

Isokinetic machine の角速度条件と 負荷強度の関係 ーアスレチック・リハビリテーションへの応用ー

山本 利春、黄川 昭雄、佐々木 敦之、上野 真宏

(国際武道大学 体育学部)

Relationship between intensity and angular velocity of isokinetic machine : Application to athletic rehabilitation

Toshiharu YAMAMOTO, Akio KIGAWA, Nobuyuki SASAKI and Masahiro UENO

(Faculty of Physical Education, International Budo University)

【緒 言】

従来、筋力を高めるためのトレーニングとして、アイソメトリックトレーニングやアイソトーントレーニングが多く用いられてきた。近年、等速性筋収縮が可能なIsokinetic machineの出現により、アイソキネティックトレーニングが流行し、その有効性は現在多くの研究報告により実証されている³⁾⁹⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾²⁰⁾²³⁾。アイソキネティックトレーニングは、運動部位に加速度が生じるのを機械的になくし、可動範囲全域に渡って一定速度で全力運動を行わせることが可能である²⁰⁾。したがって、Isokinetic machineを用いたトレーニングでは、各関節角度において筋出力に応じた最大限の負荷が筋にかかるため、安全かつ効果的なトレーニングが実施できる。筋の発揮する力と運動速度との関係は、一般にそのどちらかが増加すると、一方は指数関数的に減少する³⁾⁶⁾¹²⁾²⁸⁾。したがって、アイソキネティックトレーニングでは運動速度を一定にして発揮筋力を高める方法がとられる。障害を有するスポーツ選手、特に関節疾患の術後早期

にある者に対して筋力トレーニングを処方する際には、医学的条件にもとずいて負荷強度を制限したり、選択する必要性が生じる。しかし、アイソキネティックトレーニングにおけるトレーニング条件の規定は、運動速度にあるにもかかわらず、その運動速度から負荷強度を知る客観的な指標がないのが現状である¹¹⁾²⁵⁾。

そこで本研究では、Isokinetic machineにおける角速度条件と筋出力との関係を明らかにすることにより、より合理的にスポーツ選手の障害後の機能回復訓練（アスレチック・リハビリテーション）を進める方法について検討した。

【方 法】

健康な体育大学生218名（男204名、女14名）を被検者とし、これらの被検者の436脚について等尺性および等速性の膝関節伸展における最大筋力を測定した。

測定はCybex II（Lumex社製）を用い、図1の如く椅座位にてCybex IIの入力レバーに足首を



図1 Cybex IIによる測定風景

固定し、膝関節90度屈曲位から完全伸展位（解剖学的0度）までの伸展・屈曲運動を最大努力で行わせた。測定速度は、0度/秒（静的等尺性最大筋力）、30度/秒、60度/秒、120度/秒、180度/秒、240度/秒、300度/秒の7項目とし、各速度におけるピークトルク値から単位換算して筋力(kg)を求めた。なお、静的等尺性最大筋力の測定時の膝関節角度は、70度屈曲位とした。

表1. 等尺性最大筋力を基準とした筋出力比

Cybex II 角速度	筋出力比
0度/秒	1.00
30度/秒	0.84 ± 0.09
60度/秒	0.80 ± 0.08
120度/秒	0.64 ± 0.07
180度/秒	0.53 ± 0.08
240度/秒	0.46 ± 0.08
300度/秒	0.34 ± 0.08

※60,180,300度/秒はN=378,
30,120,240度/秒はN=58.

【結果と考察】

1. 角速度条件と筋出力

角速度0度/秒における等尺性の最大膝関節伸展力を随意性最大筋力として100%基準値とすると、各角速度条件における筋出力比は表1の如くである。

動的な筋収縮において、力と速度の関係に法則性がみられることは、Hillの特性方程式²⁾によって知られている。すなわち、発揮される力が増加するにつれ、収縮速度は減少し、逆に収縮速度が増加するにつれ、発揮される力は減少するという関係である。Hillの特性方程式は蛙の摘出筋により求められたものであるが、ヒトの骨格筋でもHillの特性方程式と同様な関係が当てはまることが確かめられている⁶⁾¹²⁾²⁸⁾。本研究におけるIsokinetic machineを用いた等速性筋収縮の場合でも、速度範囲が0~300度/秒と限られているものの、速度の増加に対して指数関数的に減少する法則性が確認された(図2)。

