

〈資料〉 種々な条件が筋力発揮に与える影響について

(第1報：滑車台に座って測定したとき)

Effects of muscular strength by conditions of the measurement
(1st report: In case of the measurement by the sliding table)

鈴木 邦 雄	加 藤 義 和	松 田 充 生
Suzuki Kunio	Kato Yoshikazu	Matsuda Mitsuo
瀬 島 順一郎	秋 葉 光 俊	雨 森 良 幸
Sejima Junichiro	Akiba Mitsutoshi	Amemori Yoshiyuki

(Abstract)

This study examined the effects of muscular strength by the conditions of measurements. Twenty-five male subjects were measured strength of knee extension and upper arm flexion by 2 kinds of condition. One is a standard measurement normalized as the methods of physical fitness test and another is a condition sitted sliding table. The strength of knee extension lowered extremely (18~26% of maximal strength) by the sliding table.

However, upper arm strength did not lowered it (60~70% of max) compared with knee extension. Results showed that it is necessary to fix the body during the measurement of muscular strength.

(目的)

長期間の宇宙滞在が筋力の低下をもたらすことはすでに知られていることである。無重力状態では筋の収縮を必要とすることなく生活することができ、その結果として萎縮を引起すことになる。アポロ計画に続いて行われたスカイラブ計画では長期間の宇宙生活をするることにより人体にどのような影響があるかが詳細に研究され多くのことがあきらかにされた。しかしながら、筋力がどの程度の影響をあたえられるかについては示されなかった。筋力は体力測定をする際の基本的な測定項目としてあげられ、一般的に握力、背筋力などが用いられる。これらの測定は容易であり誤差を生じにくいことが長所とされている。ところが、これらは一部の筋群の力を測定しているだけであり、とくに下肢の力は測定されていない。下肢の測定項目としては脚伸展力について報告されたものはいくつかみられ、すでに「日本人体力標準値」にも基準値が載っている。しかし、脚伸展力は測定方法の違いによって差が生じてくる。また大腿と下腿の関節角度によっても力の発揮に差がみられることから、測定条件を厳密にしなければならない。

これまでの報告では測定に際してどのように身体を固定するかが重要な条件であった。

これらのこととは別に、身体をいかにして固定させない条件で測定するかという方法で追究することも興味あることとなる。すなわち、筋力トレーニングを考えるに際しては最大筋力を測定することが最も重要なことであるが、力が発揮できにくい条件を設定し、そこから追究することも考え方を逆転させた方法であると言えるからである。今回の研究ではこのような観点から測定を試みた。このために、被検者を滑車台の上に座らせることにより、身体を固定させない条件を設定した。この条件からは被検者が脚を前方に伸展させても身体は後方に滑ってしまうことから脚伸展力としての力の発揮はほとんど記録できない。この測定では上肢をつかって身体を固定することで脚伸展力を発揮することになる。このような条件ではどの程度の筋力が発揮されるかを、脚伸展力と腕屈曲力について追究した。

(方法)

被検者は健康な男子大学生25名(18~19歳)であった。測定は2名の被検者が一人ずつ交互に行った。握力、背筋力は通常の筋力計を用いて行った。

1. 脚伸展力、腕屈曲力の測定

脚伸展力、腕屈曲力の測定のために独自に考案した装置を作製した(図1)。これはイレクターパイプで組立てられており、体力測定の項目として通常脚伸展力、腕屈曲力を測定するためにはベルトで身体を固定することができるようになっている(図2、4)。またレールの上に滑車台を置き被検者をその上に座らせることにより力の発揮を困難にする条件で測定することもできるようになっている。(図3、5)。測定には多用途筋力計(三栄測器KK)を用いた。

2. 測定項目

脚伸展力、腕屈曲力の測定項目は次のようであった。

1. 身体を固定したとき

被検者を座らせ、ベルトで身体を締付けることで力を発揮したときに上体が動かないようにし、さらに上肢は装置を握る(肩関節角度90°、肘関節角度90°)ことにより身体を固定した。

2. 身体を固定しないとき

2-1の条件でベルトを外し、上肢を膝の上ののせた状態で測定した。

3. 滑車台に座ったとき

レールの上に滑車台を乗せ、その上に被検者を座らせて測定した。この条件では力を発揮しようとしても滑車台が動いてしまうので、脚伸展力を発揮するときには両方の上肢を、腕屈曲では片方の上肢を用いて測定装置を握ることで身体を固定するようにして測定する条件を設定した。このとき、上肢が測定装置を握る位置で発揮される力が変化することが予想されることから、次の3種類の位置で測定した。

1. 肩関節角度90°、肘関節角度 90°

2. 肩関節角度 0°、肘関節角度 90°

3. 肩関節角度 0°、肘関節角度120°(以下肩0、肘120のように記す)

