「構え」の身体運動学的研究

——外力(前方への牽引力)に対応する立位姿勢の安定について——

小 林 寛 道*

(昭和49年12月7日 受付)

A Biomechanical Study of Human Standing Posture (A stability of standing posture against the external force)

Kando KOBAYASHI

(University of Nagoya)

この研究は、立位姿勢を保った人体が、これを引き倒そうとする外力に抵抗して、いかに立位姿勢を保持するかを、9つの異なった抵抗姿勢について検討したものである。具体的には、牽引ロープにかかった最大張力、すなわち最大抵抗力を測定し、これを外力に対する立位姿勢の安定度の指標とし、次の結果を得た。

- ① 各抵抗姿勢とも、牽引速度の増大にともない、最大抵抗力は大きくなる。
- ② 直立での抵抗姿勢の場合に限り、剛体牽引の場合と同様に、最大抵抗力 ($Y: \text{kg}$) と牽引速度 ($V: \text{cm/sec}$) との間に2次式の関係が得られた。 $Y = a_0 + a_1V + a_2V^2$ (a_0, a_1, a_2 : 定数)。
- ③ 各牽引速度において、足趾位置条件の変化より、膝や腰の関節屈曲条件の方が最大抵抗力の増大に寄与する割合が大きい。
- ④ 「構え」の効果は、牽引速度が増大するほど減少する。
- ⑤ 立位姿勢の安定には、剛体の安定条件に加えて、筋力発揮要素が大きく影響する。

The purpose of this study was to measure the degree of stability of various standing postures when external force was applied to the body. The subjects (16 healthy adults) were asked to resist against an external force with a maximum effort in nine different defensive postures. These postures were divided into two groups: one in which the hip or knee joints or both were flexed and the other with the feet spread apart in different positions. A rope was wound to the chest of the standing subject. The other end of the rope was attached to a winch which was rotated electrically at the desired speed. The rope was pulled at speeds of 10.6, 32.3, 53.7, 76.8 and 105.4 cm/sec, respectively. The rope was pulled continuously at a uniform rate until the subject could not maintain his initial position. The tensile force of the rope was measured with a semiconductive strainmeter.

The maximum tensile force of the rope represents the maximum resistant force exerted by the subject against the external force. Quadratic equations between the maximum resistant force and the pulling speed were determined by the least squares method in the rigid body. $Y = a_0 + a_1V + a_2V^2$ (Y : the maximum resistant force; kg., V : the pulling speed; cm/sec) ($0 < V < 105.4$). The same relationship was found in an erect posture with a closed

* 名古屋大学

stride position for each subject. Although a relationship was found in the other postures in which the higher the pulling speed, the greater the resistant force, the quadratic equations could not be obtained. The most stable posture was a crouching one with one foot in front of the other and the least stable posture was an erect one with a closed stride position at all speed. For the most stable posture, (make the resistant force greatest) the position with the knee and hip joints flexed was more effective than that with the feet spread. As a conclusion, the muscular activity has a large influence on the stability in the human standing posture in addition to the mechanical principles.

(Kando KOBAYASHI : A Biomechanical Study of Human Standing Posture — A stability of standing posture against the external force. *Research Journal of Physical Education*, Vol. 20, No. 5, Feb., 1976, pp. 257~268).

緒 言

人間の立位姿勢については、これが系統発生的にも個体発生的にも人間特有の姿勢であることから、古くから多くの興味と関心がもたれ、数多くの研究がなされてきた⁸⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾¹⁰⁾¹²⁾。

すなわち、人間の立位姿勢は、広い支持面と低い重心からなる安定度の高い四足位に対し、狭小な支持面、高い重心高をもった極めて不安定な、常に全身的な筋の拮抗状態によって平衡を維持する姿勢である。

したがって、人間の立位姿勢についての興味の中心は、その姿勢維持機構にあるといってよく、今日までの姿勢に関する研究のほとんどがこの事に関するものであり、無抵抗状態での立位姿勢、特に神経、筋の協調的姿勢保持活動が最も主要な内容となっている。

しかしながら、我々の生活活動は常に外部環境との対応にあるといってよい。姿勢維持機構についても、外部刺激と無関係に考えることはできない。この点に注目した研究として、猪飼⁷⁾、森¹¹⁾らの外乱に対する姿勢調節機構についての研究があるが、それらは外乱の影響に対する立位姿勢保持のための、自動制御的観点からの追求が中心である。

