

下肢筋力における研究

(ピークトルク値と負荷速度の関係)

猪木原孝二

倉敷芸術科学大学教養学部

(1997年9月30日 受理)

I, 緒 言

ここ近年、等速度運動筋力測定器の普及により膝関節等の短縮性筋活動及び伸張性筋活動の研究が多く報告されている^{4, 8)}。現在、実際に行われているスポーツ及び運動は伸張性筋活動が短縮性筋活動に比較して多く行われているのが現状である⁷⁾。また、種目によっても運動強度及び負荷はさまざまでありスポーツ時の方向転換・ジャンプ・ストップ等における怪我等は伸張性筋活動との関与があるといった報告がなされている^{3, 5)}。また、現在行われている筋力トレーニングは短縮性筋活動より伸張性筋活動の方が効果が大きいと言う報告もある⁷⁾。これらのことから、伸張性筋活動は運動とさまざまな関係があり、今回はその中でスポーツ選手の下肢筋群における大腿四頭筋の等速性運動下での伸張性筋活動及び短縮性筋活動の運動角速度を4段階に変えながら測定を行い、筋力発揮特性を把握する中で、ピークトルク値の測定を行い、スポーツ種目に応じたトレーニング方法・スポーツ障害等の原因を見出す為の基礎資料を得ることを目的とした。

II, 実験方法

1, 被験者

被験者は、岡山県のK大学に在籍し、運動部に所属して日常専門的なトレーニングを行っている男子学生を選んだ。年齢は、18才から20才の学生13名が対象者である。

2, 実験の方法

下肢筋力の測定は、等速度の運動下における大腿四頭筋の伸張性筋収縮（以下ECCと称す）と短縮性筋収縮（以下CONと称す）の種類について測定した。測定器具は、チャタヌガ社のキンコム500によって測定した。

測定の角速度は、1秒間当たり $30^{\circ}/s$ 、 $60^{\circ}/s$ 、 $90^{\circ}/s$ 、 $120^{\circ}/s$ に設定した。測定時の姿勢は、被験者を測定装置に座らせ、腕は胸部前で腕組みをさせ、腰部、大腿についてはベルトで固定した。測定用のレバーアームのセットは、足首の踝より3cm上方にベルトで固定した。可動範囲は、膝関節の解剖学的角度を 0° に定め、完全伸展水平位置で重力補正を行い各

被験者の CON 及び ECC の 2 種類とも 10° から 70° までの範囲の値を測定値とした。

測定値は、それぞれの等速度の運動下におけるピークトルク値をその値とした。試技は、各 2 回連続的に実施し高い方のピークトルク値を採用した。ピークトルク値の単位は、 $N \cdot m$ とした。測定方法と装置については、図 1 に示すとおりである。



図 1

筋力と下肢の太さとの関係を調べるために両足の部位（足首・腓腹筋・膝上・膝下・大腿四頭筋）も計測した。

3, 実験期間

実験は、平成 8 年 6 月から 7 月の間に実施したものである。

III, 結果及び考察

今回の集団における値の平均値・標準偏差・MAX・MIN の数値は以下のとおりである。右足 CON についての $30^{\circ} / s$, $351.2 \pm 72.5N$ で MAX は $493N$ ・MIN は $247N$ であった。 $60^{\circ} / s$, $293 \pm 52.3N$ で MAX は $397N$ ・MIN は $208N$ であった。 $90^{\circ} / s$, $276.5 \pm 42.3N$ で MAX は $342N$ ・MIN は $186N$ であった。 $120^{\circ} / s$, $259.3 \pm 46.3N$ で MAX は $337N$ ・MIN は $170N$ であった。右足 CON については、平均値から検討して下肢筋群の径の太さには関係なく角速度が増加して行くに伴いピークトルク値の低下傾向が見受けられた。これは、角速度の増加に伴い大腿四頭筋の右足 CON が対応できなかったのではないかと考えられる。しかし、平均値については低下の傾向はあるが、数値的に検討して被験者の数名は角速度 $90^{\circ} / s$ で低下したピークトルク値が角速度 $120^{\circ} / s$ 時に上昇した被験者もいた。これは段階に応じて増加していく角速度に対応して、大腿四頭筋を構成する 4 筋群のいずれかが角速度に対しある程度順応して、ピークトルク値が上昇したのか、あるいは筋の特性ではないかと考えられる。これにつ