測定はそれぞれ左右、交互に2回ずつ行い、大きい方の数値を記録した。

(結果) 脚伸展力

脚伸展力の結果を図3に示した。体力測定の指標としての脚伸展力は身体を固定した状態で測定することから、本研究においてもこの状態で測定された数値を基準とした。

25名の測定された結果の平均値を見ると、右 58.1 ± 11.4 kg、左 58.4 ± 9.8 kg ($X \pm SD$)となり、左右の脚伸展力はほとんど同じ数値がしめされた。

次に、身体を固定しない状態で脚を前方に伸展させる力を発揮したときには、とくに上体を動かさないようにするための努力を必要とする。また、上体の重量以上には力を発揮することは不可能である。測定された数値は右 31.8 ± 7.3 kg、左 35.2 ± 5.6 kgとなった。通常の測定値を

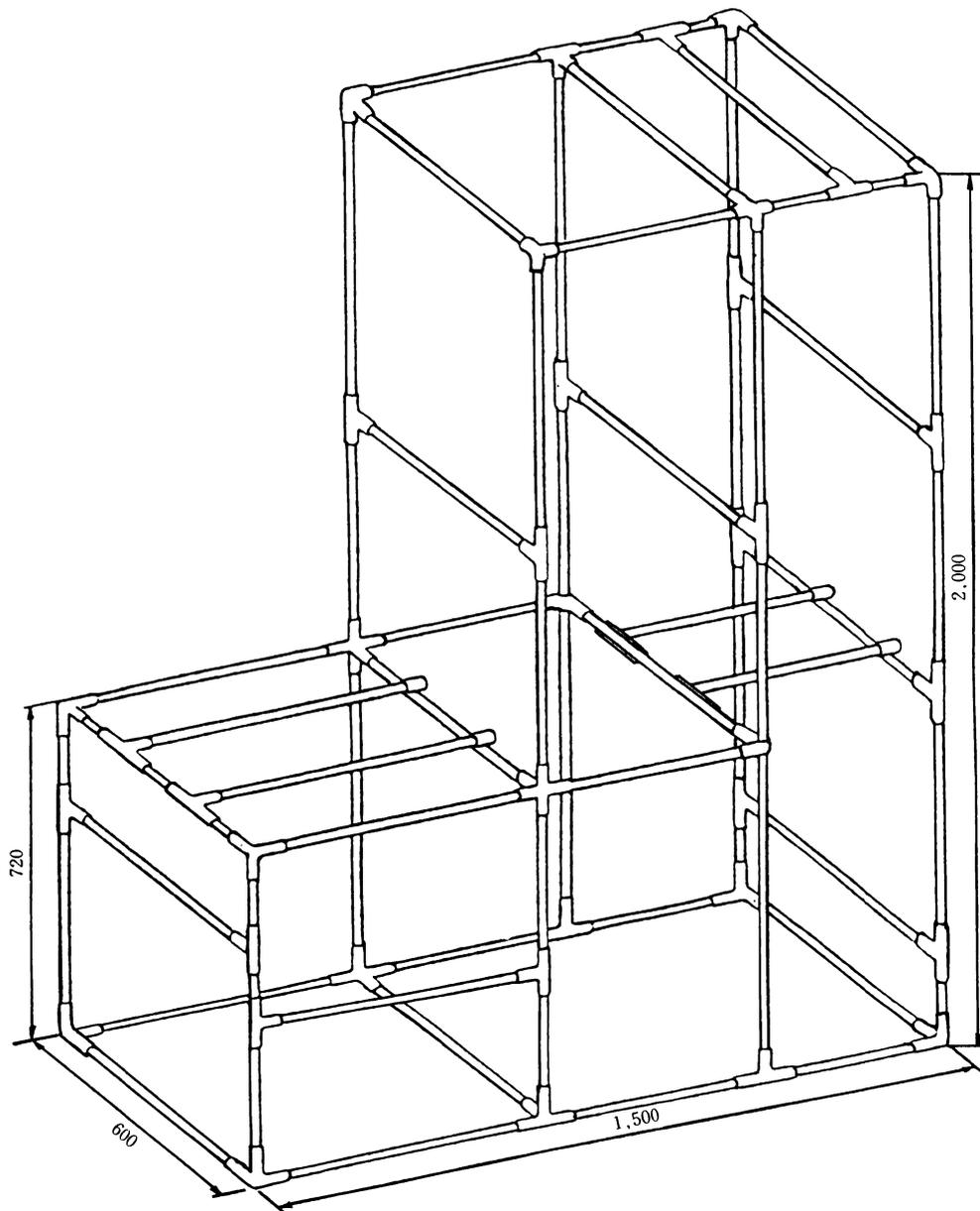


図1 イレクターパイプを用いて作製した筋力測定装置

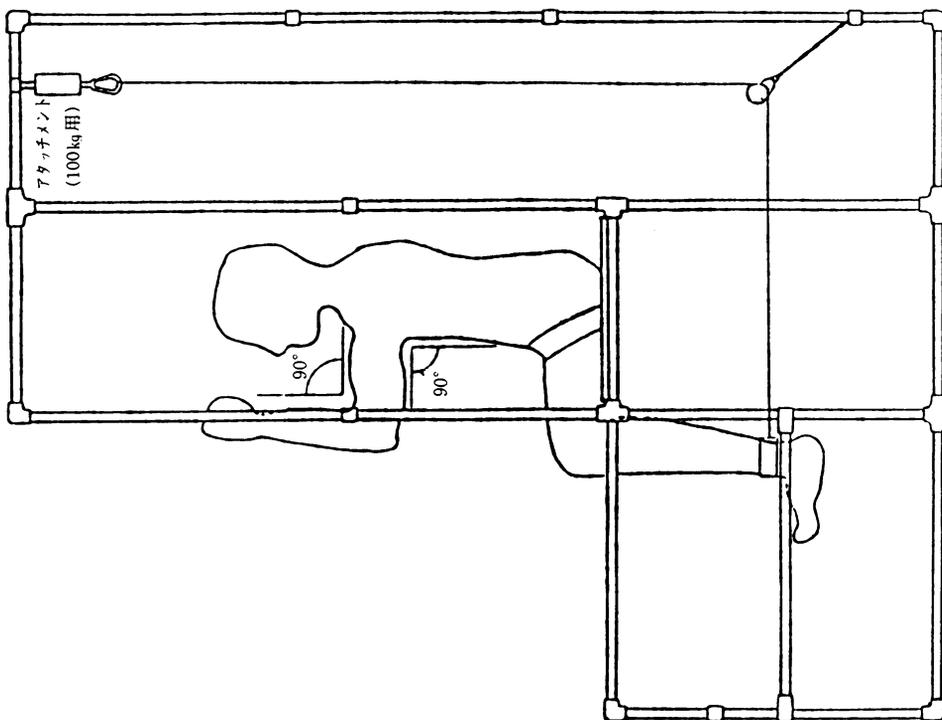


図2 身体を固定した状態における脚伸展力の測定

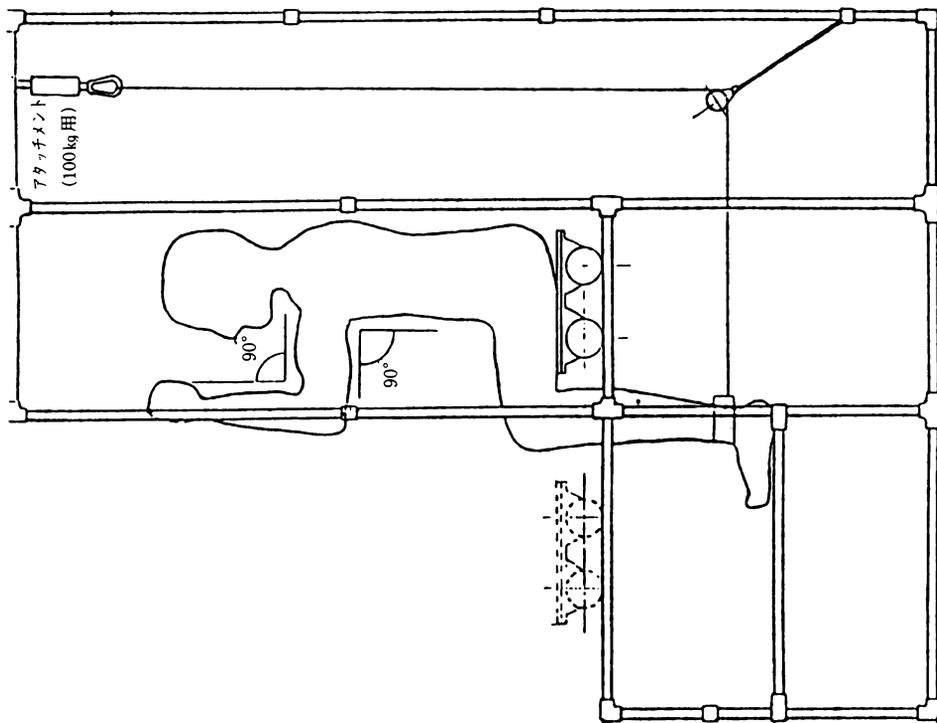


