

# Biodex machine を用いた膝屈伸筋の筋出力について

武 田 功, 鈴 木 俊 明

Power Output of Extensor and Flexor Muscles of the Knee on  
Biodex Machine Exercise

Isao TAKEDA, Toshiaki SUZUKI

**ABSTRACT:** The work of the quadriceps muscle of the thigh (extensor) and the hamstrings (flexor) were evaluated on an isokinetic machine in untrained healthy subjects.

The subjects were 13 males and 13 females aged 19-31 years (mean, 24.3 years for males and 20.8 years for females). An isokinetic Biodex Machine was used to determine the relationship between the maximum torque and the joint angle, the time the maximum torque was reached, and the work of the muscle as measured by the power output and endurance of the muscles during isokinetic contraction.

Maximum torque was greater in males than in females for both the extensor and flexor muscles, and greater in the extensor muscle than in the flexor muscle for both sexes. No major sex difference was observed in the relationship between the maximum torque and the joint angle.

The time until maximum torque was reached was slightly shorter in males than in females for both the extensor and flexor muscles, and shorter for the extensor muscle than the flexor muscle.

The power of both the extensor and flexor muscle was reduced as the number of flexion extension exercise increased, but the reduction was more remarkable for the extensor.

The values obtained in this study are considered to be of use for evaluating the muscle strength and endurance of untrained individuals as well as for establishing rehabilitative goals.

**Key words:** Biodex machine; Muscle strength; Endurance; Power output

## 結 言

膝関節の動的安定性に重要な役割を果たす主な筋肉である大腿四頭筋(以下「伸筋」と略す)とハムストリングス(以下「屈筋」と略す)は身体作業能力を評価するうえで大きな意味をもつため、膝周辺の筋の運動能力あるいは神経系の協調性などの量的評価や質的評価に利用されている。

その両筋の客観的な評価を行うため、等運動機器で訓練をした経験のない健常な被験者に対して等運動機器である Biodex machine (バイオデック社製, v-1.3型) を用い、等運動性収縮(Isokinetic contraction)における筋の運動能力として筋出力の効果と耐久力を測定し被験者間の差異を検討した結果、若干の知見を得たので報告する。

### 測定方法および機器の特徴

被験者は健常な学生26名(男性13名, 女性13名)で平均年齢 $21.7 \pm 2.7$ 歳, 平均身長 $165 \pm 8.6$  cm, 平均体重 $56.4 \pm 6.1$  kgであった。全被験者は研究目的および手順を十分に理解したうえで積極的に参加した。両筋群の回転角速度は左下肢に対して $60^\circ/\text{sec}$ で10回,  $180^\circ/\text{sec}$ で30回,  $240^\circ/\text{sec}$ で30回の膝屈伸運動を最大速度で行わせ、各セット間に5分間の休憩をとった。左下肢終了後に15分間休憩させて、右下肢にも

同様の方法を実施した。

また、筋の仕事能と減衰曲線による疲労度をみるため、上記の各13名の被験者の中から無作為に各10名を選んで検査した。その被験者の平均年齢は $22.2 \pm 3.0$ 歳, 平均身長 $164 \pm 8.6$  cm, 平均体重 $57.1 \pm 7.0$  kgであった。この検査は回転角速度 $180^\circ$ と $240^\circ/\text{sec}$ にて約40秒間最大努力のもとに30回の膝屈伸運動を行わせ、そのセット間は15分間休憩させる方法で実施した。

## 結 果

1. 最大トルクと関節角度との関係(表1)。最大トルクは伸筋で女性 $57.1 \pm 7.4$  ft-lbs, 男性 $88.0 \pm 8.0$  ft-lbsであり、屈筋は女性 $35.3 \pm 4.0$  ft-lbs, 男性 $59.0 \pm 13.0$  ft-lbsであった。屈筋と伸筋の最大トルクは男性が女性よりも大きく、また伸筋が屈筋よりも大きかった。この関係は表2でも同様であり、図1 a, bの結果を得た。最大トルクを得る関節角度は伸筋で女性 $60.2 \pm 11.0^\circ$ , 男性 $58.0 \pm 13.0^\circ$ であり、屈筋に関しては女性 $45.5 \pm 13.2^\circ$ , 男性 $41.0 \pm 11.0^\circ$ と伸筋、屈筋ともに男女間で大差はなかった。

2. 伸筋および屈筋の最大トルクに至る時間(Time to peak torque)(表1)。伸筋は女性で $0.17 \pm 0.10$ 秒, 男性で $0.18 \pm 0.07$ 秒であった。屈筋は女性 $0.65 \pm 0.13$ 秒, 男性 $0.23 \pm 0.12$ 秒と伸筋は女性が、屈筋は男性がそれぞれ、最大トルクに至る時間はわずかに速く、伸筋が屈筋より

