

ている (小田, 1984, 松尾, 1984)。

一方、筋収縮の力学的特性に関しては、張力に及ぼす筋長および収縮速度の影響が広く知られている。Zierler (1968) は、この筋長、収縮速度、張力の三者の関係を三次元図に示している (金子, 1978)。関節運動においても、アイソメトリック条件下での関節角度と最大筋力との関係、およびアイソキネティック条件下での関節角速度とピークトルクの関係については数多くの研究がなされてきた (金久, 1983)。しかしながら、関節運動において、最大筋力を関節角度と関節角速度の両者との関係でとらえた研究はほとんどない。このため、関節角度に応じた負荷が加わるよう設計されたウエイトトレーニング機器も最近では市販されているものの (園山, 1982, 勢能, 1982)、関節角速度の影響をも考慮して設計されたものは見られない。

本研究の目的は、重量負荷を用いてアイソキネティックトレーニング機器と同様な特性を持つ新しい筋力トレーニング機器開発の基礎資料を得るため、関節における関節角度、関節角速度、最大筋力 (トルク) の関係を求める方法を確認することである。このため、肘屈曲動作における等速性最大発揮トルクの測定を行なった。

方 法

健康な男子大学生7名 (年齢 19.0 ± 1.4 歳, 身長 1.69 ± 0.06 m, 身体質量 56.0 ± 7.7 kg) を被検者とした。これらの被検者はとくに筋力トレーニングを行なっている者ではなかった。

肘関節の最大屈曲トルクをサイベックスⅡマシン (Lumex Inc.) を用いて測定した。被検者はアームカールベンチに座り、測定中は上腕部を

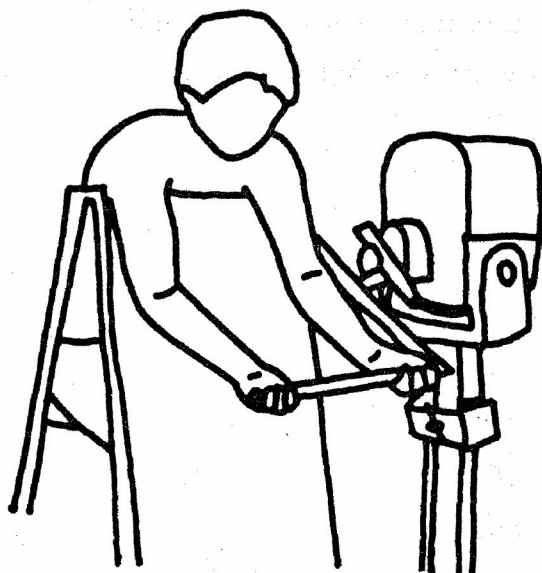


図1 サイベックスⅡマシンによる
最大肘屈曲トルクの測定風景

ベンチのサポートパッドから浮かさないようにした(図1)。サポートパッドの傾斜角度は15度であった。サイベックスⅡマシンの入力レバーの中心を肘関節の回転中心と一致するようにした。測定角速度は $5/3$, $4/3$, 1 , $2/3$, $1/3 \times \pi$ rad/s (それぞれ 300, 240, 180, 120, 60 deg/s) とした。被検者には運動の最初から最後まで全力で肘関節を屈曲するよう指示した。さらに、同様の実験設定で、肘関節角度20度から120度の範囲の八つの角度でアイソメトリックの最大肘関節屈曲トルクを測定した。なお肘関節の最大伸展時を肘関節角度0度とした(図2)。

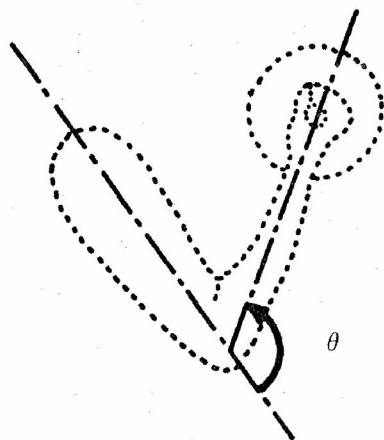


図2 肘関節角度(θ)の定義

肘関節トルクおよび入力レバーの角度変化をPCMデータレコーダーに記録し、再生してAD変換した。アイソメトリックの場合については、肘関節角度—トルクの関係を二次曲線回帰し、各関節角度における最大屈曲トルクを推定した。なお、結果はサイベックスⅡマシンの入力レバーの運動がほぼ等速となっていた肘関節角度20度から120度の範囲の10度毎について最大肘屈曲トルクを求め、関節角速度との関係から記述することとした。

