

Title	トレマックスシステムを用いた静的最大筋力の出力特性：レッグエクステンション，レッグカールにおける筋出力の動態評価
Sub Title	A study on static strength of leg extension and leg curl exercise measured by "Tremax System" : evaluations of variation mode for these strength
Author	山内, 賢(Yamauchi, Ken)
Publisher	慶應義塾大学体育研究所
Publication year	1995
Jtitle	体育研究所紀要 (Bulletin of the institute of physical education, Keio university). Vol.35, No.1 (1995. 12) ,p.37- 48
JaLC DOI	
Abstract	<p>"Tremax system" consists of a devise and evaluating system to measure static strength of various muscles. There were some measuring positions for these. In this paper, the positions for leg extension were No.1 to No.4 and for leg curl were No.5 to No.8.</p> <p>I measured the strength each of leg extension and leg curl exercise in various knee angles by this system.</p> <p>I normalized whole data of the strength, i. e. any value of the strength, which was same man and same exercise, divided by the maximum. This normalized data was %strength, I called.</p> <p>All six subjects were members of a Judo club at Keio University.</p> <p>Using the numerical data and a least square method, I apporoximate on the relationship between differential knee angle and the %strength during each exercises. Having the variations in prospect with the %strength of the knee angle, the numerically well defined experimental function was liked a parabola.</p> <p>$y = a + bx - cx^2$, ($c > 0$)</p> <p>From solutioning this function, the equation was as follows ;</p> <p>For leg extension :</p> <p>$YE = -492.43 + 9.58 XE - 0.039 XE^2$ $XE = 122.26$, $yE = 93.12$, (point of inflection).</p> <p>For leg curl :</p> <p>$YC = -126.74 + 2.14 XC - 0.0051 XC^2$ $XC = 208.85$, $yC = 97.22$, (point of inflection).</p> <p>It was meaned that each value of XE and XC was the best angle for performing a maximam static strength both of two exercises. Considering these angles, I found the Position that was just a like the knee angle doing the exercise at same. the best measuring position for the leg extension was No.2 and that for the leg curl was No.6.</p>
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00135710-00350001-0037

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

トレマックスシステムを用いた静的最大筋力の出力特性
— レッグエクステンション, レッグカールにおける筋出力の動態評価 —

山 内 賢*

**A study on static strength of leg extention and leg curl exercise
measured by “Tremax System”**

— Evaluations of variation mode for these strength —

Ken Yamauchi¹

Abstract

“Tremax system” consists of a device and evaluating system to measure static strength of various muscles. There were some measuring positions for these. In this paper, the positions for leg extention were No.1 to No.4 and for leg curl were No.5 to No.8.

I measured the strength each of leg extention and leg curl exercise in various knee angles by this system.

I normalized whole data of the strength, i. e. any value of the strength, which was same man and same exercise, divided by the maximum. This normalized data was %strength, I called.

All six subjects were members of a Judo club at Keio University.

Using the numerical data and a least square method, I approximate on the relationship between differential knee angle and the %strength during each exercises. Having the variations in prospect with the %strength of the knee angle, the numerically well defined experimental function was liked a parabola.

$$y = a + bx - cx^2, \quad (c > 0)$$

From solutioning this function, the equation was as follows ;

$$\text{For leg extention : } Y_E = -492.43 + 9.58 X_E - 0.039 X_E^2 \\ X_E = 122.26, \quad y_E = 93.12, \quad (\text{point of inflection}).$$

$$\text{For leg curl : } Y_C = -126.74 + 2.14 X_C - 0.0051 X_C^2 \\ X_C = 208.85, \quad y_C = 97.22, \quad (\text{point of inflection}).$$

It was meant that each value of X_E and X_C was the best angle for performing a maximum static strength both of two exercises. Considering these angles, I found the Position that was just a like the knee angle doing the exercise at same. the best measuring position for the leg extention was No.2 and that for the leg curl was No.6.

*慶應義塾大学体育研究所専任講師

¹Assistant Professor of the Institute of Physical Education, Keio University.

はじめに

現在筆者は、トレマックスシステム^①を用いて、ウエイトトレーニングの場合と同様なフォームで行うスクワット、レッグエクステンション、レッグカール、ショルダープレス、ベンチプレス、アッパーバックの6種目における静的最大筋力の出力特性についての調査とそれらの静的最大筋力の測定値を動的なウエイトトレーニングへ活用するための合理的な測定方法と負荷値の決定に関する研究を行っている。筆者はその一報として、「トレマックスシステムでスクワットを測定する場合、測定ポジションは床から最低の高さが53cmであり、最高153cmとする5cmきざみの20の測定ポジションが存在するので、評価は各測定ポジションで発揮されるスクワットの静的最大筋力の、どのポジションで測定した数値を採用すればよいのか？」の命題を解決し、「トレマックスシステムでスクワットの測定・評価をする場合、バー高は、へその位置¹⁾に設定することが望ましいであろう。」との結果を得た。