図3 滑車台に座った状態における脚伸展力の測定

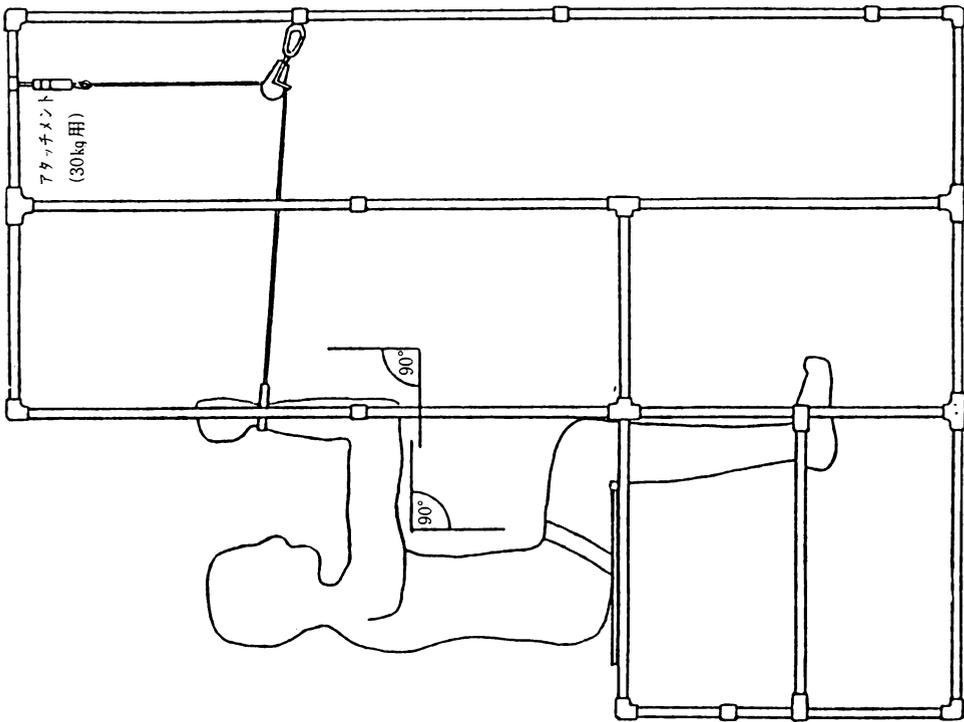


図4 身体を固定した状態における腕屈曲力の測定

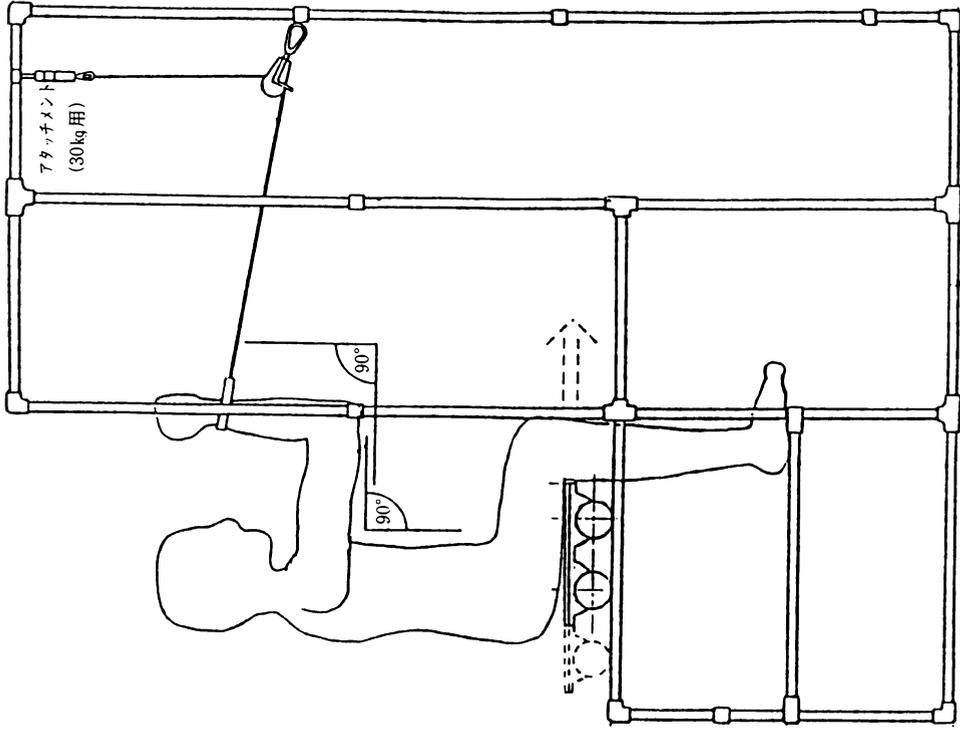


図5 滑車台に座った状態における腕屈曲力の測定

表1 被検者の身体的特徴と握力、背筋力

測定結果の平均値と標準偏差

身長	170.3 ± 5.4cm	体重	61.0 ± 6.2kg
握力 右	49.3 ± 6.7kg	左	48.1 ± 5.9kg
背筋力	127.7 ± 19.8kg		

