

斜懸垂の力学モデル

磨井 祥夫, *桜井 佳世

広島大学総合科学部保健体育講座

*中京大学大学院

(1988.10.31 受理)

Static Model of Modified Pull-up

Sachio USUI and Kayo SAKURAI

Abstract

Modified pull-up test is currently performed as a test of muscular endurance in females. But the measurements of this test, which reported by some universities, often have a large scatter in results. One of the reasons may be the difference of a posture in the modified pull-up. Then we built a static model and estimated the suspended force applied on both palms.

The suspended force (T) is derived by the following expression.

$$T = \frac{x}{b} \cdot \frac{\cos(\beta - \alpha)}{\sin \beta} \cdot W$$

where, W : body weight, x/b : relative position of CG, α : angle between upper limbs and the horizontal ground, β : angle between upper limbs and trunk.

It is found that the force (T) is the function of (x/b), W, α , and β .

There are variations in the value (x/b) and W between different subjects. In this study the mean value of x/b is 58.6 % (SD=1.5 %) for 34 female university students.

The angle α and β are, on the other hand, varied by the posture. When an accurate posture is made according to the manual, the angle β is fixed 90° and α is calculated to be $55.6 \pm 1.5^\circ$ in our subjects. Using the previous expression, the force (T) is made 33.0 ± 4.8 kgw, corresponding to 58.6 ± 1.5 % of individual body weight.

In practical testing, the angle β may be carefully followed to be 90°, however, the angle α has not been paid attention. With increasing the angle α , the greater force becomes applied to arms, and the performance of repetition would be found to be reduced consequently.

In muscular endurance test, a constant work load, which is expressed by the ratio of body weight or maximal strength, should be applied to all subjects. Therefore, we concluded that the angle α should be described in the manual.

はじめに

斜め懸垂腕屈伸¹⁾ (以下、斜懸垂という) は、青少年の運動能力テストの一種目であり、女子を対象として筋持久力を調べることがねらいとされている。ところが、その測定値は信頼性の点で問題があるとしばしば指摘される。特に斜懸垂姿勢によって測定値の変動が大きいようである。

そこで大学体育連合の資料²⁾ から、大学生1年50名以上のデータが報告されている12大学の測定値を調べた (図1)。また比較のため同じ大学から背筋力と握力の測定データも示した。被検者の総人数は、斜懸垂で2551名、背筋力で2581名、握力で2655名であった。

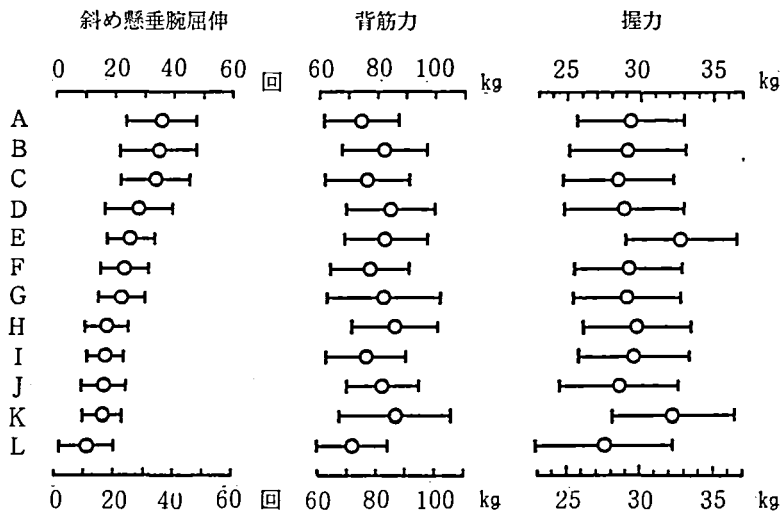


図1 斜懸垂、背筋力、握力の各大学平均値
 全国大学体育連合の資料から、大学1年生50名以上のデータが得られている12の大学の平均値と標準偏差。

斜懸垂の各大学の平均値を比べると、最も低い大学では11回で、最高は36回であり、両者には3倍以上のひらきが見られた。標準偏差が8~9回であることから、測定値の大学間の変動はかなり大きい。それに対して背筋力、握力の各大学の平均値の範囲は、背筋力で72~87 kgw、握力で28~33 kgwであった。標準偏差は、背筋力で15 kgw、握力で4 kgw程度であるので、各大学の平均値のバラツキはほぼ標準偏差程度に収まっている。