本論文では、レッグエクステンションとレッグカールの2種目について検討を加えるものである。

本研究の目的は、レッグエクステンションとレッグカールの静的最大筋力の筋出力の特性について、スクワットのと時のようなグラフの様相、平均値、標準偏差による単なる量的な議論のみにとどまらず、数学的処方である「最小二乗法」を用いて動態評価し、質的に議論をすることである。また筆者らは、今後もスクワットや他の種目に関しても本論文と同じような決定論的な方法（近似関数による動態評価）を用いて定量的に解析していきたいと考えている。

方 法

1. 被験者の身体的特性

被験者は、本塾体育会柔道部の6名であった。学生の身体的特性は表1の通りである。

表1 被験者の身体的特徴

被験者	身長 (c m)	体重 (k g)	% F A T (%)	L B M (k g)
A	174.8	85.7	13.1	74.5
B	170.2	76.8	13.1	66.7
C	172.0	86.5	16.3	72.4
D	177.8	76.3	11.8	67.3
E	171.2	71.6	12.4	62.7
F	173.3	84.2	13.3	73.0
平均	173.2	80.2	13.3	69.4
標準偏差	2.5	5.6	1.4	4.2

2. 最小二乗法²⁾について

N + 1 個のデータが以下のように与えられているとする。

横軸： x_0, x_1, \dots, x_N (等間隔である必要はない。)

縦軸： $f(x_0), f(x_1), \dots, f(x_N)$

これらのデータを近似する関数として、多次多項式を考える(本論文の場合は、二次関数を用いた)。

$y(x) = a + bx + cx^2$ を考える。ここで、 a, b, c の値が決まれば近似関数が決まる。

各点 $x_i (i=0, 1, \dots, N)$ における近似関数値 $y(x_i)$ と与えられたデータ $f(x_i)$ との差を考えて、この差の二乗の和が最小になる様に近似関数の係数 a, b, c の値を決定する。すなわち、3変数関数の極値問題を考えればよい。

$f(x_i) - y(x_i) = e_i, Q = e_0^2 + e_1^2 + \dots + e_N^2$ の時、

$\Delta Q / \Delta a = 0, \Delta Q / \Delta b = 0, \Delta Q / \Delta c = 0$ を計算すればよい。

具体的には、以下の連立方程式⁽²⁾を解けばよい。

$$\left[\begin{array}{l} (N+1)a + (x_0+x_1+\dots+x_N)b + (x_0^2+x_1^2+\dots+x_N^2)c \\ = f(x_0) + f(x_1) + \dots + f(x_N) \quad \dots\dots\dots (1) \\ (x_0+x_1+\dots+x_N)a + (x_0^2+x_1^2+\dots+x_N^2)b + (x_0^3+x_1^3+\dots+x_N^3)c \\ = x_0f(x_0) + x_1f(x_1) + \dots + x_Nf(x_N) \quad \dots\dots\dots (2) \\ (x_0^2+x_1^2+\dots+x_N^2)a + (x_0^3+x_1^3+\dots+x_N^3)b + (x_0^4+x_1^4+\dots+x_N^4)c \\ = x_0^2f(x_0) + x_1^2f(x_1) + \dots + x_N^2f(x_N) \quad \dots\dots\dots (3) \end{array} \right.$$

なお、近似関数とデータとの誤差は以下の二乗平均誤差で示される。

$$\epsilon_{RMS} = (Q / N+1)^{1/2}$$

3. レッグエクステンションとレッグカールの実施方法

トレマックスシステムにおいては、レッグエクステンション、レッグカールのそれぞれに4つの測定ポジションが存在する。

レッグエクステンションに関しては、被験者が座る椅子に対して垂直になるような角度調整がしてあるアームの位置をスタートとして、ある一定の角度間隔で上方へ順に4段階の調整ができるように工作してある。レッグカールに関しては、被験者がうつ伏せに寝るベンチに水平になる様な角度調整がしてあるアームの位置をスタートとして、ある一定の角度間隔で上方へ順に4段階の調整ができるように工作してある。レッグエクステンションを具体例として、ト

トレマックスシステムを用いた静的最大筋力の出力特性

レマックスシステムの構造図を図1に示す（以後、本論文は図1を基準として論述する）。

すなわち、トレマックスシステムにおける2種目の試行による測定とは、何処にでもみられるレッグエクステンションマシンや、レッグカールマシンのアームをそれぞれ4段階のある角度で固定し、その不動のアームに抵抗を与えることによって、それらのポジションにおける静的最大筋力の出力を記録することである。

レッグエクステンションにおける測定は、(1)被験者が座位の姿勢であること。(2)上肢筋群の関与の予防のために背部を背もたれにしっかりと固定すること。(3)膝の裏側が座の先端部にしっかりと密着すること。を注意点とした。

レッグカールにおける測定は、(1)被験者がうつ伏せの姿勢であること。(2)上肢筋群の関与の予防のために腰部を測定助手により背後からベンチにしっかりと固定させること。(3)アキレス腱がアームのパットの部位にしっかりと密着すること。を注意点とした。