表2 脚伸展力と腕屈曲力の結果

脚伸展力

固定アリ	右	58.1 ± 11.4kg	左	58.4 ± 9.8kg
固定ナシ	右	31.8 ± 7.3kg	左	35.2 ± 5.6kg
肩90°肘90°	右	11.0 ± 5.9kg	左	10.4 ± 5.7kg
肩 0°肘90°	右	12.6 ± 4.7kg	左	12.4 ± 3.6kg
肩 0°肘120°	右	15.0 ± 5.0kg	左	15.3 ± 5.2kg

腕屈曲力

固定アリ	右	36.6 ± 8.4kg	左	33.5 ± 8.8kg
固定ナシ	右	11.9 ± 3.3kg	左	12.1 ± 2.8kg
肩90°肘 90°	右	21.5 ± 5.3kg	左	20.7 ± 5.1kg
肩 0°肘 90°	右	21.4 ± 6.6kg	左	21.3 ± 5.7kg
肩 0°肘120°	右	24.4 ± 9.7kg	左	24.0 ± 9.5kg

表3 脚伸展力と腕屈曲力の比率表示による結果

固定した時の値を100%としてそれぞれを比率で表す

脚伸展力

固定アリ	右	100 ± 0.0%	左	100 ± 0.0%
固定ナシ	右	53.8 ± 10.1%	左	61.1 ± 8.8%
肩90°肘 90°	右	18.8 ± 9.9%	左	17.9 ± 9.3%
肩 0°肘 90°	右	21.8 ± 8.5%	左	21.8 ± 6.8%
肩 0°肘120°	右	25.0 ± 8.1%	左	26.5 ± 8.8%

腕屈曲力

固定アリ	右	100 ± 0.0%	左	100 ± 0.0%
固定ナシ	右	32.5 ± 10.3%	左	36.4 ± 9.7%
肩90°肘 90°	右	60.4 ± 16.5%	左	64.2 ± 18.8%
肩 0°肘 90°	右	60.0 ± 25.1%	左	65.3 ± 21.2%
肩 0°肘120°	右	65.6 ± 19.5%	左	70.7 ± 22.8%

100%としたときに、身体を固定しないで測定したときには右53.8%、左61.6%と二つの条件において大きな差が示された。さらに、滑車台に座った状態で力を発揮するときには、脚を前方に伸展すれば身体は後方に動いてしまい、力は最初に滑車が転がるために必要とする以上に発揮できない。このために、上肢で測定装置を握り発揮された力に対抗しなければならない。結果として、上肢の位置が肩90、肘90では右11.0 ± 5.9kg、左10.4 ± 5.7kg、肩0、肘90では右12.6 ± 4.7kg、左12.4 ± 3.6kg、肩0、肘120では右15.6 ± 5.0kg、左15.3 ± 5.2kgとなった。これらを通常の測定で示された数値と比較してみると、肩90、肘90で右18.8%、左17.9%、肩0、肘90で右21.8%、左21.8%、肩0、肘120で右25.0%、左26.5%となり、上肢がバーを握る位置により力の発揮にわずかな違いが示されたが、このような状態で発揮しうる脚伸展力は本来持っているものよりも非常に低い数値が観察された。

腕屈曲力

腕屈曲力は脚伸展力と同様な項目で測定した。滑車台に座ったときには測定しない片方の腕でバーを握り、発揮された力に対抗するようにした。最初に通常の方法で測定された結果では、右 36.8 ± 8.4 kg、左 33.5 ± 8.8 kgとなった。腕屈曲力は右の数値が平均して3kgほど左より大きいことが示され、左右の差が見られた。次に、ベルトを外し片方の腕を膝の上に乗せた状態では測定する方の腕を身体に引寄せるといった力を発揮しても、上体の方が測定する腕の方へ動いてしまい非常に力が出しにくくなってしまった。通常の方法による数値を100としたとき、この条件では右32.5%、左36.4%となった。ところが、滑車台に座った状態での測定では片方の腕で身体を固定させられるような条件になっていたことから、脚伸展力で見られた結果とは様相が異なっていることが示された。結果として、肩90、肘90で右 21.5 ± 5.3 kg、左 20.7 ± 5.1 kg、肩0、肘90で右 21.4 ± 6.6 kg、左 21.3 ± 5.7 kg、肩0、肘120で右 24.4 ± 9.7 kg、左 24.0 ± 9.5 kgとなり、比率でみると、それぞれ順に、右60.4%、左64.2%、右60.0%、左65.3%、右65.6%、左70.7%となった。すなわち、脚伸展力においては通常の方法に対して滑車台に座った条件では力の発揮が非常に大きく低下することが観察されたが、腕屈曲力では身体を固定しない条件で最も低い数値が見られたことから、脚と腕の力の発揮において条件の違いによって影響を受ける数値には差があることが示された。