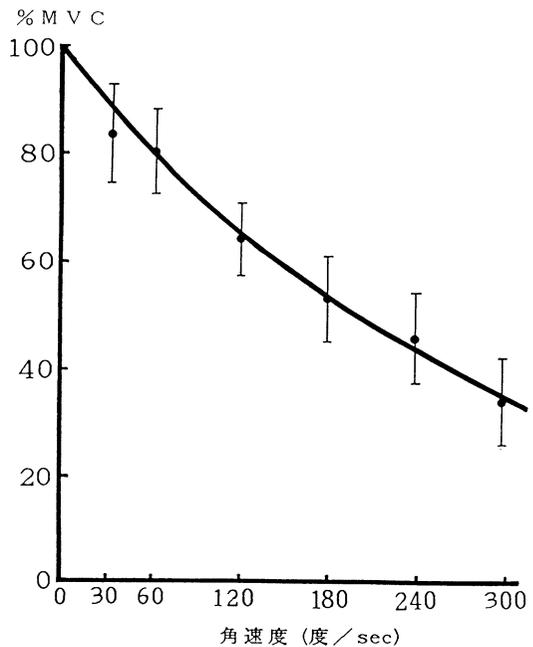


図2 Cybex II マシンにおける角速度と負荷強度との関係

従来、Isokinetic machineを用いたトレーニングや筋力評価を行う場合、その指標となる客観的な基準値となるものがなく、経験的手法やあいまいな評価がとられていたのが現状であった¹¹⁾²²⁾²⁵⁾。表1のように、速度と力の関係が最大筋力比として客観的な数値となれば、生理学的基礎を踏まえた処方が可能となろう。従来、関節手術後初期におけるIsokinetic machineを用いたトレーニングでは、単に設定速度に動作が追いつかない（抵抗、力がかからない）という理由から低速度でのトレーニングが提唱されていた²¹⁾。しかし、過負荷を避け、負荷強度を制限する必要性のあるこの時期に低速度でのトレーニングを選択することは、速度-負荷関係からすれば、無配慮かつ危険である。筆者らは、仮に筋出力の発揮が不十分（速度に追いつかず抵抗がかからない状態）でも、神経・筋協調性訓練としての有効性をも考慮し、術後初期には高速度でのトレーニングを勧めている¹⁴⁾。

2. 至適トレーニング速度（負荷）の選択

トレーニング効果を高め、合理的にトレーニングを進めるためには、単に経験的で主観的な負荷

強度の選択ではなく、運動生理的な裏付けを持った的確な負荷条件の選択が望まれる。Isokinetic machineに関しては、機器の著しい普及に比べ、その至適トレーニング条件についての具体的な指標が今だに的確でないのが現状である。

Hettinger¹⁾は、最大筋力を高めるためのトレーニングの最適強度は最大筋力の40~50%以上であると述べている。また、金子⁶⁾によれば、最大パワーの増加のための負荷強度は最大筋力の30~50%が最も効果的である。単にトレーニングの負荷強度からみれば、これらの負荷がIsokinetic machineにおける角速度のどこに相当するのかを調べ、至適トレーニング速度を選択することが必要である。しかし、アイソキネティックトレーニングの場合、速度条件によってその効果は特異的なものとなることが知られている⁷⁾¹⁰⁾。金久と宮下⁸⁾によれば、30度/秒でのトレーニングは高速度（240-300度/秒）における有意な改善を示したのに対し、60度/秒でのトレーニングは、低速度（60-120度/秒）での出力に高い改善率を示し、180度/秒という中間的な速度でのトレーニング