上記の注意点に留意して被験者は、各ポジションにおけるレッグエクステンション、レッグ

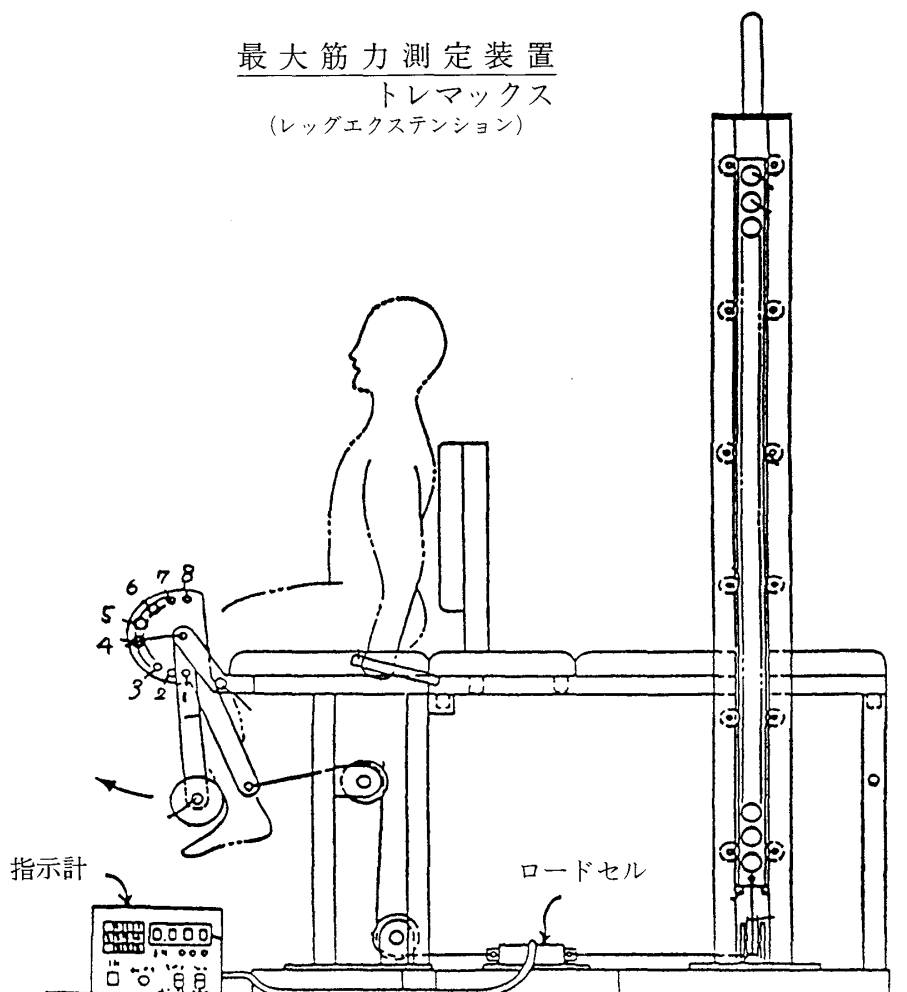


図1 トレマックスの構造図

カールの静的最大筋力運動を3から5秒間行わせた。

また、トレマックスシステムにおけるレッグエクステンションとレッグカールの測定ポジションがつくるアームの角度と各被験者の膝関節角度は、必ずしも等しくないため、被験者の試行する動作における膝の関節の角度は、VMA⁽³⁾(ビデオモーションアナライザー)を用いて算出した。

結果と考察

表2、表3は各被験者が、トレマックスシステムによって異なるポジションで測定したレッグエクステンションおよびレッグカールの静的最大筋力の実測値である。なおポジション No.1から No.4まではレッグエクステンション、No.5から No.8まではレッグカールの数値である。各被験者が各測定ポジションで発揮した静的最大筋力を折れ線グラフで示したものが図2(レッグエクステンション)、図3(レッグカール)である。このグラフより考察できることは、「各被験者における各ポジションの静的最大筋力の出力特性は、何らかの類似した傾向を示す。」とのことである。筆者は、このグラフの様相からみた筋力の出力傾向と、実際にレッグエクステンションおよびレッグカールにおける等速性の筋出力を測定する場合にも筋出力曲線に極大値が存在する現実より、「被験者の関節角度と静的最大筋力の関係には、極大値をもつ二次関数的な特徴をもっている。」と考えた。

このことを根拠として、本論文で数量化する様々な膝の関節角度より発揮される静的最大筋力の出力の数式モデルは、 $Y = a + bx + cx^2$ (右式は基本式であり、レッグエクステンションの場合は基本式の X および Y に添文字 E を、レッグカールの場合は基本式の X および Y に添文字 C をつけた)の二次関数に決定した。

表2 測定ポジションと筋出力
(レッグエクステンション)

被験者	レッグエクステンションのポジションNo			
	1	2	3	4
A	96.9	146.1	113.6	58.8
B	143.4	149.5	121.7	55.7
C	138.7	166.2	124.8	60.3
D	96.6	142.4	102.6	39.4
E	89.9	126.2	78.7	27.1
F	91.1	135.1	106.6	57.1
平均	109.4	144.3	108.0	49.7
標準偏差	22.5	12.4	15.2	12.3