(考察)

一般に、体力測定をする際に筋力の指標としては握力と背筋力が用いられる。これらは測定方法が簡単であることから、それぞれの筋力計があれば誰でも測定することができるし、また測定誤差も少ないので広く用いられている。握力は主に前腕屈筋群の筋力を測定することになり、背筋力は背筋以外に腰部、下肢、上肢など殆どの筋力が総合された指標とされている。この二つの筋力は広く測定されているためにあらゆる観点からの分析がなされており指標として扱い易いが、その反面測定される筋群に限られていたり、全体的なものであることから筋力に関する詳細な分析をする際には適当なものとは言えないことがある。特に、下肢の筋力はこれらの測定で知ることはできないので特別な測定方法をもちいなければならない。下肢の筋力測定で比較的容易なものとしては脚伸展力があげられる。脚伸展力には被検者を椅座位の状態にして、足首に巻いたベルトに筋力計を結び、足を前方に伸展させる力を測定する垂直式とベッドに被検者を寝かせた状態から下腿を90°背屈させて測定する水平式とがある。どちらも膝関節の角度は90°である。また、腕屈曲力にも椅座位の状態から前腕を上方の引上げる垂直式と体幹に引寄せるといった水平式とがある。これも肘関節の角度はどちらも90°である。本研究では脚伸展力は垂直式、腕屈曲力は水平式を用いた。身体を固定する方法としてはベルトにより腰の回りを締付けると共に、脚伸展力では両方の腕で、腕屈曲力では測定しない片方の腕で測定装置を握り締めるようにした。

脚伸展力

このような条件で測定された結果として、脚伸展力では平均で右58.1kg、左58.4kgとなった。これを「日本人の体力標準値」(67.5kg)と比較すると約9kgの差が見られた²⁾。これが測定条件の違いによるものか、被検者の体力の違いが原因となっているのかは明らかでない。今回の被検者の身体的特徴(170.3cm、61.0kg)はこの年代の標準的な数値(169.3cm、60.0kg)と殆

ど同じである。また、握力、背筋力については標準値（47.1kg、137kg）と比較すると握力については差はないが、背筋力は10kg程低いことが示された。このことから、被検者の背筋力が低いことが脚伸展力に影響をあたえていることは推測できるが、身体の固定方法の違いによっても結果に大きな差が生れてくることも十分に考えられる。それは測定に際しベルトを外し、両腕を膝の上に乗せ身体を固定した状態で測定したときには筋力発揮が50～60%に低下してしまうことを本研究から明らかにしているからである。たとえば、脚伸展力が約60kgということは被検者の体重に相当する力になることから、身体が十分に固定されていなければ動いてしまいこのような力を発揮することはできない。身体を固定しないで測定したときの結果では31～35kgが示され、これがほぼ上体の重量に相当する力であり、脚伸展力の測定では身体の固定方法が重要なことであることがこのことから確認された。被検者を滑車台の上に座らせた状態で脚伸展力を測定したときには滑車のころがり摩擦以上の力をだすことはできず、ここでは2kg以下であった。そのため、上肢で測定装置を握り滑車台がころがるのを防ぎながら力を発揮することになる。上肢の位置によって力が変化することから3種類の条件で行った。その結果、10～15kgの数値が観察された。これらの数値は上肢により上体を固定させながら発揮された力であり、脚伸展力として発揮しうる本来の能力の18～26%程度であることが示された。すなわち、測定のためには身体の固定が重要な条件になり、方法を正確にすることが測定誤差を少なくしていくことになる。

腕屈曲力

次に、腕屈曲力をみると右36.6kg、左33.5kgとなり、これを「標準値」（28.1kg）と比較してみると5～8kg程大きな数値が測定された。脚伸展力では小さく、腕屈曲力では大きい結果となったことについて、どのような理由があるかは明らかではないが測定条件に少しの違いがあれば測定値に差が生じてくることは脚伸展力と同様であり、今回の測定では片方の腕を力の発揮に際して補助するような形をとっていたことが腕屈曲力では大きな数値となったのではないかと考えている。腕屈曲力においてはとくに上体の固定が非常に重要であることは固定しない条件で測定したときには右11.9kg、左12.1kgと非常に低い数値が示された。これは腕を身体に引寄せようとすれば上体が前屈するような力となり、しかも発揮される力の位置が重心よりもかなり高い位置にあるために小さな力（11～12kg）で上体がうごいてしまう。ところが、滑車台に座った状態で測定するときでも片方の腕は力を発揮するための補助に使えることから、脚伸展力で大きく低下したような影響は受けなかった。このことは、腕屈曲力では測定する腕の位置と測定せずに身体を固定するために使われる腕が両方とも滑車台より高い位置にあることが大きな低下を示さなかった理由として考えられる。このようなことから、滑車台に座った状態で測定された腕屈曲力は20～24kg（60～70%）となった。