しかし、人間の日常生活、ことに作業やスポーツ活動など随意的な合目的的活動の場における姿勢は、必ずしも立位姿勢保持といった範囲でのものではない。それらの姿勢は、改めて外界との対

応姿勢という観点から検討される要素をもつものといえる。

これらの要素に関する研究としては、わずかに浅見¹⁾²⁾の柔道における「崩し」についての研究がみられるにすぎない。

本研究は、人間の姿勢を外界との対応姿勢としてとらえ、この対応姿勢のもつ特色を、外界との関連において究明しようとして始められたものである。

外界との対応についての人間の動作は、今日まで一般に「構え」としてとらえられている。しかし、ここでいう「構え」とは、地球の重力の影響下にあって、極めて不安定な立位姿勢を保ちながら、かつ、予測される外的刺激に対応しようとする防衛動作としてのものと、ある目的に対する攻撃動作の準備段階動作としてのものと、更に、防衛、攻撃双方の目的を兼ね備えたものがある。

すなわち、一般に「構え」としてとらえられてきたものは、自発的な合目的動作遂行のための、人間の動作の基本となる姿勢であるといえることができる。

従って、人間の姿勢に関する研究を、外界との対応姿勢として究明するには、いわゆる上記の「構え」として理解されているもののうち、外力に対する立位姿勢の安定について考察することが、その第1歩といえよう。

本報告は、この点についての研究をまとめたものである。

目 的

この研究では、立位姿勢を保った人体に対し、胸部を前方に牽引しようとする力が加えられた時、この牽引に抵抗するためにとった抵抗姿勢（構え）の違いが、立位姿勢の安定にどのように影響するかを検討しようとした。

すなわち、抵抗姿勢を、①関節屈曲条件、と②足趾位置条件に分析し、それぞれの条件が、外力に対応する立位姿勢の安定に寄与する度合を数量的に把握することによって、人間の立位姿勢を保持しようとする動作の特性を究明しようとした。

方 法

被検者：健康な成人男子12名、女子4名を被検者とし、その選択にあたっては、体格が小さなものから大きなものまで含まれる事を考慮した。被検者の形態的特徴については Table 1 に示した。

牽引の方法：被検者の胸部に、両ワキ下の高さでロープをとりつけ、このロープを各種の牽引速度で前方向に、水平に牽引した。被検者は、この牽引に対して、定められた抵抗姿勢条件で、その場にふみとどまりながら立位姿勢を保つよう最大努力した。

牽引は、被検者がその場にふみとどまれなくなって、1歩足を踏み出すか、前方へ倒れるまで連続して行なった。なお、牽引に際して、足が滑るということがないよう被検者は裸足とし、床には摩擦抵抗の充分大きいマットをひいた (Fig. 1)。

牽引機：ロープの牽引には、電動モーター (Modux Gear Motor) を用いた。この電動モーターに、特別に作成したギアをとりつけることによって、牽引速度を変化させた。

Fig 1 Instrumentation of experiment.

この実験では、牽引速度 10.6, 32.3, 53.7, 76.8, 105.4 cm/sec の各々の場合について牽引を行なった。1回の牽引は等速牽引である。また、非常に低速度の場合を比較する目的で、手動式巻きあげ機によって、1 cm/sec 以下の速度で被検者を牽引した。この時の速度は、光電管セルによってチェックした。

同一速度の牽引は、同一抵抗姿勢に対して3回行なった。牽引ロープには、直径 6 mm の登山用ロープを用いた。

抵抗姿勢条件：被検者は、9種類の異なった姿勢条件で、前方に牽引されることに最大努力で抵抗し、立位姿勢を保持することがもとめられた。

9種類の抵抗姿勢は、3種類の関節屈曲条件 (A, B, C) と、3種類の足趾位置条件 (1, 2, 3) のそれぞれの組み合わせによるものである。なお、両腕はいずれの抵抗姿勢の場合においても体側にそわせるものとした (Fig. 2)。

関節屈曲条件は、

A：膝、腰を伸ばしたままの直立姿勢

B：膝を伸ばしたまま、腰を屈曲させ、上体全体を斜め前方へ倒した姿勢

C：膝、腰を屈曲させた前かがみの姿勢

足趾位置条件は、

1：両足を閉じた足趾位置

2：両足の踵を左右に 30cm 開いた足趾位置

3：両足の踵を左右に 30cm 開き、さらに右足を

Fig. 2 Nine different postures divided from the combinations of A, B, C and 1, 2, 3.