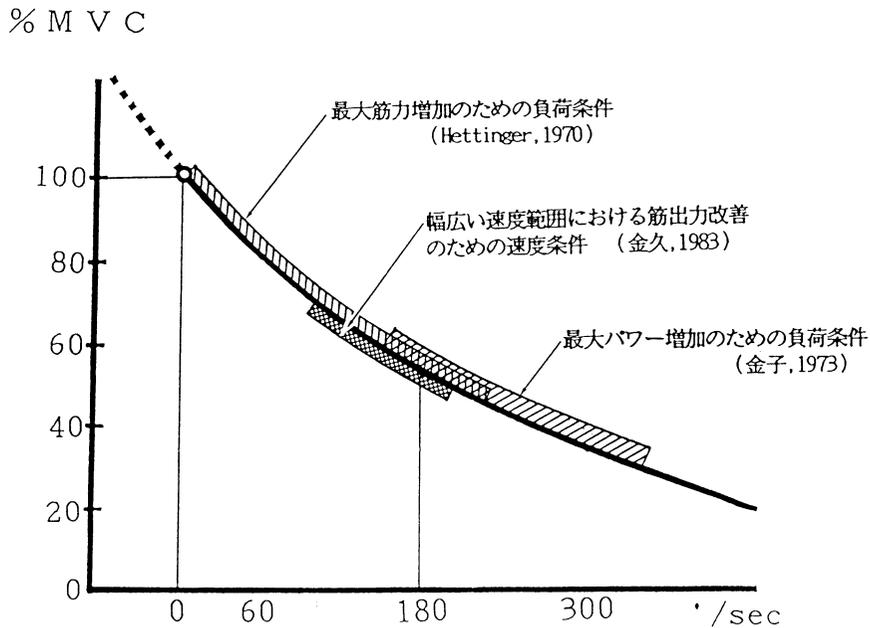
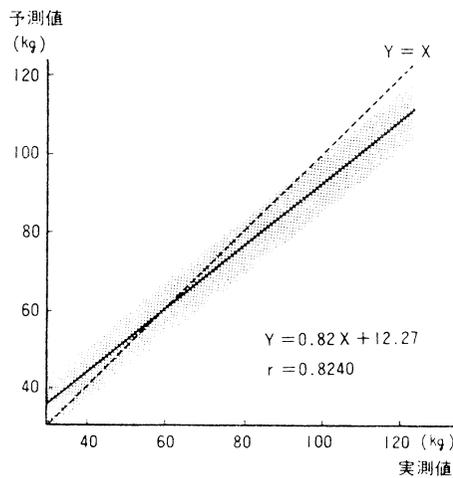


図3 至適トレーニング速度（負荷）の選択条件

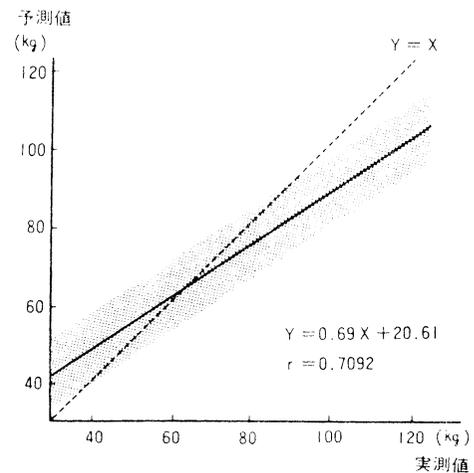
は、測定速度（60-300度/秒）全域における出力を有意に改善した。これらの結果のもとに、金久⁷⁾は多くの研究報告¹⁾²⁾⁸⁾¹⁵⁾¹⁶⁾をまとめた見解として、幅広い速度範囲における出力を改善するためのトレーニング速度は 100度/秒～200度 /秒までを挙げている。

以上のことを踏まえ、本研究で得られた図3のIsokinetic machineによる速度-負荷強度関係を示したグラフ上に当てはめてみると、種々の条件

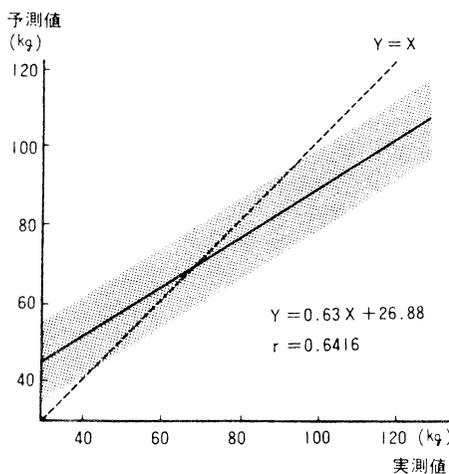
を重ね合わせて満たしている速度は、180度/秒付近ということになる。したがって、Isokinetic machineを用いたトレーニングでは 180度/秒を基本的速度としたプログラムを作成することが好ましいと思われる。筆者らは、障害後のスポーツ選手の筋力トレーニングにおいて上記の 180度/秒での速度を中心に処方し、良好な結果を得ている²⁶⁾²⁷⁾。