表1 Peak torque and angle for quadriceps and hamstrings

分析項目		M $\pm$ SD	
		Females	Males
Quadriceps	Peak torque	$57.1 \pm 7.4$	$88.0 \pm 8.0$
	Time to peak torque	$0.17 \pm 0.10$	$0.18 \pm 0.07$
	Angle of peak torque	$60.2 \pm 11.0$	$58.0 \pm 13.0$
Hamstrings	Peak torque	$35.3 \pm 4.0$	$59.0 \pm 13.0$
	Time to peak torque	$0.65 \pm 0.13$	$0.23 \pm 0.12$
	Angle of peak torque	$45.5 \pm 13.2$	$41.0 \pm 11.0$
Hamst/Quad Ratio		$63.7 \pm 1.94\%$	$69.3 \pm 1.80\%$
		N=26	N=26

表2 大腿四頭筋とハムストリングスの等運動性トルク値

女性の平均値と標準偏差									
Speed	Time to peak torque		Angle of peak torque		Peak torque		Torque body Wt		Hamst/Quad %
	sec		degs		ft-lbs		Quad	Hamst	
	Quad	Hamst	Quad	Hamst	Quad	Hamst			
60	0.27	0.28	65.0	40.0	79.1	42.8	69.4	37.4	54.10
	0.14	0.21	8.50	13.8	9.65	5.55	9.39	4.57	
180	0.13	0.19	58.5	42.3	49.7	32.8	43.5	28.8	66.03
	0.88	0.09	12.1	11.3	6.47	3.14	5.96	3.36	
240	0.12	0.18	57.2	53.5	42.6	30.3	37.3	26.5	71.11
	0.08	0.10	12.5	14.7	5.99	2.93	5.52	2.55	
男性の平均値と標準偏差									
60	0.25	0.30	66.6	39.1	119.1	72.5	72.5	79.6	60.57
	0.13	0.19	8.46	11.9	34.3	15.9	23.5	10.5	
180	0.25	0.21	55.9	40.0	77.3	55.2	54.2	38.9	71.50
	0.07	0.09	12.7	8.20	21.7	12.4	13.4	8.39	
240	0.15	0.19	51.5	45.2	65.6	49.8	45.9	35.1	76.02
	0.11	0.09	17.6	14.0	17.0	11.1	9.80	36.6	

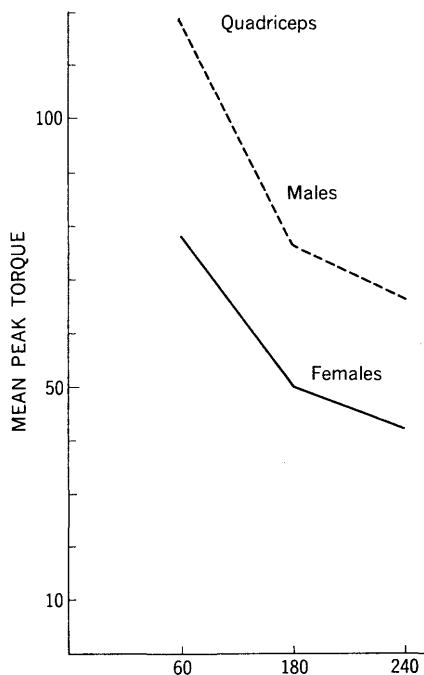


図1 a 大腿四頭筋の最大トルクと角速度との関係

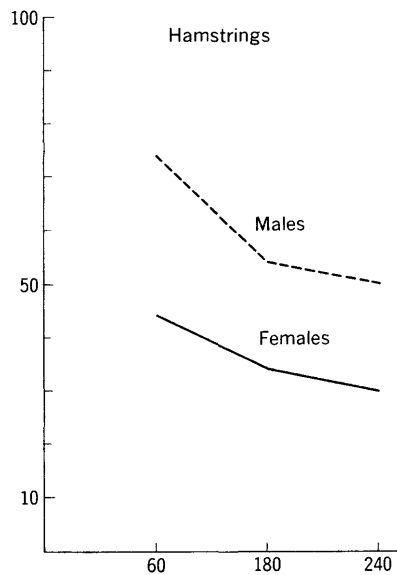


図1 b ハムストリングスの最大トルクと角速度との関係

表 2 a 収縮速度とトルクとの関係(大腿四頭筋), 女性26脚

回転角速度 (°/sec)	平均値及び標準偏差 (ft-lbs)	
60°	79.1 ± 9.69	37.16%
180°	49.7 ± 6.47	14.28%
240°	42.6 ± 5.99	