いては今後の検討課題にしたいと考えている。

右足 ECC については $30^{\circ}/s$ 、 $395 \pm 119N$ で MAX は $608N$ ・MIN は $189N$ であった。 $60^{\circ}/s$ 、 $378.7 \pm 121N$ で MAX は $631N$ ・MIN は $199N$ であった。 $90^{\circ}/s$ 、 $375.8 \pm 109.3N$ で MAX は $578N$ ・MIN は $218N$ であった。 $120^{\circ}/s$ 、 $393.1 \pm 106N$ で MAX は $589N$ ・MIN は $198N$ であった。ここでは右足 CON 程、角速度の増加に伴う筋出力の低下の傾向は見受けられなかった。さらに数値的に検討して右足 CON 程、大きな変化はなかった。また、ここでも右 CON と同様に今回設定した中では一番早い角速度の $120^{\circ}/s$ 時の方が角速度 $90^{\circ}/s$ 時より数値的に上昇していた被験者も見受けられた。これらのことから右足の CON 及び ECC について考えると、この集団の右足 CON は角速度が増加するにつれてピークトルク値が低下する特性が見受けられた。しかし、右足 ECC については角速度の増加によつての筋出力への影響はないと考えられる。また、この集団に右足 ECC は速い角速度でピークトルク値に近い値を示す筋の特性が見受けられた。

つぎに左足 CON についての $30^{\circ}/s$ 、 $304 \pm 67.1N$ で MAX は $387N$ ・MIN は $174N$ であった。 $60^{\circ}/s$ 、 $268.1 \pm 55.9N$ で MAX は $357N$ ・MIN は $153N$ であった。 $90^{\circ}/s$ 、 $260.8 \pm 55.5N$ で MAX は $365N$ ・MIN は $159N$ であった。 $120^{\circ}/s$ 、 $244.4 \pm 50.2N$ で MAX は $343N$ ・MIN は $168N$ であった。

ここでも右足 CON と同様に平均値から検討して下肢筋群の径の太さには左右されず、角速度が増加して行くに伴い、ピークトルク値の低下傾向が見受けられた。これらのことから大腿四頭筋の CON は角速度が増加して行くに伴いピークトルク値が低下していく特性があるということが考えられる。

左足 ECC については $30^{\circ}/s$ 、 $314.7 \pm 98.5N$ で MAX は $452N$ ・MIN は $177N$ であった。 $60^{\circ}/s$ 、 $308.4 \pm 103.8N$ で MAX は $456N$ ・MIN は $143N$ であった。 $90^{\circ}/s$ 、 $305.3 \pm 91.2N$ で MAX は $427N$ ・MIN は $152N$ であった。 $120^{\circ}/s$ 、 $329.4 \pm 93.3N$ で MAX は $525N$ ・MIN は $192N$ であった。

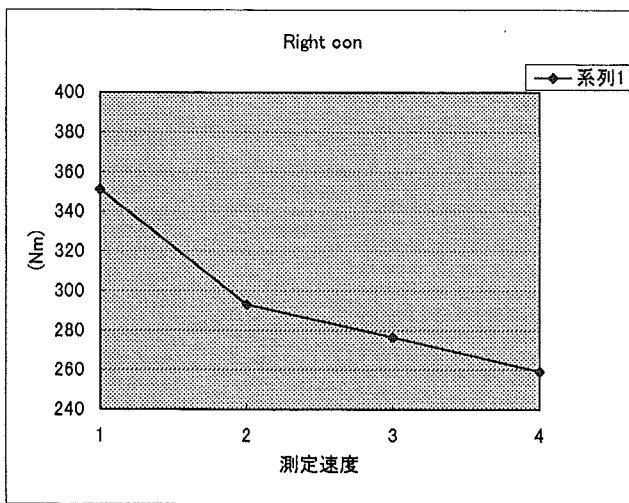
ここでも右足 ECC と同様に数値的にみて、CON 程に角速度の増加によつての筋出力の低下はないと考えられる。これらのことから、大腿四頭筋の ECC は速度の変化にはあまり左右されず筋出力が出せるということが考えられる。さらに、ECC については、数値的に検討して一番速い角速度においてピークトルク値が出現している。このことから考察して、この集団においては速い角速度で最大筋出力を出せる筋特性を持っている集団であるということが言える。これらのことから考えると、CON・ECC と同じであるが、特に CON は角速度の増加に伴うピークトルク値の格差を最小限に押さえることが重要なポイントになるのではないかと考えられる。さらに競技レベルの向上を考えるとすれば高速度で発揮されるピークトルク値の数値を上げること（いわゆるスピード型⁶⁾）考慮して筋力トレーニングを行えば効果があるのではないかと考えられる。なぜなら、一流選手は悲一流選手に比較して角速度の増加による筋出力の衰減が少ない・最大パワー発揮速度の重要性といったようなことが指摘されている報告

もあるからである⁸⁾。以上のことから高速度で大きな筋出力を発揮できることが競技レベルの向上につながる一要因になるのではないかと考えられる。角速度によるピークトルク値の変化を図2～5に示した。