結果と考察

サイベックスⅡマシンで測定された最大努力時の肘関節屈曲トルクを、被検者A(19歳, 1.71m, 70kg)の場合について、横軸を肘関節角度として各角速度ごとに図3に示した。いずれの肘関節角度においても、アイソメトリックにおける発揮トルクが最大となった。測定の角速度が大きくなるにしたがい、発揮されるトルクは小さくなる傾向が認められた。この傾向は運動の全範囲で認められた。この被検者の場合には、トルクの最大値は、アイソメトリックの場合も含めて肘関節角度50度から80度の範囲で出現した。

肘関節角度90度におけるアイソメトリック最大トルク値を100%として各被検者のトルク値を相対化し、関節角速度別に7名の平均値と標準偏差で図4に示した。同じく図5には平均値をまとめて示した。また図6には肘関節角度30, 60, 90度のときの関節角速度—発揮トルク関係を、ピークトルクの場合とあわせて7名の平均値で示した。これらの結果から、関節角速度が大きくなるにしたがい最大発揮トルク(ピークトルク)は100%(A: 0 deg/s), $80 \pm 11\%$ (B: 60 deg/s), $71 \pm 10\%$ (C: 120 deg/s), $67 \pm 9\%$ (D: 180 deg/s), $60 \pm 8\%$ (E: 240 deg/s), $55 \pm 8\%$ (F: 300 deg/s) と小さくなる傾向が認められた。また、最大トルクが発揮される関節角度は、関節角速度