30cm 前方へ踏み出した足趾位置とした。

筋電図：各々の抵抗姿勢において、牽引に抵抗する筋の活動状態を把握するために、各被検者から、前脛骨筋、腓腹筋、大腿直筋、大腿二頭筋の筋電図を導出した。

剛体の牽引：剛体との比較をとおして、人体の抵抗姿勢のもつ特性を明らかにするため、鉄製の剛体 (Dummy) を作成し、これを人体の場合と同様な方法で牽引した。但し、床条件は、マットの代りに平らな鉄板を用い、牽引部位は、重心部とした。

Dummy は、体長 170cm、重量 63kg、支持基底面は二等辺三角形 (480cm²) で、3 点支持である。重心から、牽引方向に対する基底面縁までの水平距離は 8.3 cm、重心高は、日本人の平均値として松井⁹⁾ が示した頭端から 46% の位置にあたる 91.8 cm である。

力曲線と最大抵抗力：人体 (または剛体) を牽

引した時に、牽引ロープにかかった力を、ロープの中間に設置した半導体利用による張力計によってとらえ、その力曲線を記録紙に連続記録した。この力曲線から、最大値を読みとり、これを立位姿勢保持 (剛体の場合は立位位置保持) のための最大抵抗力とした。

結 果

(1) 最大抵抗力と牽引速度との関係

(i) 剛体牽引の場合

剛体 (Dummy) を重心部で牽引した時、Dummy を引き倒す際にロープにかかった最大張力、すなわち最大抵抗力は、牽引速度の増大にともなって増大する傾向がみられた。

最大抵抗力と牽引速度との間には、次式のような 2 次方程式の関係がみられた (Fig. 3)。

$$Y = a_0 + a_1 V + a_2 V^2$$

Y : 最大抵抗力 (kg)

V : 牽引速度 (cm/sec), 但し,

Fig. 3 The relationship between the maximum resistant force and pulling speed in Dummy and in human erect posture with a closed stride position.

Table 1 The characteristics of the subjects and the coefficients of quadratic equation

Subject	Age	Body Height (cm)	Body Weight (kg)	Coefficients of quadratic equation		
				a_0	a_1	a_2
Dummy Center of Gravity		170.0	63.0	6.0	0.1646	0.0048
Male						
Y. Y.	26	190.0	98.0	12.1	0.1422	0.0032
H. T.	26	183.0	88.0	14.3	0.2333	0.0003
R. Y.	21	176.0	91.5	14.0	0.0804	0.0020
K. I.	24	176.0	70.0	5.6	0.2414	0.0003
T. T.	21	175.0	66.0	8.9	0.0594	0.0011
T. A.	23	172.0	62.0	6.2	0.2690	0.0001
H. S.	23	169.5	56.5	6.4	0.1205	0.0026
J. K.	24	168.0	56.0	11.6	0.0885	0.0015
M. S.	26	167.0	61.0	4.4	0.2169	0.0011
K. O.	21	165.0	68.5	10.9	0.1771	0.0016
H. M.	24	162.5	53.5	5.9	0.1877	0.0005
M. M.	26	156.0	54.0	8.6	0.0247	0.0016
Female						
J. O.	24	170.0	73.0	4.2	0.2542	0.0006
S. G.	27	158.0	53.0	8.7	0.0686	0.0005
K. K.	20	158.0	46.2	8.9	0.1011	0.0004
K. M.	20	156.0	55.0	4.5	0.0605	0.0015

(0 < V ≤ 105.4 cm/sec)

 a_0, a_1, a_2 : 定数

定数 a_0, a_1, a_2 の値は、実験値から最小自乗法によってもとめた (Table. 1).

(ii) 人体牽引の場合

人体を牽引した場合、各々の抵抗姿勢で、牽引速度が増大するに従って、最大抵抗力が増大する傾向が、各被検者に共通してみられた。また、両足を閉じた直立抵抗姿勢 (A_1 姿勢) で牽引に抵抗した場合に限って、最大抵抗力和牽引速度との間に、Dummy の場合と同様な、2 次方程式の関係が得られた (Fig.3).