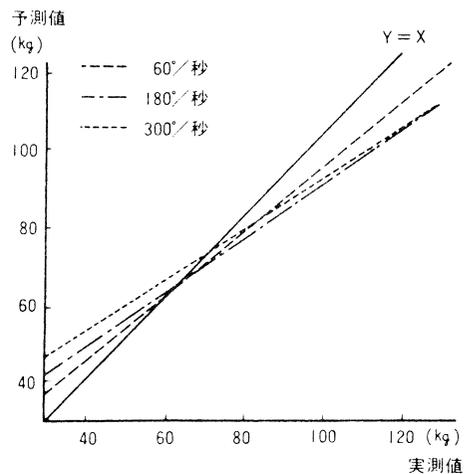
A 60°/秒



B 180°/秒



C 300°/秒



D 全体の比較

図4 最大筋力の実測値と予測値の相関

最大筋力実測値はCybex II速度0°/秒での最大筋出力値、予測値はCybex II速度60°/秒、180°/秒、300°/秒での筋力値から表-1より求めた補正率で換算したものの。

3. 等尺性最大筋力 (MVC) の推定

リハビリテーションやスポーツにおける筋力トレーニングでは、正確な筋力評価から処方された運動プログラムが必要である。筋力評価として基本的に広く用いられているのは最大筋力 (随意性静的最大筋力: 以下MVC) の測定であり、トレーニングにおける至適負荷強度は一般に30~60%MVCと考えられている⁹⁾。しかしながら、障害を有する者では最大筋力を測定すること自体が難しく、筋力評価が困難な例が少なくない。たとえば、膝前十字靭帯の再建手術後の場合、最大筋力評価が不可能あるいは禁忌とされる時期がある。したがって、最大筋力の評価が行い得ないこの時期のリハビリテーショントレーニングの多くは経験的、対症的な処方が行われており、的確な負荷で筋力トレーニングが実施されていないのが現状である。そこで、筆者らは本研究で求めた速度-力関係を利用し、最大下の動的筋出力の測定値から等尺性最大筋力の測定を試みた¹³⁾。Isokinetic machineでの等速性筋収縮の測定ならば、静的な等尺性最大筋力の測定に比べ、より安全で負荷も少ない。

表1に示した等尺性最大筋力を基準とした筋出力比から計算すると、各測定速度における筋出力から等尺性最大筋力を推定するには、それぞれ60度/秒では1.25、180度/秒では1.89、300度/秒では2.94の補正値を乗ずることで算出できる。これらの動的筋力から補正値によって得られる静的最大筋力推定の妥当性を検討するために、別の体育大学生74名において、補正値をもとに動的筋力から計算した最大筋力 (予測値) と実測した最大筋力 (実測値) との回帰性をみたものが図4である。各速度における予測値と実測値との相関は、60度/秒で $r=0.824$ 、180度/秒で $r=0.709$ 、300度/秒で $r=0.642$ とそれぞれ高い相関関係が認められ、特に低速度での筋出力からの予測値、筋力的には最大筋力が70kg前後での予測値が回帰性が強く、より信頼度が高い結果であった。

臨床的に最大筋力の測定ができない者に対して、

安全に測定可能な負荷強度を等速度条件下で選択し、最大筋力を推定することが可能であれば、術後早期に的確な筋力トレーニングを行うことができ、スポーツ選手の早期機能回復、早期競技復帰に有効となろう。

<まとめ>

Isokinetic machineの角速度条件と負荷強度の関係を明らかにすることにより、経験的、主観的ではない科学的根拠に基づいた安全で合理的なトレーニングおよび筋力評価が可能となる。スポーツ選手における競技復帰を前提にしたアスレチックリハビリテーションを進める上で、より効果的な応用について今後さらに検討していくつもりである。