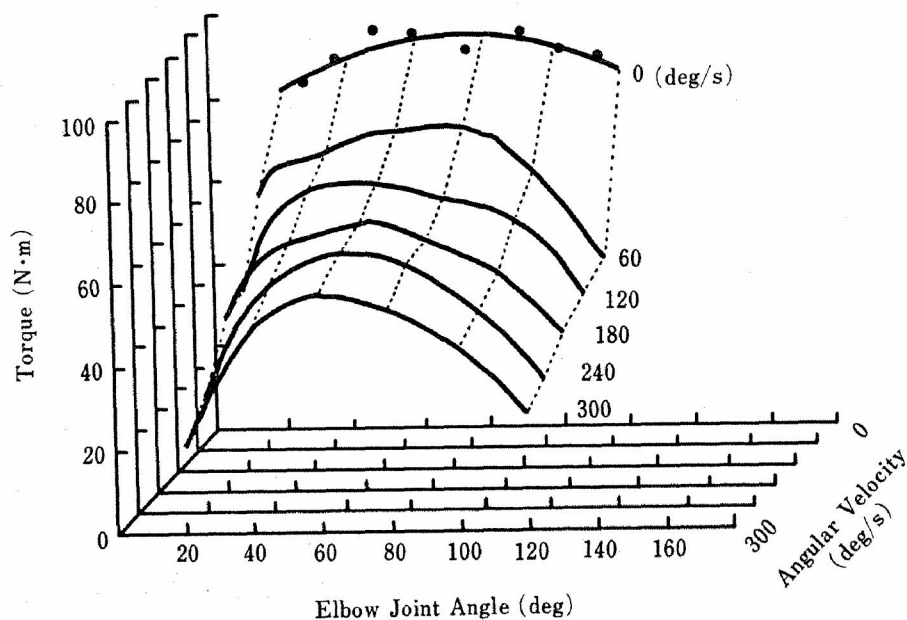


図3 被検者Aの最大肘屈曲トルク．両側での測定値が示されている

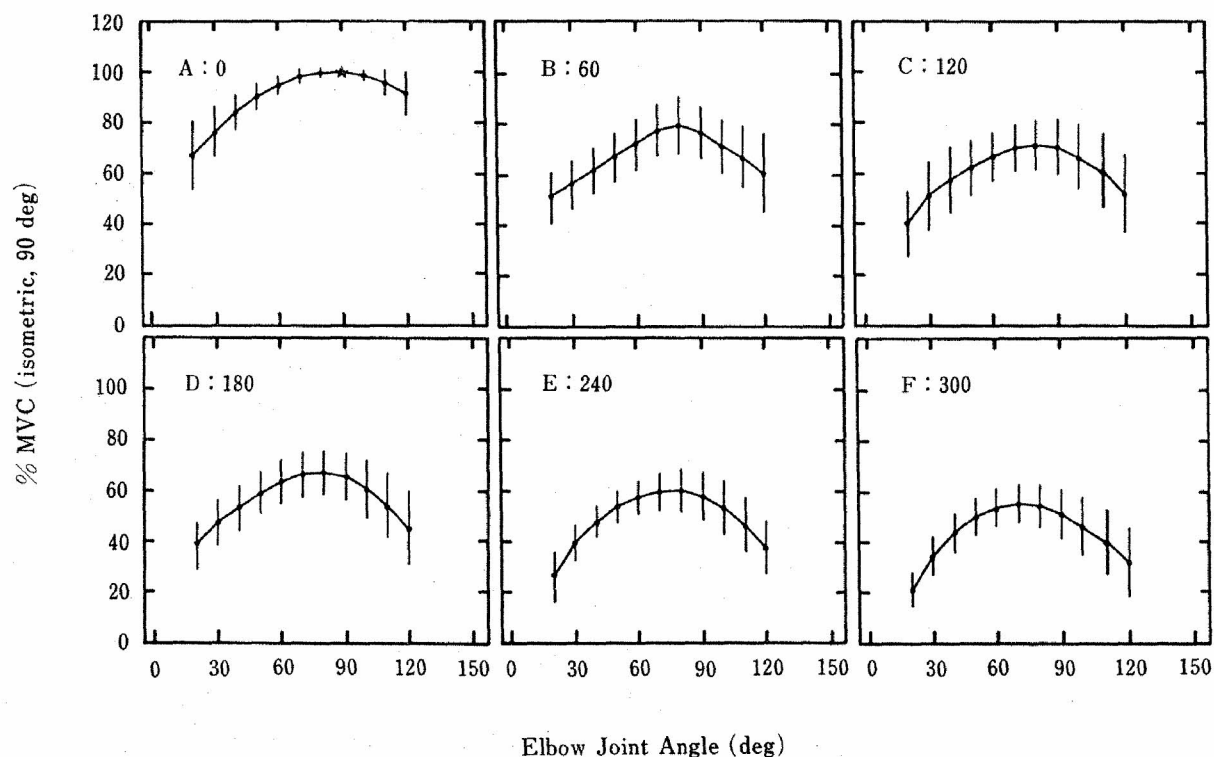


図4 肘関節角度と肘屈曲トルクの関係．各被検者のアイソメトリック・肘関節角度90度のトルク値を100%として相対値化し，7名の平均値と標準偏差であらわす．A—Fはそれぞれ，角速度が0，60，120，180，240，300deg/sの場合を示す

0 deg/s の場合には90度，60，120，180，240 deg/s の場合には80度，300deg/s の場合には70度と，関節角速度が大きくなるにしたがい最大ト

ルクの発揮される関節角度が小さくなる傾向が認められた．さらに，これまでいくつかの方法で力一速度関係（最大トルク—関節角速度関係）が求

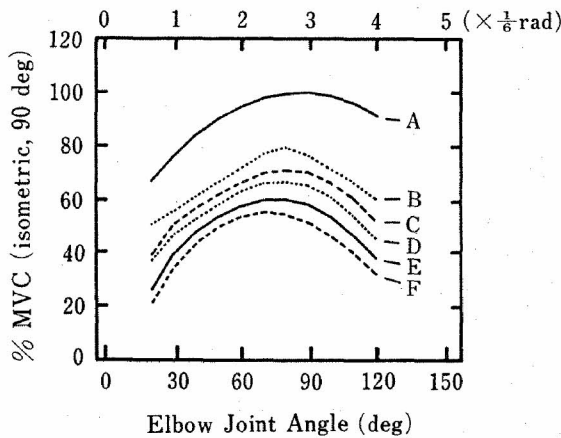


図5 肘関節角度と肘屈曲トルクの関係 (図4に同じ)

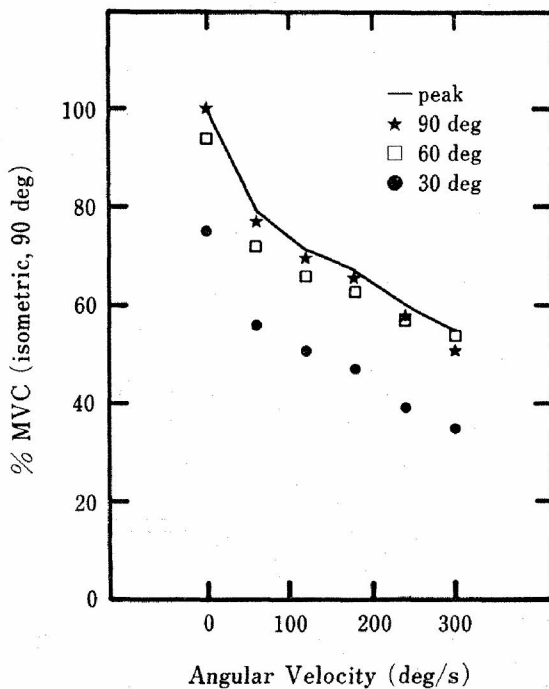


図6 肘関節角速度と肘屈曲トルクの関係. 各被検者のアイソメトリック・肘関節角度90度のトルク値を100%として相対値化し, 7名の平均値であらわす

められてきたが(金久, 1983), いずれの場合もピーク値などが用いられ関節角度の影響については考慮されていなかった. 図6によれば関節角度をも考慮した場合には, これまでの力-速度関係とはやや異なった関係が得られることが示唆された.