このように斜懸垂の大学間のバラツキが大きくなることには、いくつかの原因が考えられる。例えば、腕を伸展した時の姿勢、被検者の最大努力の程度、腕の引きつけ動作中の体幹の反動、腰関節角度の変化などである。本研究では、斜懸垂の測定値に差がでる原因の1つとして、腕を伸展した時の姿勢に注目し、その静力学モデルを作成し、腕にかかる力の大きさの推定を試みた。

モデルの作成

斜懸垂の姿勢について、図2に示すような静力学モデルを考えた。ヒトをその重心位置で質量を持つ質点で代表し、肩関節だけが自由に動けるモデルを作った。

ヒトに作用する力は、 T, W, N, F であり、 T は手にかかる張力、 W は体重、 N と F は地面からの抗力の垂直成分と水平成分とした。

長さ a は肩から手首まで、 b は肩からかかとまで、 c は乳頭からかかとまで、 x は重心位置からかかとまで、 h は鉄棒の高さとした。

角度 α は上肢と水平面のなす角、 β は上肢と体幹のなす角、 γ は体幹と水平面のなす角とした。

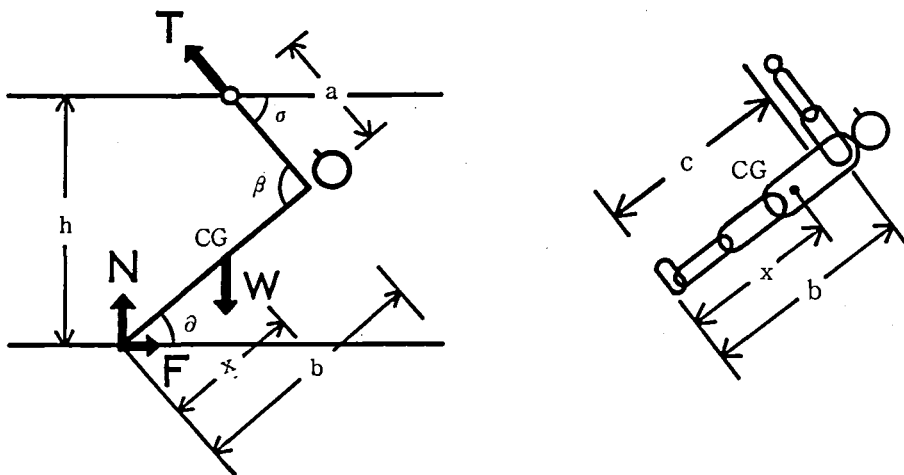


図2 斜懸垂姿勢のモデル

力 T : 手にかかる張力、 W : 体重、 N : 抗力の垂直成分、 F : 抗力の水平成分

長さ a : 肩から手首まで、 b : 肩からかかとまで、 c : 乳頭からかかとまで、

x : 重心位置からかかとまで、 h : 鉄棒の高さ

角度 α : 上肢と水平面のなす角、 β : 上肢と体幹のなす角、 γ : 体幹と水平面のなす角

ヒトが静止していれば4つの力がつりあっており、足のかかと回りのモーメントは0となるので、

$$b T \sin \beta = x W \cos \gamma \quad \dots\dots\dots (1)$$

が得られ、張力 T は

$$T = \frac{x}{b} \cdot \frac{\cos(\beta - \alpha)}{\sin \beta} \cdot W \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。すなわち T は、 x, b, α, β, W の関数となる。このうち、 x, b, W は個人固有の形態値であり、 α, β は姿勢によって変わる値である。

従って、斜懸垂の負荷強度となる張力 T は、重心の相対的な位置 (x/b) と姿勢による角度 (α, β) が定まれば、体重に対する割合で示することができる。

また、 a, b, h と角度 α, β, γ の間には、

$$h = a \sin \alpha + b \sin \gamma \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\beta = \alpha + \gamma \quad \dots\dots\dots (4)$$

が成り立つ。

実施要項では、「鉄棒の高さ h は乳頭の高さ c とする」、「角度 β は 90° とする」と決まっているので、個人の形態値 a, b, c が決まれば、式(3), (4)と $h=c, \beta=90^\circ$ から角度 α が決定される。さらに形態値 x, W を用いて式(2)より張力 T が求められる。