筋力トレーニングに関する研究ではヘティンガー¹⁾により詳細な検討がなされている。トレーニング効果を引出そうとするためには一定の強度、時間、頻度を満たす条件で行はねばならず、この研究が基礎となっている。同様な考え方で、筋力を減退させないように生活していくためには上記の一定の条件で筋力を発揮させれば良いことになる。

しかしながら、例えば無重力状態で長期間にわたって生活することになると、筋力を発揮させる機会が著しく少なくなることから萎縮を引起こすことになる。このためには適当な筋力トレーニングが必要になってくるが、下肢のトレーニングは特別な装置が必要になる。すなわち、

脚伸展力は被検者の体重に相当する力になることから、上肢の補助だけでは身体を固定させることができず萎縮を防ぐに必要な筋力を発揮することができないが明らかにされた。

(まとめ)

種々な条件が筋力に与える影響について追究した。

脚伸展力、腕屈曲力についてであり

1. 身体を固定した状態
2. 身体を固定しない状態
3. 被検者を滑車台に座らせた状態

このような3種類の条件で筋力測定を行った。

その結果、脚伸展力で身体を固定した状態で測定した数値を100%としたとき、身体を固定しなかったときには50~60%に低下し、さらに滑車台に座ったときに発揮される力は18~26%まで低下した。一方、腕屈曲力では、身体を固定しなかったときには32~36%と大きく低下するのに対し、滑車台に座ったときには60~70%の力が発揮され、脚伸展力とは反対の結果となった。

(参考文献)

1. ヘティンガー Th, アイソメトリックトレーニング、大修館、1970。
2. 東京都立大身体適性学研編、日本人の体力標準値第三版、不昧堂、1980。

(付録)

滑車付椅子に腰掛けた姿勢で手足が出す力を測定する実験の静力学について

1. ま え が き

筋力を発揮するためには身体の一部を固定しなければならない。しかし、無重量環境下では身体を十分に固定することが出来ない。本実験において、被検者を滑車台に座らせることにより、身体を固定させない状況を設定した。この付録において、滑車付椅子に座った姿勢で手足の筋力を測定するときの静力学的考察をおこなった。

2. 仮 定

被検者は滑車付椅子に座った姿勢で足を前に引っ張り、体を支えるために、手で支えらとする。考察にあたり、人体は頭部、胴体（胸部と腰）、上肢、下肢、上腕、前腕の各要素は剛体で、各関節で連結され、各関節周辺の筋肉により力およびモーメントが伝達されると考える。

各関節に作用する筋力およびモーメントは、各構成要素にたいしては外力および外力モーメントであるが、人体全体としては内力および同モーメントとなり、人体全体の静力学では、人体全体を1個の剛体として、外力および外力モーメントの釣合を考えればよい。ただし、本実験では、椅子と腰・上肢との間に作用する法線力（椅子の上面に直角に作用する力）については、腰および上肢はそれぞれの下面部分は弾性を持っていると考える。