膝や腰の屈曲を用いた抵抗姿勢 (B, C 姿勢) の場合には、最大抵抗力が牽引速度の変化によって影響される割合が小さく、 A_1 姿勢の場合のような、2 次方程式の関係はみられなかった (Fig. 4).

そこで、 A_1 姿勢における 2 次方程式の定数、 a_0, a_1, a_2 を、各被検者について最小自乗法によって算出した (Table. 1).

a_0 の値が最も大きかったのは、被検者 H. T の

14.3 で、最も小さな値は、女性 J. O の 4.2 であった。男子被検者の平均値は 9.08、女子被検者の平均値は 6.57 であった。

a_1 の値は、0.0686 ~ 0.2690 の範囲。

a_2 の値は、0.0001 ~ 0.0032 の範囲内にあった。

Fig. 4 The relationship between the maximum resistant force and pulling speed in three different defensive postures.

Table 2 The mean value and standard deviation of the maximum resistant force in nine different postures of defence and in three different pulling speed.

Pulling Speed	10.6cm/sec			53.8cm/sec			105.4cm/sec		
Pattern of Posture	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Stride Position									
1	11.0(kg) ± 4.10	18.0(kg) ± 6.06	24.5(kg) ± 8.28	21.5(kg) ± 5.71	35.1(kg) ± 8.45	44.2(kg) ± 11.75	37.5(kg) ± 9.08	51.8(kg) ± 15.27	55.9(kg) ± 13.15
2	12.6 ± 4.45	20.9 ± 7.09	27.1 ± 8.36	25.8 ± 8.59	40.2 ± 7.57	46.6 ± 8.35	39.4 ± 7.48	54.1 ± 14.49	56.5 ± 13.53
3	14.2 ± 6.54	21.7 ± 6.50	29.4 ± 7.78	26.0 ± 7.93	38.9 ± 10.16	50.6 ± 14.89	42.2 ± 10.28	54.5 ± 14.15	58.5 ± 13.81

(N=12: Male)

Fig. 5 The maximum resistant force in nine different defensive postures and in three different pulling speeds.**(2) 最大抵抗力と抵抗姿勢との関係**

ここでは、低速牽引、中速牽引、高速牽引の3つの代表的な場合における、最大抵抗力と抵抗姿勢との関係についてのべる。

(i) 低速牽引 (10.6 cm/sec) の場合

男子被検者12名の最大抵抗力の平均値についてみると、両足を閉じた直立抵抗姿勢 (A_1 姿勢) では、最大抵抗力は、11.0kgであった (Table. 2), (Fig. 5). その足趾位置条件のままで、上体を前方へ屈曲させた抵抗姿勢 (B_1 姿勢) では、最大抵抗力は、18.0kg と増加を示し、膝、腰の屈曲を用いた抵抗姿勢 (C_1 姿勢) では、24.5 kg とさらに

増加を示した。

B_1 , C_1 姿勢の最大抵抗力は、 A_1 姿勢のそれぞれ 63.6%増, 122.7%増にあたる。

これは、身体関節を屈曲させることによる効果である。

次に、足趾位置を変えることが、最大抵抗力におよぼす影響についてみると、直立抵抗姿勢のままで、両足の踵を左右に 30cm 開いた足趾位置条件 (A_2 姿勢) では、最大抵抗力は、12.6kg となり、さらに右足を 30cm 前方へ踏み出した足趾位置条件 (A_3 姿勢) では、14.2kg となった。

A_2 , A_3 姿勢の最大抵抗力は、 A_1 姿勢のそれぞれ

れ14.5%増, 29.1%増にあたっている。

これは、左右の足趾位置を広げたことによる効果である。

足趾位置の変化に身体関節屈曲条件を組み合わせた抵抗姿勢についてみると、B₂姿勢では、最大抵抗力は20.9kg, B₃姿勢では21.7kgとなり、C₂姿勢では27.1kg, C₃姿勢では29.4kgとなった。