(単位は kg)

表3 測定ポジションと筋出力
(レッグカール)

被験者	レッグカールのポジションNo			
	5	6	7	8
A	63.6	64.8	62.6	51.0
B	66.1	70.3	66.4	61.5
C	75.4	77.3	76.2	68.3
D	53.5	55.4	55.8	57.5
E	54.1	52.4	47.6	46.9
F	54.1	62.5	58.1	50.9
平均	61.1	63.8	61.1	56.0
標準偏差	8.1	8.4	8.9	7.3

(単位は kg)

トレマックスシステムを用いた静的最大筋力の出力特性

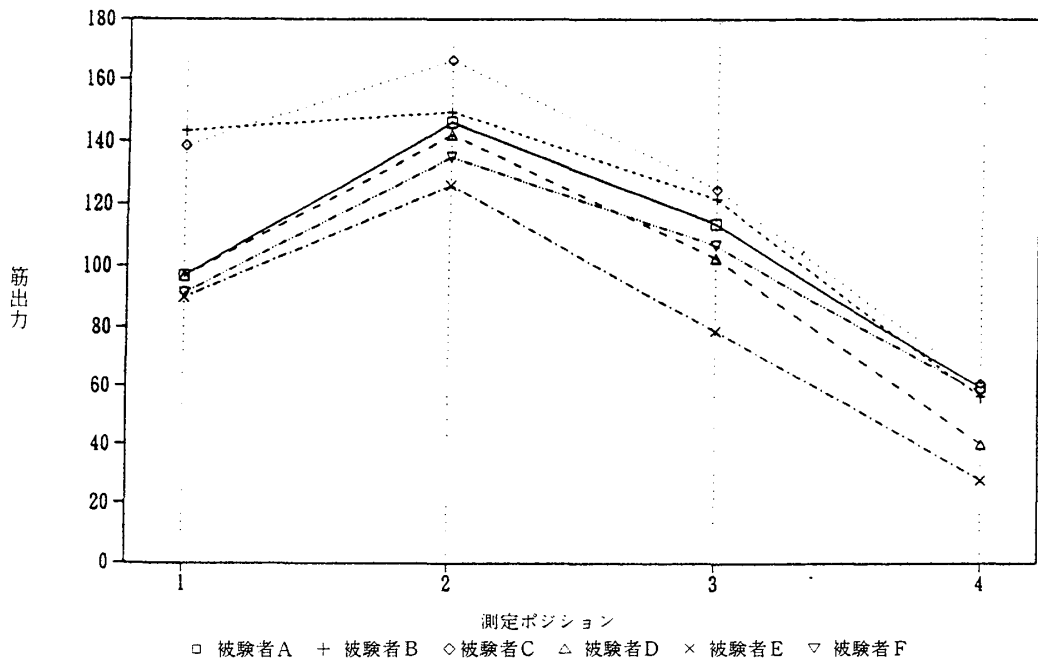


図2 測定ポジションと筋出力の関係（レッグエクステンションの場合）

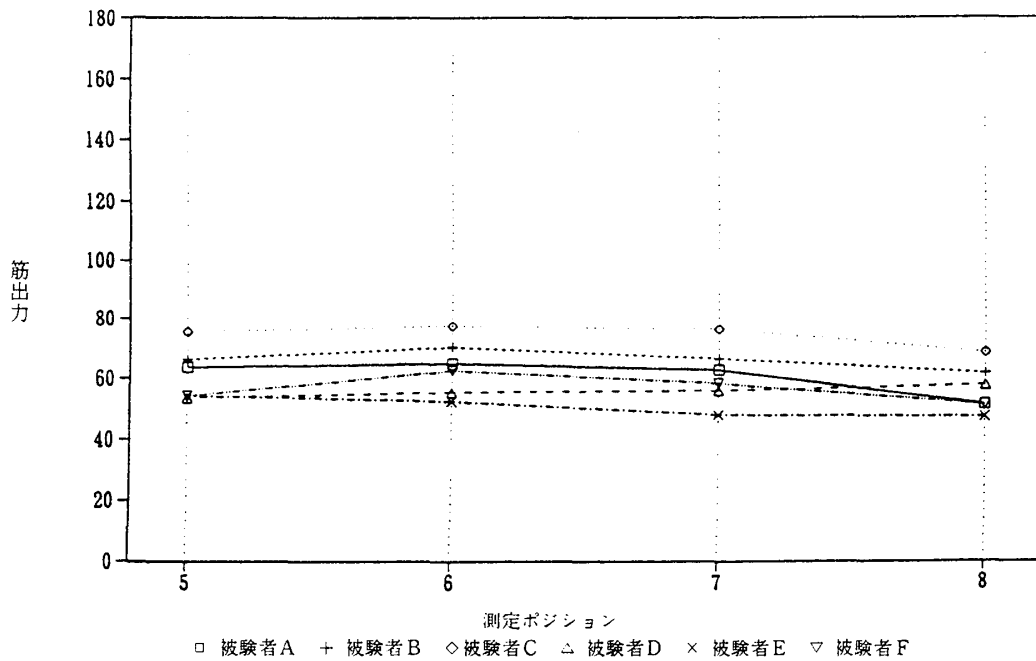


図3 測定ポジションと筋出力の関係（レッグカールの場合）

トレマックスシステムを用いた静的最大筋力の出力特性

表4, 表5は膝の関節角度と筋出力の関係を示したものである。この数値に関するグラフは図4(レッグエクステンション), 図5(レッグカール)である。なお, 表および図における関節角度の画像解析上の定義は水平を0°として, いわゆる時計の3時をスタートとして, 時計まわりに角度が増加するようにした。

表4 関節角度と筋出力(レッグエクステンション)

ポジションNO	1		2		3		4	
被験者	角度	出力	角度	出力	角度	出力	角度	出力
A	94.0	96.9	123.3	146.1	140.0	113.6	161.8	58.8
B	105.4	143.4	123.4	149.5	139.2	121.7	165.2	55.7