表 2 b 収縮速度とトルクとの関係(大腿四頭筋), 男性26脚

回転角速度 (°/sec)	平均値及び標準偏差 (ft-lbs)	
60°	119.6 ± 34.3	35.36%
180°	77.3 ± 21.7	15.13%
240°	65.6 ± 17.0	

表 2 c 収縮速度とトルクとの関係 (ハムストリングス), 女性26脚

回転角速度 (°/sec)	平均値及び標準偏差 (ft-lbs)	
60°	42.8 ± 5.55	23.36%
180°	32.8 ± 3.14	7.62%
240°	30.3 ± 2.93	

表 2 d 収縮速度とトルクとの関係 (ハムストリングス), 男性26脚

回転角速度 (°/sec)	平均値及び標準偏差 (ft-lbs)	
60°	72.5 ± 15.9	23.86%
180°	55.2 ± 12.4	9.78%
240°	49.8 ± 11.1	

も速かった。

3. 屈筋の伸筋に対するトルク比 (%) (表 1)。その比は女性で63.7 ± 1.94%, 男性が69.3 ± 1.80%と男性が女性よりもやや大きかった。

4. 筋収縮速度と出現トルクとの関係 (%)。回転角速度はそれぞれ60°, 180°, 240°/sec の Isokinetic speed で最大収縮をさせた (表 2)。その収縮速度に対するトルクの変化 (減少量) は60°, 180°, 240°/sec の順に減少した。その減少率は伸筋において60°~180°/sec で女性37.16%, 男性35.36%であり, 180°~240°/sec では女性14.28%, 男性15.13%であった(表 2 a, b)。また屈筋でも同様に60°~180°/sec では女性が23.36%, 男性が23.86%であり, 180°~240°/sec において女性7.62%, 男性9.78%であった(表 2 c, d)。

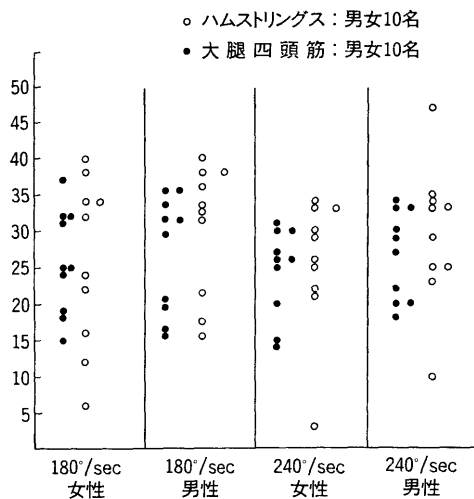


図 2 筋仕事量減少率 (Output Decrement Index: ODI)

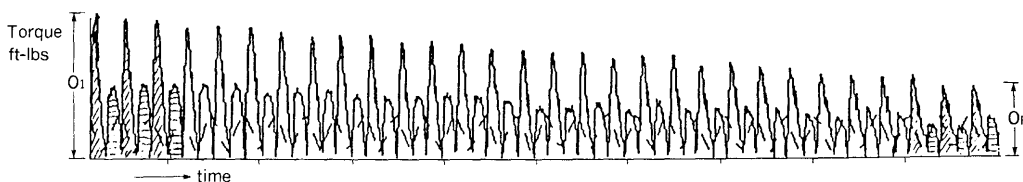


図 3 Fatigue curve (Output Decrement Index: ODI)

筋の減衰曲線の 1 例を示す。縦軸に筋トルクを示し, 横軸に経過時間を示した。図の中で丈の高い方が大腿四頭筋, 低い方はハムストリングスである。240°/sec につき筋仕事量減少率 (Output Decrement Index: ODI) を示したものである。

このように回転角速度の遅いものほど減少率は増加した。

これは等運動時における抵抗量が増大するためと推察される。

5. 伸筋と屈筋とのトルクの相関性。女性は  $r=0.71$  ( $p<0.01$ ), 男性は  $r=0.83$  ( $p<0.001$ ) といずれも顕著な相関を示した。

6. 被験者間の回転角速度 $60^\circ, 180^\circ, 240^\circ/\text{sec}$ での分散の検定 (F検定)。 $F(0.01)=4.683$  (1%)で各被験者と各回転角速度との間に有意差を認めた。

7. 筋の仕事能について (図2, 3)。

筋の仕事能と考えられる筋トルク曲線の面積を最初の3回と最後の3回から  $\{O_1 - O_F\} \div O_1 \times 100$  として算出した結果, 伸筋, 屈筋ともに筋の仕事能の減少をみた。