すなわち、両足を閉じた直立抵抗姿勢(A₁姿勢)の場合と比較して、腰の屈曲を用いることによって、最大抵抗力は52.8~65.7%増大し、膝腰の屈曲を用いることによって、107.0~122.7%の増大がみられている。また、足趾を左右に30cm開くことによって10.6~14.6%の増大、さらに右足を30cm前方へ出すことによって20.0~29.1%の増大がみられている。また、最大抵抗力が最も大きかったC₃姿勢では、最大抵抗力が最も小さかったA₁姿勢の167.3%増の値を示した。

(ii) 中速牽引(53.7cm/sec)の場合

最大抵抗力を、各抵抗姿勢について比較すると、いずれも低速牽引の場合より大きな値を示した。A₁姿勢での最大抵抗力は、21.5kgで、これは低速牽引の同姿勢の場合より、95.5%大きな値である。

中速牽引における、B₁姿勢の最大抵抗力は35.1kg, C₁姿勢では44.2kgで、A₁姿勢より、63.3%増、105.6%増の値を示した。

これは関節屈曲による効果である。

足趾位置を変化させたA₂姿勢では、25.8kg, A₃姿勢では26.0kgと、A₁姿勢のそれぞれ20.0%増、20.9%増の値を示した。

B₂, B₃姿勢における最大抵抗力は、40.2kg, 46.6kg, C₂, C₃姿勢では、38.9kg, 50.6kgであった。

すなわち、各々の足趾位置条件でのA姿勢と比較し、B姿勢では49.6~63.3%, C姿勢では80.6~105.6%の割合で、最大抵抗力の増大がみられた。

また、両足を閉じた足趾位置(A₁, B₁, C₁姿勢)と比較し、両足を30cm左右に開くことによって5.4~20.0%, さらに右足を前方へ出すことによって、10.8~20.9%の最大抵抗力の増大がみられた。

最大抵抗力が最も大きかったC₃姿勢では、A₁姿勢の135.3%増の値を示した。

(iii) 高速牽引(105.4cm/sec)の場合

A₁姿勢での最大抵抗力は、37.5kgで、これは同姿勢の中速牽引時の74.4%増、低速牽引時の240.9%増にあたる大きさである。

B₁姿勢では、51.8kg, C₁姿勢では59.9kgで、A₁姿勢に対してそれぞれ38.1%, 49.1%, 大きな最大抵抗力を示した。身体関節屈曲を用いた抵抗姿勢をとることによって得られる最大抵抗力の増大の割合は、低速牽引、中速牽引の場合より相対的に小さくなっている。

足趾位置を変化させたA₂姿勢では39.4kg, A₃姿勢では42.2kgであり、B₂, B₃姿勢では54.1kg, 54.5kg, C₂, C₃姿勢では、56.5kg, 58.5kgであった。

足趾位置を変化させることによる最大抵抗力増大への効果は、最大12.5%増にとどまり、中速牽引の場合よりさらに小さくなっている。

最大抵抗力の最も大きいC₃姿勢の値は、A₁姿勢の56.0%増である。

これらの結果をまとめると次のようになる。

- ① 各抵抗姿勢における最大抵抗力は、牽引速度の増大にともなって大きくなる。
- ② 各牽引速度に対して、最大抵抗力が最も大きいのはC₃姿勢であり、最も小さいのはA₁姿勢である。
- ③ 最大抵抗力の増大に寄与する割合は、足趾位置条件の変化より、関節の屈曲条件の方が大きい。
- ④ 足趾位置の変化、及び関節屈曲を用いた抵抗姿勢をとることの効果は、低速牽引時に最も大きく、牽引速度の増大にともなって減少する。

(3) 筋電図と抵抗姿勢

9種類の異なった抵抗姿勢における下肢筋群の筋放電は、直立抵抗姿勢(A姿勢)の場合と比較して、腰の屈曲(B姿勢)および膝腰の屈曲(C姿勢)を用いることによって大きくなった。また低速牽引から高速牽引になるに従って、単位時間あたりの筋放電は大きくなった(Fig. 6)。

Fig. 6 The records of EMG in different defensive postures.