C	102.9	138.7	124.1	166.2	138.7	124.8	157.3	60.3
D	105.0	96.6	125.0	142.4	145.2	102.6	157.9	39.4
E	106.9	89.9	131.6	126.2	140.4	78.7	158.7	27.1
F	104.7	91.1	127.5	135.1	146.0	106.6	162.3	57.1
平均	103.2	109.4	125.8	144.3	141.6	108.0	160.5	49.7
標準偏差	4.3	22.5	2.9	12.4	2.9	15.2	2.8	12.3

(単位はkg)

表5 関節角度と筋出力(レッグカール)

ポジションNO	5		6		7		8	
被験者	角度	出力	角度	出力	角度	出力	角度	出力
A	193.9	63.6	218.6	64.8	243.8	62.6	247.7	51.0
B	185.3	66.1	234.5	70.3	233.1	66.4	234.7	61.5
C	195.0	75.4	221.3	77.3	241.1	76.2	236.9	68.3
D	190.3	53.5	223.2	55.4	240.7	55.8	247.9	57.5
E	189.0	54.1	215.6	52.4	232.0	47.6	236.5	46.9
F	202.6	54.1	226.6	62.5	243.2	58.1	249.4	50.9
平均	192.7	61.1	223.3	63.8	239.0	61.1	242.2	56.0
標準偏差	5.5	8.1	6.1	8.4	4.7	8.9	6.2	7.3

(単位はkg)

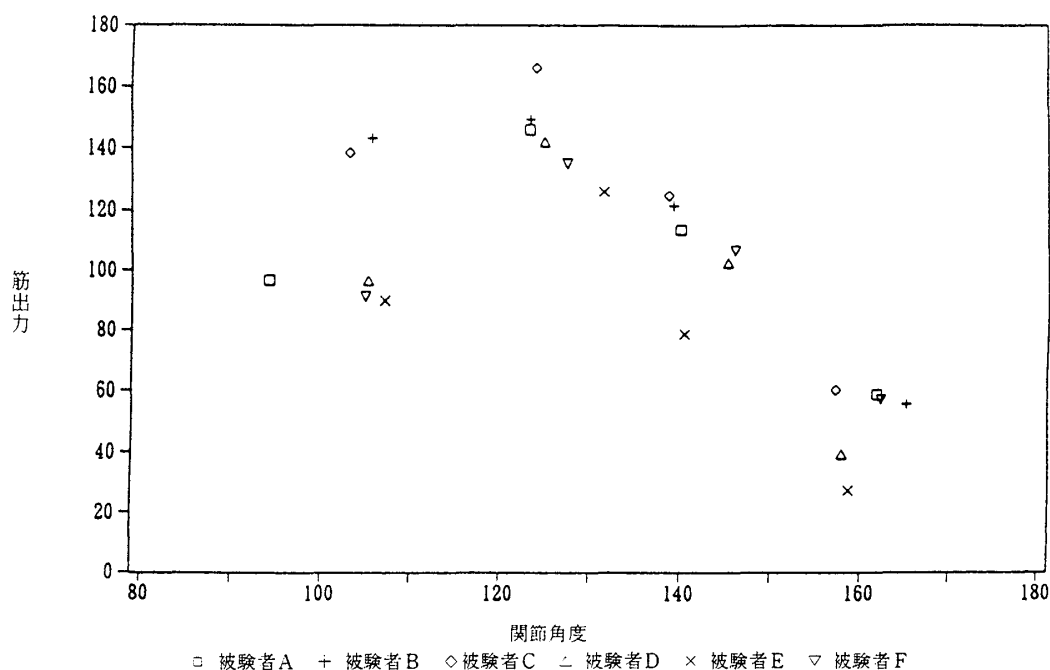


図4 関節角度と筋出力の関係(レッグエクステンションの場合)