## 考 察

座位における伸筋と屈筋のトルク比は表1に示す通りであった。その男女間の差について, 女性の男性に対するトルク比は伸筋64.8%, 屈筋59.8%であった。これに関しては Kirsten<sup>1)</sup>をはじめ Astrand<sup>2)</sup>, 嶋田<sup>3)</sup> 大井ら<sup>4)5)</sup> ほか, 多くの報告がある。Kirsten<sup>1)</sup> は女性が男性の85%といい, Astrand<sup>2)</sup> は67%であったと述べている。屈筋の伸筋に対するトルクの大きさについて筆者らは女性 $61.82 \pm 0.54\%$ , 男性 $67.04 \pm 1.62\%$ であった。これに対して, 嶋田ら<sup>3)</sup> は女性 $49.53 \pm 5.92\%$ , 男性 $57.01 \pm 5.75\%$ であり, Mendler<sup>6)</sup> は男女とも40~60%の範囲であったと述べている。伸筋の最大収縮を得る角度について筆者らは女性 $60.2 \pm 11.0^\circ$ , 男性 $58.0 \pm 3.0^\circ$ であった。これに関して Beasleyら<sup>7)</sup> は伸筋における最大収縮の至適角度を膝関節  $60^\circ$  屈曲位であったとするものと近似値を得た。屈筋の最大収縮の至適角度について, Mendler<sup>6)</sup> は膝関節 $45^\circ$  屈曲位であるという。また Brunstrom<sup>8)</sup> は膝関節  $30^\circ$  屈曲位で最大トルクに達したとしている。筆者らは女性 $45.5 \pm 13.2^\circ$ , 男性 $41.0 \pm 11.0^\circ$  と近似値を得た。伸筋と屈筋に関する相関性は女性  $r=0.710$  ( $p<0.01$ ), 男性  $r$

$=0.830$  ( $p<0.001$ ) といずれも顕著な相関を得た。被験者間の回転角速度における分散の検定 (F検定) の結果は1%で有意差を認めた。筋の仕事能に関しては御巫ら<sup>9)</sup> と同様に回数増加にともない仕事能の低下をみた (図2)。これにより伸筋が屈筋よりも筋力低下を来たしやすいくことを示唆していることなどが判明した。

## ま と め

この研究の目的は伸筋と屈筋の身体作業能力を客観的に評価するため等運動機器で訓練をしたことのない健常な被験者に対して実施した。

等運動機器は Biodex machine を用いて等運動性収縮における筋の運動能力として筋出力の効果と耐久力を測定するため, 最大トルクと関節角度との関係や伸筋および屈筋の最大トルクに至る時間そして筋の仕事能などについて被験者間の差異を検討した。

屈筋と伸筋の最大トルクは男性が女性よりも大きく, また伸筋が屈筋よりも大きかった。最大トルクと関節角度との関係は男女間では大差なかった。

伸筋および屈筋の最大トルクに至る時間は男性の方が女性よりもわずかに速く, 伸筋が屈筋よりも速かった。

筋の仕事能に関しては屈筋, 伸筋ともに屈伸運動回数増加に伴い筋の仕事能の減少をみた。そして伸筋が屈筋よりも筋力低下を来し易いことなどが判明した。

この研究で示した測定値は訓練されていない個人の筋力や耐久力などの評価とリハビリテーションゴールを立てるうえにおいて有用であると考えている。

稿を終えるにあたり, ご校閲いただいた藤原哲司教授に深謝いたします。

## 文 献

- 1) Kirsten, G.: Der Einfluß isometrischen Muskeltrainings auf die Entwicklung der Muskelkraft Jugendlicher. Int. z. Angew. physiol. 19: p 387-

武田功, 他: Biodex machine を用いた膝屈伸筋の筋出力について

- 402, 1963.
- 2) 浅野 勝: オストランド運動生理学, 68~69, 大修館書店, 東京, 1979.
  - 3) 嶋田智明, 下畑博正: 大腿四頭筋およびハムストリングスの運動分析 (1). 理作療法 9(12): 713-717, 1975.
  - 4) 大井淑雄, 御巫清允: Isokinetic Exercise のための機器—Cybex machine, orthotron—. 総合リハ 1(7): 719-755, 1973
  - 5) 大井淑雄, 島田 孝: 筋力増強の生理学. 総合リハ 5(12): 219-227, 1977.
  - 6) Mendler H. M.: Knee Extensor and Flexor Force Following Injuries. Phys. Ther. 47(1): 35-45, 1969.
  - 7) Beasley W. C.: Influence of Method on Estimate of normal and postpolio children. Phy. Ther. Rev: 21~41, 36, 1956.
  - 8) Brunstorm S.: Clinical kinesiology: 192, F. A. Davis Co., Philadelphia, 1972.
  - 9) 御巫清允, 大井淑雄, 谷岡 淳, 篠崎直子, 渡辺慶寿, 阿部徳之助: 膝屈伸筋の疲労曲線について. 臨整外 10(1): 44-47, 1975.