論 義

(1) 最大抵抗力の内容

牽引ロープにかかった最大張力には、①質量をもつ物体の重心を、基底面外に移動させるために働いた力、②人体が牽引に抵抗して発揮した力、の2つの内容が含まれている。

剛体牽引の場合は、①のみの内容によるが、人体牽引の場合には、①②の内容が含まれている。

本来、質量をもった人体が、狭小な足跡によって立位姿勢を保持すること自体、筋力発揮の要素が含まれている⁸⁾ため、上記①②の内容を厳密に分析することは困難である。従って、本研究においては、人体牽引時にロープにかかった最大張力を、①②の内容を含んだかたちでの最大抵抗力としてとりあつかった。

また、最大張力の絶対値をとりあつかうことについては、ロープの多少の伸びなどにかかわる弾性の影響を考慮する必要がある。しかし、本研究では、同一ロープ、同一の実験条件によって牽引を行なったことから、弾性を含めたかたちの最大張力の値を、最大抵抗力としてとりあつかった。

(2) 最大抵抗力と牽引速度

各種の抵抗姿勢のうち、身体を剛直化した直立姿勢のままで抵抗した場合に限って、剛体牽引の場合と同様に、最大抵抗力(Y)と、牽引速度(V)との間に2次方程式の関係がみられ、膝、腰の屈曲を用いた抵抗姿勢のときには2次方程式の関係がみられなかった。

2次式の関係がみられた直立姿勢の場合、牽引速度の増大にともなう最大抵抗力の増大の割合には、個人差があらわれている。

牽引速度の変化にかかわる定数は、 a_1 及び a_2 で

ある。この研究における牽引速度の範囲内では、 a_1 及び a_2 の値のいずれが、最大抵抗力の増大の割合に大きく影響しているかを、個人差を無視して一括して論ずることはできないが、 a_1 の値が大きいものほど、牽引速度の増大に対して最大抵抗力が急速な割合で、直線的に増加する傾向を示し、 a_2 の値が大きいものほど、高速牽引になった場合、その直線性を上まわった急速な増大を示すことを示している。

a_0 の値は、非常に低い牽引速度の範囲では、最大抵抗力 (Y) に対して最も支配的である。このことから、 a_0 の値は、牽引速度 (V) が非常に小さい場合の直立姿勢の外力に対する安定度を示す一つの指標であると考えることができよう。

(3) 物体の安定と、人体の立位姿勢の安定との相違

剛体の安定の度合は、主として次の要素によって⁹⁾。

- ① 基底面が大きいほど安定
- ② 基底面からの重心高が低いほど安定
- ③ 体重量が大きいほど安定

①の要素については、人体の場合、足を左右に開いたり、前後に開いた足趾位置をとることによって、基底面を大きくすることができる。これは両足を閉じた足趾位置に対して、最大抵抗力を低速牽引時に29.1%、高速牽引時に12.5%増大させる効果をもつ。

しかしながら、最大抵抗力を大きくするためには、膝や腰を屈曲させた姿勢をとる方が基底面を大きくすることより、より効果的である。直立抵抗姿勢に比較して、腰を屈曲させたB姿勢では、低速牽引時に65.9%増、高速牽引時には38.1%増の最大抵抗力が得られ、膝腰を屈曲させたC姿勢では、それぞれ122.7%増、49.1%増の最大抵抗力が得られた。

人間が膝や腰を屈曲させた姿勢をとることによ

Fig. 7 The relationship between the maximum resistant force and body weight in different pulling speeds.

って、身体重心位置は直立姿勢の場合より、相対的に低い位置となる。つまり、この抵抗姿勢は、第②の要素である基底面からの重心高が低くなることにあてはまっている。第③の要素である体重量については、人体の場合も、「体重が大きいものが最大抵抗力が大きい」という傾向が、大まかながらみられている (Fig. 7)。

しかしながら、個々の例について検討してみると、この関係は必ずしも満足にあてはまってはいない。確かに、直立抵抗姿勢の場合には、体重が大きいものほど最大抵抗力が大きいという傾向が強いが、膝や腰の屈曲を用いた抵抗姿勢になると、個人差がより大きくなっており、体重の影響を上まわっている。この現象を説明するためには、立位姿勢を保持するための筋力発揮をとまなう技術的な要素を考慮しなければならない。膝や腰を屈曲させた抵抗姿勢をとることによって、下肢筋群の筋放電が盛んになることから、その働かせ方には当然個人差があると考えられる。