トレマックスシステムを用いた静的最大筋力の出力特性

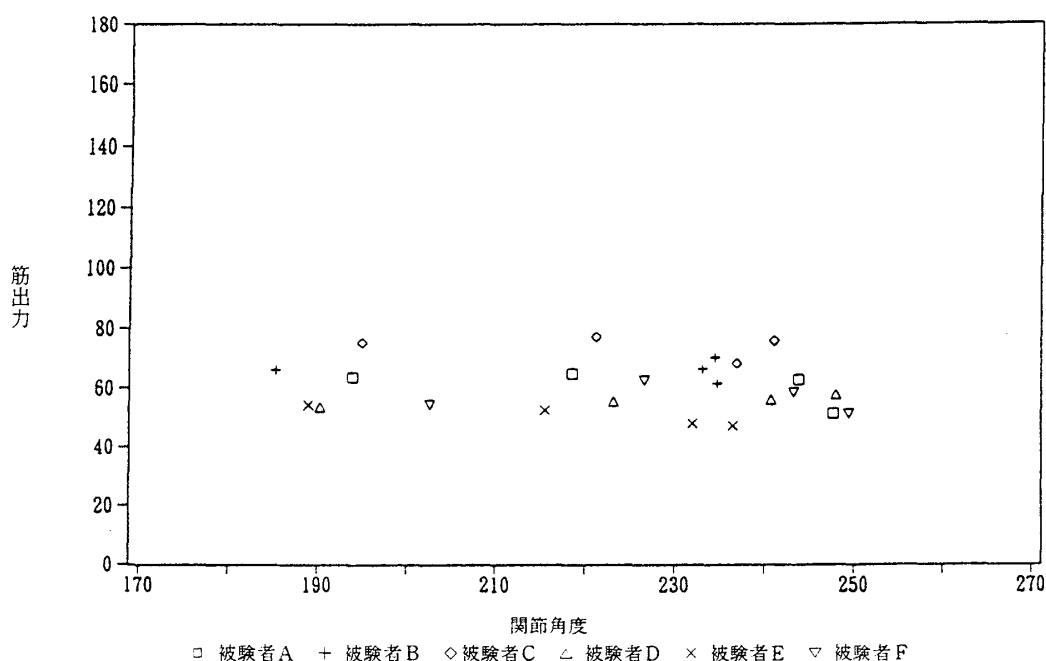


図5 関節角度と筋出力の関係 (レッグカールの場合)

表4, 表5における筋出力は, 各被験者の発揮した実測値である。実測値は各被験者間どうしの筋力そのものの優劣性を含む可能性があるため, 関節角度と静的最大筋力の関係の質的な論議をするために, 各被験者の各ポジションで発揮する筋力の最大値を100として規格化した。表6, 表7はその結果を示す。またこの数値に関するグラフは図6 (レッグエクステンション), 図7 (レッグカール) である。同時に以下に示す近似関数の軌跡をグラフ内に示す。

表6 関節角度と規格化した筋出力 (レッグエクステンション)

ポジションNO	1		2		3		4	
	角度	出力	角度	出力	角度	出力	角度	出力
A	94.0	66.3	123.3	100.0	140.0	77.8	161.8	40.2
B	105.4	95.9	123.4	100.0	139.2	81.4	165.2	37.3
C	102.9	83.5	124.1	100.0	138.7	75.1	157.3	36.3
D	105.0	67.8	125.0	100.0	145.2	72.1	157.9	27.7
E	106.9	71.2	131.6	100.0	140.4	62.4	158.7	21.5
F	104.7	67.4	127.5	100.0	146.0	78.9	162.3	42.3
平均	103.2	75.4	125.8	100.0	141.6	74.6	160.5	34.2
標準偏差	4.3	10.8	2.9	0.0	2.9	6.2	2.8	7.3

(単位は%)

表7 関節角度と規格化した筋出力 (レッグカール)

ポジションNO	5		6		7		8	
	角度	出力	角度	出力	角度	出力	角度	出力
A	193.9	98.1	218.6	100.0	243.8	96.6	247.7	78.7
B	185.3	94.0	234.5	100.0	233.1	94.5	234.7	87.5
C	195.0	97.5	221.3	100.0	241.1	98.6	236.9	88.4
D	190.3	93.0	223.2	96.3	240.7	97.0	247.9	100.0
E	189.0	100.0	215.6	96.9	232.0	88.0	236.5	86.7
F	202.6	86.6	226.6	100.0	243.2	93.0	249.4	81.4
平均	192.7	94.9	223.3	98.9	239.0	94.6	242.2	87.1
標準偏差	5.5	4.4	6.1	1.6	4.7	3.5	6.2	6.7

(単位は%)