モデルの検討

実験 1

〈目的〉

斜懸垂姿勢の力学モデルの妥当性を検討した。ヒトが斜懸垂姿勢をとった時に作用する張力 T の実測値と、モデルから計算される張力 T の理論値を比較した。

〈方法〉

モデルの諸変量を得るために、被検者の形態計測を行った。測定は斜懸垂の実施を想定して運動着、靴を装着した状態で実施したので、身長などには靴の厚さ、体重には衣服、靴の重さも含まれている。測定項目は、 Ht :身長、 W :体重、 a :肩から手首までの長さ、 b :肩の高さ、 c :乳頭の高さ、 x :重心の高さであった。

被検者は図3のように斜懸垂の姿勢をとった。ワイヤーの一端は高鉄棒に固定され、もう一端を被検者の握るグリップとした。張力の実測値はワイヤーに取り付けた張力計で測定した。張力計はあらかじめ較正を行った。張力の推定値は、側方からの写真撮影で求めた角度 α, β と形態計測で得られた x, b, W を用いて、式(2)から算出した。

被検者は2名とし、さまざまな角度 α, β が得られるように姿勢を変えて繰返し測定を行った。

〈結果〉

被検者の形態測定値を表1に示した。形態値 b, x, W と、姿勢による角度 α, β を式(2)に代入し張力の推定値を求め、実測値とともに図4に示した。2名の被検者とも実測値がわずかに小さい傾向があったが、ほぼ直線上にプロットされているので、モデルは妥当であると考えられた。

実験 2

〈目的〉

大学1年生女子について、斜懸垂姿勢で張力の大きさをモデルによって調べた。張力は絶対値、および体重あるいは最大筋力の割合とする相対値で示すことにした。

〈方法〉

被検者は大学1年生女子34名、年齢は19, 20歳とした。形態値として、身長 (Ht)、体重 (W)、上肢の長さ (a)、肩の高さ (b)、乳頭の高さ (c)、上肢を前挙げた姿勢での足底からの重心位置 (x) を測定した。測定は斜懸垂を行う時の衣服、靴を装着した状態で行った。

さらに、斜懸垂姿勢での最大腕屈曲力を測定した。すなわち、上肢を前挙げ肘関節伸展位での両腕最大屈曲力を調べた。

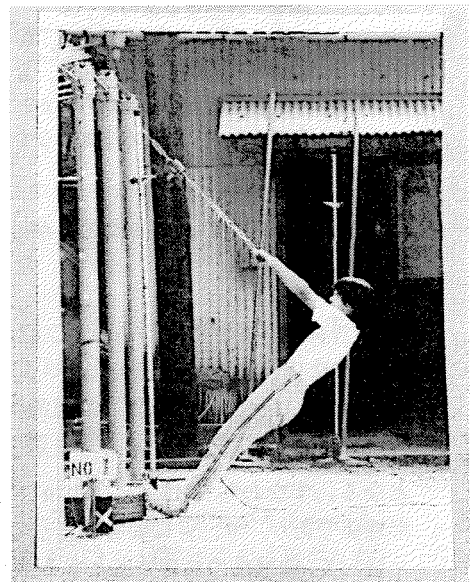


表1 実験1の被検者の形態測定値

subj	Ht(cm)	W(kgw)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	x (cm)
K (female)	158.3	52.5	53.3	125.1	115.1	86.0
U (male)	169.5	64.4	68.7	141.2	123.4	95.1

斜懸垂を行う時と同じ運動着、靴を装着した状態で測定したので、身長などは靴底から測り、体重、重心には衣服、靴の重さも含まれている。重心位置は上肢を前挙した姿勢で測定した。