【文 献】

- 1) Caiozzo, V. J., et al.: Training-induced alterations of the in vivo force-velocity relationships of human muscle. *J. Appl. Physiol., Respirat. Environ. Exercise physiol.*, 51:750~754, 1981.
- 2) Coyle, E. F., et al.: Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J. Appl. Physiol.*, 51:1437~1442, 1981.
- 3) Hill, A. V.: Heat of Shortening and dynamic constants of muscles. *Proc. Roy. Soc. Med.* 126:136~195, 1938.
- 4) Hettinger, T. (猪飼 道夫, 松井 秀治訳): *Isometric Training*. 大修館書店, 東京, 1970.
- 5) 今泉 哲雄, 浅見 高明: Isokinetic training が筋力および筋持久力に及ぼす効果. *体力研究*, 64:47~56, 1987.
- 6) 金子 公有: 瞬発的パワーからみた人体筋のダイナミクス. 杏林書院, 東京, 1973.
- 7) 金久 博昭: 筋の出力特性とトレーニング. *Jap. J. Sports Sci.*, 2(1):23~34, 1983.
- 8) Kanehisa, H. and H. Miyashita: Specificity of velocity in strength training. *Eur. J. Appl.*

Physiol. 52:104~106,1983.

9) Kanehisa, H. and H. Miyashita: Effect of isometric and isokinetic muscle training on static strength and dynamic power. Eur. J. Appl. Physio. 50:365~371, 1983.

10) 金久 博昭 : アイソキネティック・トレーニング. 浅見 俊雄, 宮下 充正, 渡辺 融編. 現代体育・スポーツ体系, 第8巻 : 172~191. 講談社. 1984.

11) 川上 哲夫他 : 膝蓋骨骨折手術 (Pauwele法) 後の等速性筋力の回復について. 整形外科, 38(1):69~73, 1987.

12) 川初 清典, 猪飼 道夫 : ヒトの脚パワーと力・速度要因 (1) 測定方法と力・速度およびパワーの関係について. 体育学研究, 16:223~232, 1971.

13) 黄川 昭雄, 山本 利春他 : Cybex IIによる最大筋力評価の試み. 臨床 スポーツ医学, 4 suppl. :404~407, 1987.

14) 黄川 昭雄, 山本 利春他 : 筋力回復過程からみた前十字靭帯損傷. 東京膝関節学会誌 9 : 266~271, 1988.

15) Lesmes, G. R., et al. : Muscle strength and power changes during maximal isokinetic training. Med. Sci. Sports, 10 : 266~269, 1978.

16) Moffroid, M. and Whipple, R. H. : Specificity of speed exercise. Phys. Ther., 50:1692~1699, 1970.

17) Moffroid, M., et al. : A study of isokinetic exercise. Phy. Ther., 49 : 735~746, 1969.

18) 大井 淑雄, 御巫 清允: Cybex machine

の整形外科的領域における利用の可能性について. 整形外科, 25(3):306~312, 1979.

20) Pipes, T. V. and Wilmore, J. H. : Isokinetic vs isotonic strength training in adult men. Med. Sci. Sports, 7 : 262~274, 1975.

21) Sherman, W. M. et al. : Isokinetic rehabilitation after surgery. Am. J. Sports Med., 10(3): 155~161, 1982.

22) 清水 泰雄他 : Cybex IIによる女性一流スキー選手の膝関節損傷後の復帰について. 臨床スポーツ医学, 4(1) : 57~64, 1987.

23) 嶋田 智明 : 等運動性訓練の理論と実際—その原理、臨床的応用および効果について—。理学療法と作業療法, 13(8) : 515~524, 1979.

24) Thomee, R., et al. : Slow or fast isokinetic training after knee ligament surgery. JOSPT, 8(10) : 475~479, 1987.

25) 鳥巢 丘彦他 : 膝関節の前十字靭帯再建術の後療法. 整形外科, 36(7):897~905, 1985.

26) 山本 利春, 黄川 昭雄 : アスレチックリハビリテーションに関する研究—短期筋出力回復について—。第12回運動療法研究会論文集 : 45~50, 1987.

27) 山本 利春, 奥山 秀雄, 黄川 昭雄, 金久 博昭 : 短期間での筋力強化を目的とした電気刺激による筋力トレーニングの検討. 体力科学, 37(6):803, 1988.

28) Wilkie, D. R. : The relation between force-velocity in human muscle. J. Physio. (Lond), 10:149~180, 1950.