表6, 表7の数値を最小二乗法で関数近似した結果, レッグエクステンションおよびレッグカールにおける静的最大筋力の筋出力のモデル式は以下のようになる。

レッグエクステンションについて

$$Y_E = -0.039 X_E^2 + 9.58 X_E - 492.43, \quad \epsilon_{RMS} = 10.74 \quad 1)$$

$$\text{極大値: } X_E = 122.26, \quad Y_E = 93.12$$

レッグカールについて

$$Y_C = -0.0051 X_C^2 + 2.14 X_C - 126.73, \quad \epsilon_{RMS} = 5.63 \quad 2)$$

$$\text{極大値: } X_C = 208.85, \quad Y_C = 97.23$$

スクワットの場合もそうであったが, 発揮筋力の極値に注目して適当な測定方法を論議することの有効性は, (1)極値は方程式の変曲点であること。(2)二次曲線の性質上, 数式の解がただ一つ存在する点は極値のみであること。がその理由である。本論文の意義は, 実測値の質的な変化を直接に導きだしたところにある。その結果は「レッグエクステンションは膝の関節角度 122° (理論値), レッグカールは膝の関節角度 208° (理論値) をおのおのの測定するポジションとする。」ことが適当となろう。

この膝の関節の角度に最も近い測定ポジションは表6, 表7の各測定ポジションにおける被験者の膝の関節角度の平均値から考察すると「レッグエクステンションはポジション No.2 (膝の関節の平均角度 = 125.8° , s.d. = ± 2.9) であり, レッグカールはポジション No.6 (膝の関節の平均角度 = 223.3° , s.d. = ± 6.1) となる。

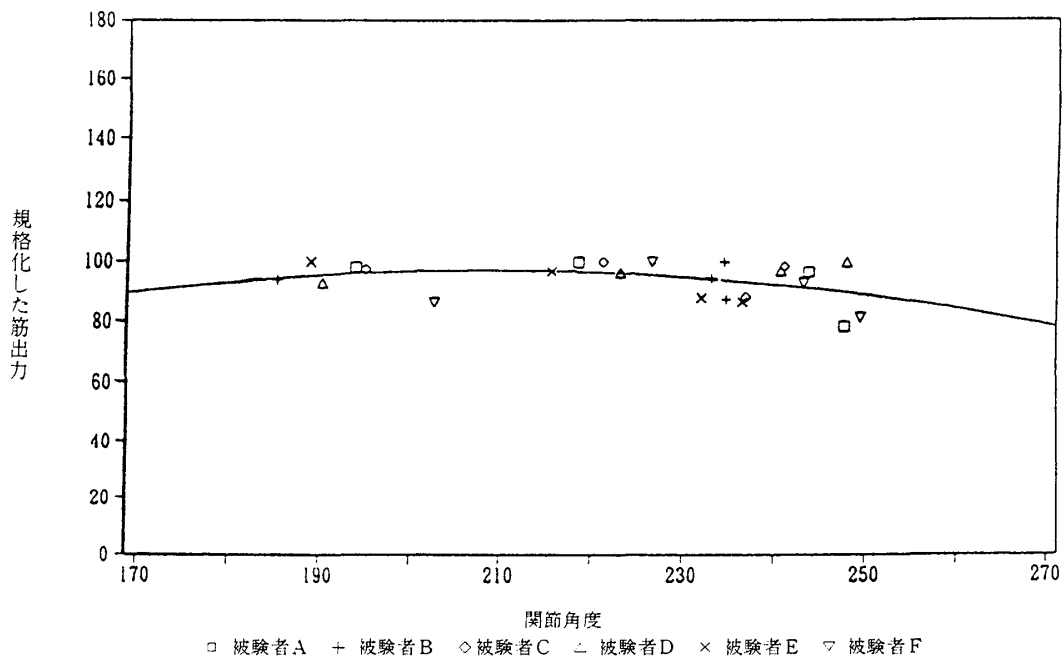


図6 関節角度と規格化した筋出力の関係 (レッグエクステンションの場合)