Ht:身長 W:体重 a:肩から手首までの長さ b:肩の高さ c:乳頭の高さ x:重心の高さ

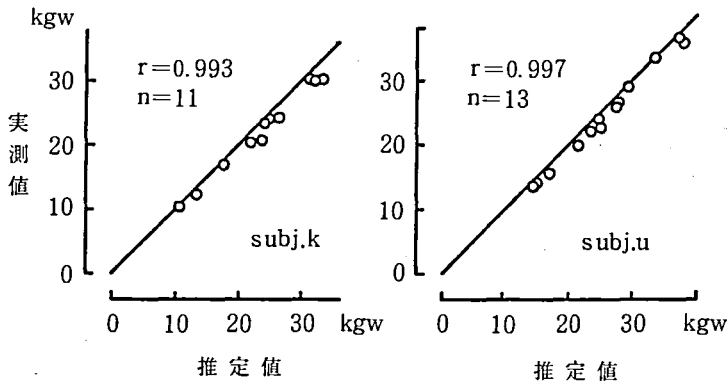


図4 実験1による張力の実測値と推定値

回帰直線は、被検者Kで $y = 0.24 + 0.92x \pm 0.85$, Uで $y = -1.66 + 1.02x \pm 0.61$ となった。

図中の直線は、 $y = x$ を示す。

〈結果〉

被検者の測定値を表2の左欄に示した。右の欄はそれぞれの形態値から計算されるモデルの諸変量である。

実施要項どおりの鉄棒の高さ ($h = c$) と角度 β ($\beta = 90^\circ$) を仮定すると、式(3), (4)から個人ごとに α を算出でき、平均すると $55.6 \pm 1.5^\circ$ となった。また個人ごとの α を決めた後に、式(2)より負荷となる張力 T を算出すると体重 W の $58.6 \pm 1.5\%$ であることがわかった。そして張力の絶対値は 33.0 ± 4.8 kgw となり、これは最大筋力の $43.6 \pm 10.1\%$ であった。

考 察

斜懸垂の実施要項では、

- ① 鉄棒の高さは乳頭の高さにする。
- ② 腕と胴の角度を 90° にする。

と決められている。しかし実際の測定場面を考えてみると、①に関しては鉄棒の高さは固定されているので、適当な高さの台の上に足をのせて行うことが多く、10cm程度の誤差は見逃されているようである。②に関してはかなり注意されているようだが、一般に角度の調整は長さの調整より難しく、さらに腰関節を曲げた姿勢では正しい角度の設定が行われにくい。

例えば、図5の下図に示す姿勢をとったとすると、図中の左が最も楽で右がきつい姿勢になる。

表2 実験2の被検者の形態とモデルの諸変量

Ht : 157.5 ± 5.0 cm	x/b : 71.7 ± 1.3 %
W : 56.2 ± 7.7 kgw	α : 55.6 ± 1.5 °
a : 53.5 ± 2.5 cm	T : 33.0 ± 4.8 kgw
b : 123.9 ± 5.1 cm	T/W : 58.6 ± 1.5 %
c : 114.1 ± 4.5 cm	T/MVC : 43.6 ± 10.1 %
x : 88.0 ± 3.8 cm	
MVC : 78.4 ± 16.1 kgw	(n = 34)

Ht:身長 W:体重 a:肩から手首までの長さ b:肩の高さ c:乳頭の高さ x:重心の高さ

MVC:最大腕屈曲力 α:上肢と水平面のなす角 T:手にかかる張力

左の欄は実際の測定値, 右の欄は測定値から計算で求められた値。

斜懸垂を行う時と同じ運動着, 靴を装着した状態で測定したので, 身長などには靴の厚さ, 体重には衣服, 靴の重さも含まれている。重心位置は上肢を前挙した姿勢で測定した。

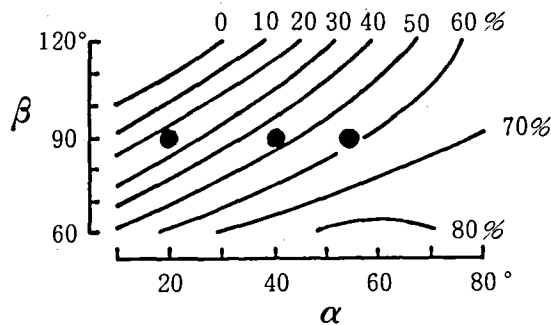


図5 α, βによる f(α, β) の変化

x/b=0.71の時の f(α, β) を示した。図中の3つの黒丸印は, 下図の3つの姿勢の α, β をプロットしたものである。左から同じ順に対応する。

この姿勢の違いは, 上肢と水平面のなす角度αで表わされる。αの大きさが変われば, モデルの式(2)より腕にかかる力も変化する。

姿勢の違いを角度α, βで示すと, 負荷となる張力を求めることができる。そこで, 張力の体

重に対する割合を $f(\alpha, \beta)$ とすれば、

$$f(\alpha, \beta) = \frac{x}{b} \cdot \frac{\cos(\beta - \alpha)}{\sin \beta} \quad \dots\dots (5)$$