すなわち、人間の立位姿勢の安定については、第④の要素として、筋力の発揮要素をあげる必要があろう。

剛体を牽引した場合と、直立姿勢を保った人体を牽引した場合とに、同様な2次方程式の関係が得られているが、これは、直立姿勢を保った人体の筋力発揮が、身体を剛直させ、剛体化するようにしか働き得なかったためであると考えられる。

それ故、他の抵抗姿勢の場合と比較して、直立抵抗姿勢の場合には個人差が小さい。しかし、膝、腰を屈曲させた抵抗姿勢をとることによって、個人差は大きくなり、最大抵抗力にみられる個人差は、牽引速度が大きくなるほど顕著になっている。

これらのことから、第④の要素が、剛体の安定性を支配する物理的な原則に加えて、より大きな影響をもっているということができよう。

(4) 最大抵抗力の最大限界値について

牽引速度の増大にともなって最大抵抗力は増大するが、その値は無限ではない。最大抵抗力の最大限界値は、(体重 + α) の大きさであろうと推察される。剛体の重心部を牽引した場合には、最大限界値は約67kg、すなわち(体重量 + 4kg) の

値であった。

人体の牽引では、高速牽引になるほど、各種の抵抗姿勢をとることの効果は減少している。従って、本研究で実施した以上の高速度で人体を牽引した場合には、ほとんど「構え」のもつ効果はなくなって、質量をもった物体の運動としての性質が、より大きくなってくると考えられる。

要 約

① 9つの異なった抵抗姿勢を保った人体の胸部を各種速度で牽引し、最大抵抗力を測定した。

② 最大抵抗力は、牽引速度の増大にともない大きくなる。直立抵抗姿勢の場合、最大抵抗力 (Y: kg) と牽引速度 (V: cm/sec) とには、2次方程式の関係がみられた。

③ 最大抵抗力の増大に寄与する割合は、足趾位置条件より、関節屈曲条件の方が大きい。

④ 最大抵抗力が最も大きい抵抗姿勢は、C₃姿勢で、最も小さい抵抗姿勢はA₁姿勢である。C₃姿勢は、A₁姿勢に対して、低速牽引(10.6cm/sec)で167.3%、高速牽引で56.0%大きな最大抵抗力を示した。

⑤ 「構え」をとることの効果は、牽引速度の増大とともに減少する。

⑥ 人体の立位姿勢の安定には、剛体の安定条件に加えて、筋力発揮要素や、立位姿勢保持のための技術的な要素が大きく影響すると考えられる。

本研究の要旨については、Fourth International Seminar on Biomechanics (於 Penn. State Univ.) で発表した。なお、本研究は昭和47年度文部省科学研究補助金(奨励研究)の補助をうけた。

文 献

- 1) 浅見高明: (講道館柔道科学研究会), 柔道技術の研究, 崩しについて, 柔道, 39巻, 8, 47~51, 1968.
- 2) 浅見高明: (講道館柔道科学研究会), 柔道技術の研究, 崩しについて(その2), 柔道, 40巻, 4, 44~49, 1970.
- 3) Asmussen, E.: The weight-carrying function of the human spine, Acta Orthop. Scand., 29, 276~290, 1960.

- 4) Broer, M. R.: Efficiency of Human Movement, W. B. Saunders Company, Philadelphia, 1966.
- 5) Bunn, J.: Scientific Principles of Coaching, Prentice-Hall Inc., New York, 1955.
- 6) Hellebrandt, F. A.: Standing, a Geotropic Reflex, the Mechanism of the Asynchronous Rotation of Motor Units, Amer. J. Physiol. 121, 471~474, 1938.
- 7) 猪飼道夫：直立姿勢の研究, 日本生理学雑誌, 9 卷, 197~222, 1944.
- 8) Joseph, J.: Man's Posture Electromyographic Studies, Charles C. Thomas Publisher, Springfield, Illinois, 1960.
- 9) 松井秀治：身体運動学入門, 杏林書院, 1967.
- 10) Morehous, L.E. and Cooper, J. M.: Kinesiology, C. V. Mosby Company, St. Louis, 1950.
- 11) 森 茂美：直立の分析, 生体の運動機構とその制御. 真島英信, 猪飼道夫編, 杏林書院, 262~277, 1972.
- 12) 杉江 律：直立姿勢における足趾分圧の変動, 岐阜大学医学部紀要, 15, 56~66, 1967.