人体の姿勢は、頭部と胴体の中心線は鉛直、上肢は水平、下肢は鉛直とする（頭部と胴体の中心線が前傾または後傾する場合は将来の考察の対象とする）。

3. 記 号

W：人体全体の重量（全体の重心C. G. に作用する）

F_{1x} 、 F_{1y} ：手が出している力の反力

F_{2x} ：足がだしている力の反力

a：鉛直な棒と人体全体の重心との水平距離

b：手の握り点と人体全体の重心との鉛直距離

c：足 (F_{2x} の着力点) と人体全体の重心との鉛直距離

h：椅子上面と足との鉛直距離

R：椅子から腰及び上肢の下面に水平に作用する力で、滑車のころがり抵抗係数を μ とすれば $R = \mu N$

N：椅子が腰及び上肢の下面に作用する法線圧力の合力

e：上記の法線圧力の分布形態に応じNが人体の重心より前進する水平距離

4. 理論

力およびモーメントの釣合

水平方向：

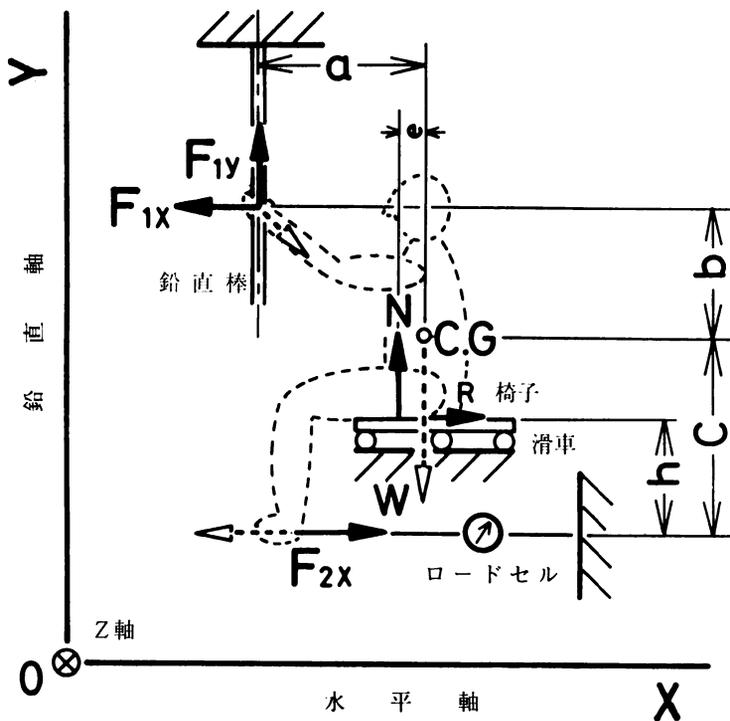
$$-F_{1x} + F_{2x} + \mu N = 0 \quad (1)$$

$$F_{2x} = F_{1x} - \mu (W - F_{1y}) \quad (1')$$

鉛直方向：

$$F_{1y} - W + N = 0 \quad (2)$$

$$N = W - F_{1y} \quad (2')$$



滑車付き椅子に腰掛けた姿勢で手足が出す力を測定する実験

重心まわりのモーメント：

$$F_{1x} \cdot b - F_{1y} \cdot F_{2x} \cdot c - N \cdot e - \mu N (c - h) = 0 \quad (3)$$

$$(W - F_{1y}) \{e - \mu (c - h)\} = F_{1x} \cdot b - F_{1y} \cdot a + F_{2x} \cdot c \quad (3')$$

5. 考 察

- (1) μ は滑車の形式、構造により、既知とみなしてよい。
- (2) e は、一定の椅子にたいしても、座り方（例えば、深く掛けるか、浅く掛けるか）によって変化する。
- (3) 基礎式は(1)式、(2)式、(3)式の3式があるが、(2)式を(1)式、(3)式に代入したもの（すなわち、3式間で N を消去したもの）が、(1')式、(3')式であるから、(1')式、(3')式の2つが基礎方程式となる。
- (4) e は既知と想定して、 F_{1x} 、 F_{1y} 、 F_{2x} の3未知式にたいして式は2つであるから、 F_{1x} 、 F_{1y} のうち1つを与えてかかれば、残りの未知数は(1')式、(3')式からもとまる。
- (5) これを実験と結び付けて考えると、鉛直棒を握る手の使い方、下腕および上腕の角度の調節等によって、あらかじめ F_{1x} を決めてかかれば F_{1x} 、 F_{2x} が、またあらかじめ F_{1x} を決めてかかれば F_{1y} 、 F_{2x} が、式(1')式、(3')式によって規定されることを意味する。
- (6) もし F_{1y} を決め手かかれば、 F_{1x} 、 F_{2x} は次式によって与えられる。

$$F_{1x} = \{(W - F_{1y})(e + \mu h) + F_{1y} \cdot a\} / (b + c) \quad (4)$$

$$F_{2x} = \{(W - F_{1y})(e - \mu(b + c - h) + F_{1y} \cdot a)\} / (b + c)$$

- (7) もし、 $F_{1y} = 0$ の簡単な場合は

$$F_{1x} = (e + \mu h) / (b + c) \cdot w \quad (4')$$

$$F_{2x} = \{e - \mu(b + c - h)\} / (b + c) \cdot W$$

(4')は図を参照して簡単に証明できる。

- (8) 以上の考察から、この実験方式は静力学的にいささか複雑なものであることがわかる。
- (9) 本実験方式を静力学的に正確に解明するには、人体の各構成要素がとる姿勢（傾角）を変数にとりいれ、各要素の静力学的釣合の式を連立させる必要がある。

本稿をまとめるにあたり、ご指導、ご助言をいただいた近藤政市東京工業大学名誉教授に、深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) Kondo, M., Tomita, T. and Sugita, T. :Equation of Longitudinal Motion for the Rider/Motorcycle System, SAE paper 840246, 1984.
- (2) Tomita, T., Sugita, T. and Kondo, M. :Analysis of Longitudinal Motion of the Rider/Motorcycle System, e. g., Jumping over an Obstacle, SAE paper 840247, 1984.