となり、これをパラメータ α, β で示すことにした。

x, b は、形態値で個人ごとに異なる値をとるが、その代表値として実験 2 の被検者 34 名の平均値を用いることにした。実験 2 の結果では、身長のパラツキと同様に b, x の値もパラツキが見られたが、個人ごとに x/b を計算するとパラツキはかなり小さくなった (範囲: .688~.734)。 b, x の変動係数はそれぞれ 4.1%, 4.3% であったが、 x/b は 1.8% と半分以下になった。そこで、大学生女子では、 x/b が一定の値 (0.71) であると仮定して、 $f(\alpha, \beta)$ を図示した (図 5)。

図 5 の下図に示した 3 つの姿勢は、 β はすべて 90° 、 α は左から $20, 40, 55^\circ$ に相当する。その時の $f(\alpha, \beta)$ をグラフに 3 つの点でプロットした。それぞれ左から 24%, 46%, 58% となり、腕にかかる力が大きく変わることがわかる。逆に α, β を一定にすれば、自分の体重の何% が負荷となるかは、全員同じになる。

筋持久力のテストは、ある負荷を疲労困憊まで、あるいはある制限時間内で繰返して作業できる回数で判定されることが多い。ところが、負荷の大きさが変われば、繰返すことのできる回数も変わる。そこで負荷をある一定の基準で選び、その基準をすべての被検者で同一のものとする必要がある。テストの負荷としては、①最大筋力の相対値、②体重の相対値が考えられるが、実験室内のテストでは①で設定することが多い。しかし、多人数の測定をするフィールドテストでは最大筋力を測定することは困難であるため、②による方法が妥当であろう。

斜懸垂の他に筋持久力を調べる体力テストとしては、腕立て伏せ、上体起し、懸垂などがよく行われている。これらのテストはすべて自分の体重を負荷としている。そこで、斜懸垂も体重に対する割合で負荷を設定するとよいと思われる。

本モデルから、実施要項に従った正しい姿勢であれば、個人ごとに $\alpha, f(\alpha, \beta)$ が定まることがわかった。しかし、ある時間内に多人数の測定を行わなければならない場合は、 $\beta = 90^\circ$ は比較的よく守られているが、 α, h は正確になりにくいようである。しかしもし理想的な測定が実施されれば、体重に対する負荷は平均 58.6% (標準偏差 1.5%) となる。

β に比べて α があまり注目されないのは、実施要項に明示されていないためと思われる。そこで α の値が規定された場合を考へてみる。 α の値として、実験 2 で得られた平均値 55° を採用すると、実験 2 の被検者では負荷が体重の $58.9 \pm 1.1\%$ となり、さらに負荷を安定させることができる。

結局、 β だけでなく α を明示的に規定すれば、全員がほぼ同じ負荷になるため、筋持久力のより妥当な測定値が得られると考えられる。

ま と め

斜懸垂の上肢を伸展させた姿勢について力学モデルを作成し、次のことを明らかにした。

「腕にかかる力の大きさ (T) は、①重心の相対的高さ (x/b)、②体重 (W)、③腕と胴のなす角度 (β)、④腕と水平面のなす角度 (α) の関数で表わされる。」

すなわち、

$$T = \frac{x}{b} \cdot \frac{\cos(\beta - \alpha)}{\sin \beta} \cdot W$$

が成り立つ。

これらの変数のうち、①、②は個人の固有の値であり、③、④は姿勢によって変わる値である。筋持久力のテストでは、全員の負荷を同じにする必要がある。同一負荷としては、体重が最も

簡便であると思われる。そこで、負荷 (T) として%体重を一定にするためには、①、③、④を決定しなければならない。①については大学生女子でバラツキは小さい。また、③は「腕と胴の角度を90°にする。」と決められているので、④を規定すれば、負荷をほぼ同一にすることができる。

文 献

- 1) 文部省体育局スポーツ課内社会体育研究会：“スポーツテスト (児童生徒編)”，第一法規出版，東京都，1978，pp.238—240.
- 2) 全国大学体育連合体力テスト検討委員会：“昭和55年度大学における体力測定の調査結果報告(4)”，1981，pp.75—140.