これまで, 肘屈曲において最大筋力が発揮される角度は90度前後であると考えられ, またアイソメトリックの条件下において実験的にもこれが確

認されてきた(丹羽, 1970). 最近の多くのウェイトトレーニング機器も, このような静的条件下のみににおける最大筋力の測定結果に基づき開発されているものと考えられる(園山, 1982, 勢能, 1982). ところが, 本研究で得られた結果によれば, 関節角速度の変化により, 最大トルクが発揮される関節角度は必ずしも一定ではなかった. そのため, 前述のようなトレーニング機器を用いて軽い負荷重量で高速のトレーニングを行なう場合には, 関節角度により適切な負荷が加えられないことが考えられる.

この問題を解決するためには, 関節角度の違いによる出力トルク値の違いばかりではなく, 関節角速度値の変化にも対応して負荷が変化するような機構を設計する必要がある. このような機構のうち単純なものとしては, 自転車の変速機のような数組の歯車あるいは滑車を組み合わせたものが考えられる. 実際には, ノーチラス社のトレーニング機器に使用されているノーチラスカム(園山, 1982)の形状および大きさ(半径)を変えたものを何枚か組み合わせたものと考えることができる. トレーニングが常に全力で行なわれるとすれば, このカムの半径の大小によりトレーニング速度が決定される. その速度値における最大トルクの変化にそれぞれのカムの形状を対応させるものとする. このことにより, 関節角度・角速度に対応した適切な負荷を実現することが可能になるであろう.

また, フリーウェイトを用いたトレーニング法の短所として, 運動の加速度の影響により動作の後半で十分な負荷をかけることができない点がある(松尾, 1984). この点については, 力点に加わる力と作用点に加わる力の比, つまりシステム全体でのてこ比を小さくすることが有効と考えられる. 例えば手首あるいは手掌部等に加わる力の10倍の重量物(ウェイト)を使用する, すなわちてこ比を10:1などとすれば, てこ比が1:

1 の場合に比べ加速度による影響は原理的には10分の1となる。このような方法により加速度の影響を小さくすることが可能であると考えられる。

結 語

アイソキネティック筋力測定装置を用いて、関節角度・角速度と最大発揮トルクの関係を求めた。最大発揮トルクは角速度が大きくなるのにもない、100% (0 deg/s), 80% (60deg/s), 71% (120 deg/s), 67% (180 deg/s), 60% (240 deg/s), 55% (300 deg/s) と小さくなる傾向が認められた。また、関節角速度が大きくなるにしたがい最大トルクが発揮される関節角度が小さくなる傾向が認められた。これらの結果に基づいて広い範囲の角度・角速度の運動で、筋力の向上に適切な負荷を加えられるようなウェイトトレーニングマシンの設計が可能であると考えられた。

文 献

- 1) Hay, J.G., J.G. Andrews, and C.L. Vaughan;
Effect of lifting rate on elbow torques exerted during arm curl exercises. *Med. Sci. Sports*

Exerc., **15** : 63—71 (1983)

- 2) 金子公宥; 瞬発的パワーから見た人体筋のダイナミクス, 杏林書院, pp 5—6 (1978)
- 3) 松尾昌文; アイソメトリックスとウェイトトレーニング, 現代体育・スポーツ大系第8巻, トレーニングの科学, 講談社, pp 148—172 (1984)
- 4) 丹羽 昇; 角度と筋力との関係—腕筋力の場合—, 体育学研究, **14** : 201—206 (1970)
- 5) 小田伸午; アイソメトリック, アイソトローニック, アイソキネティック・トレーニングの特徴, 体育の科学, **34** : 204—209 (1984)
- 6) Pipes, T.V. and J.H. Wilmore; Isokinetic vs isotonic strength training in adult men. *Med. Sci. Sports*, **7** : 262—274 (1975)
- 7) 勢能志彦; SER トレーニングマシンのシステム化と開発背景, 体育の科学, **32** : 732—735 (1982)
- 8) 園山 忠; ノーチラス・トレーニングマシンの特徴, 体育の科学, **32** : 720—724 (1982)
- 9) Thistle, H.G., H.J. Hislop, M. Moffroid and E.W. Lowmann; Isokinetic contraction, A new concept of resistive exercise. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, **48** : 279—282 (1967)
- 10) Thorstensson, A., G. Grimby, and J. Karlsson; Force-Velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. *J. Appl. Physiol.*, **40** : 12—16 (1976)