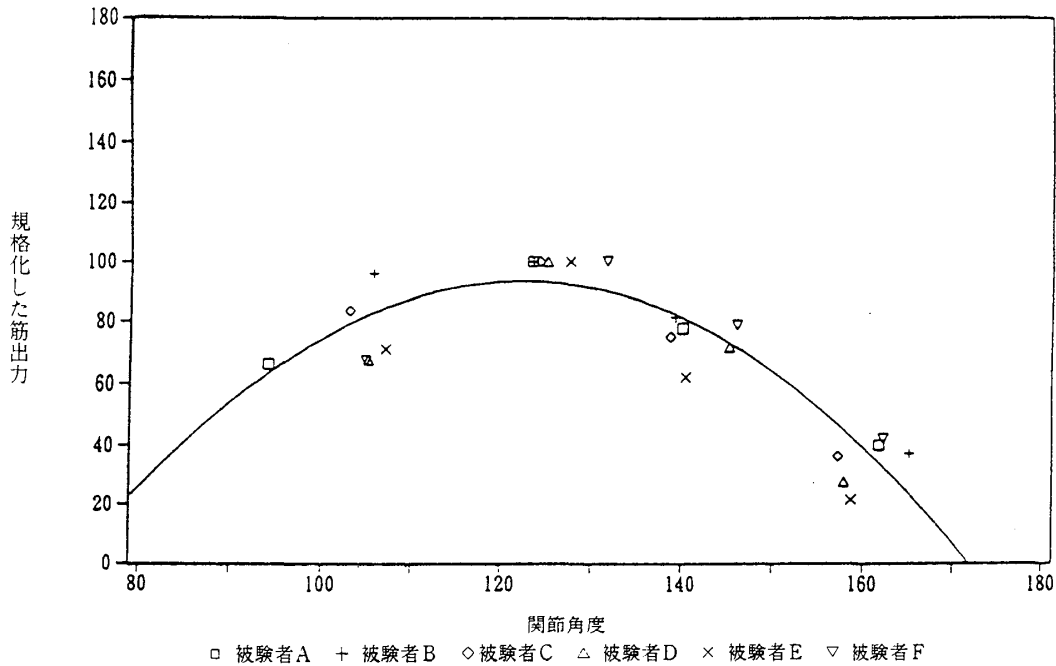


図7 関節角度と規格化した筋出力の関係（レッグカールの場合）

まとめ

本論文では、レッグエクステンションとレッグカールをとりあげ、様々な膝の関節角度における静的最大筋力を測定し、その関節角度と発揮筋力の関係を調べた。

解析の方法としては数式モデルを二次関数 ($Y_m = a + bX_m + cX_m^2$, m がEの場合はレッグエクステンションであり、 m がCの場合はレッグカールのモデル式となる。)として、最小二乗法を用いて関数近似する方法を用いた。適当な測定ポジションは、数式がもつ極大値の X_E , X_C の解を求めることにより結論づけた。その結果、以下の結論を得た。

1. トレマックスシステムおよびVMAにより測定・解析した膝の関節角度とレッグエクステンションおよびレッグカールの静的最大筋力の筋出力の関係は、ある極大値をもつ二次関数曲線的な形状であった。
2. レッグエクステンションおよびレッグカールにおける画像解析上の膝の関節角度と規格化した筋出力の関係を最小二乗法を用いて $Y = a + bX + cX^2$ の数式モデルで近似した理論値を一般的に理解しやすい膝関節角度で記述すと、レッグエクステンションは膝関節を完全に伸展した状態より、下方へ関節角度約60°屈曲で、レッグカールは膝関節を完全に伸展した状態より、上方へ関節角度約30°屈曲で筋出力の極大値が出現することが解明した。これは、各測定ポジションによる各被験者の膝の関節角度の平均値から考察して、測

定ポジション No.2 および No.6 にほぼ相当する。

3. 今後トレマックスシステムでレッグエクステンションおよびレッグカールの測定・評価をする場合、測定ポジションは、それぞれポジション No.2 および No.6 で設定することが望ましいであろう。

Appendix

1. 行列式による連立方程式の解法

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \vdots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n = b_n \end{cases}$$

$$|A| = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} \quad |A_j| = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & b_1 & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & b_2 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & b_n & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}$$

↑
j

$|A|$ と $|A_j|$ は正方形にならなければ駄目である。

$$x_j = |A_j| / |A|, \quad |A| \neq 0$$

2. 3行3列の行列式の値の求め方 (サラスの方法)

$$B = \begin{vmatrix} \alpha & \beta & \gamma \\ \delta & \varepsilon & \xi \\ \eta & \theta & \iota \end{vmatrix}$$

$|B|$ の行列式の値は、以下の式を計算して求める。

$$|B| = \alpha \times \varepsilon \times \iota + \eta \times \beta \times \xi + \gamma \times \delta \times \theta \\ - (\gamma \times \varepsilon \times \eta + \iota \times \beta \times \delta + \alpha \times \xi \times \theta)$$

トレマックスシステムを用いた静的最大筋力の出力特性

注

- 〈1〉 トレマックスシステムについては、安藤勝英他(1993) 慶應義塾大学体育研究所紀要 Vol.33.No 1. pp.2-3 を参照。
- 〈2〉 本論文の Appendix を参照。
- 〈3〉 VMA については、安藤勝英他(1994)慶應義塾大学体育研究所紀要 Vol.34.No 1.: p 85 を参照。

引用文献

- 1) 安藤勝英他(1994)慶應義塾大学体育研究所紀要, Vol.34. No 1.: pp 83-89 を参照。
- 2) 薩摩順吉著(1990)「確率・統計」岩波書店. :pp 161-171 を参照。

参考文献

1. 安藤勝英他(1994)「トレマックスシステムを用いた静的最大筋力の出力特性—スクワットの場合—」慶應義塾大学体育研究所紀要 Vol.34. No 1.:pp 83-89.
2. 安藤勝英他(1993)「トレマックスシステムを用いて測定した静的最大筋力のバランスを評価する方法としての統計的分散について」慶應義塾大学体育研究所紀要 Vol.33. No 1.: pp 83-89.
3. D.バージェス/M.ボリー著(1990)「微分方程式で数学モデルを作ろう」日本評論社.
4. 北田韶彦(1985)「実用解析入門」千代田出版.
5. 近藤次郎(1974)「数学モデル入門」日科技連.
6. 薩摩順吉著(1990)「確率・統計」岩波書店.
7. Th.ヘティンガー(1970)「アイソメトリックトレーニング」大修館.