つぎに左右のCON・ECCの数値と各部所の相関を所見したところ以下のような相関関係が確認された。

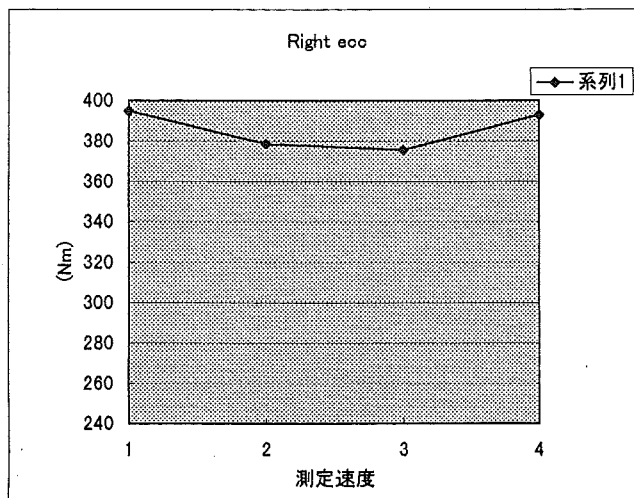
右足首については、 $24.2 \pm 1.8\text{cm}$ でMAXは28cm・MINは21.5cmであった。右CONとの関係については $30^\circ/\text{s}$ 及び $60^\circ/\text{s}$ と相関関係が確認された。(P<0.05) ECCについても $60^\circ/\text{s}$ 、 $90^\circ/\text{s}$ 、 $120^\circ/\text{s}$ と相関関係が確認された。(P<0.05)

左足首については $24.3 \pm 1.9\text{cm}$ でMAXは27cm・MINは22cmであった。左CONとの関係に



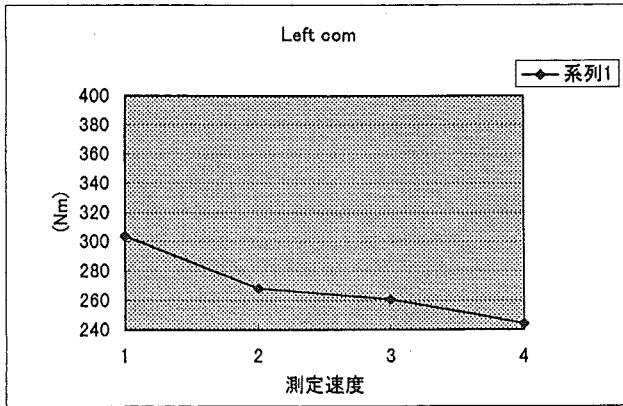
測定速度
 1 = 30 deg/sec
 2 = 60 deg/sec
 3 = 90 deg/sec
 4 = 120 deg/sec

図2



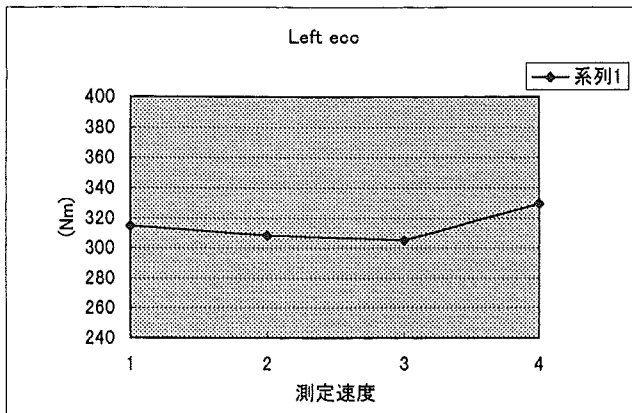
測定速度
 1 = 30 deg/sec
 2 = 60 deg/sec
 3 = 90 deg/sec
 4 = 120 deg/sec

図3



測定速度
 1 = 30 deg/sec
 2 = 60 deg/sec
 3 = 90 deg/sec
 4 = 120 deg/sec

図 4



測定速度
 1 = 30 deg/sec
 2 = 60 deg/sec
 3 = 90 deg/sec
 4 = 120 deg/sec

図 5

については $30^\circ / s$ 、及び $120^\circ / s$ と相関関係が確認された。(P<0.05)

左 ECC についても $30^\circ / s$ 、 $60^\circ / s$ 、 $90^\circ / s$ 、 $120^\circ / s$ のすべてにおいて相関関係が確認された。(P<0.05)

以上のことから左右の CON と両足首の径位との間に高い相関関係が認められた。このことから考察して、角速度及びピークトルク値と足首の太さとの間には深い関係があるということが言える。両足首の径位と ECC との間では右 $30^\circ / s$ 、以外すべての角速度と相関関係が認められた。このことから考察して、ECC も角速度及びピークトルク値と足首の太さとの間には深い関係があるということが言える。

以上のことから両足首の径位と CON・ECC の筋力及び角速度の間には高い相関関係が認められ、この集団を数値的に検討すると、足首の太い者が細い者に比較して、ピークトルク値については大きな値を示していた。足首については、腓腹筋及びヒラメ筋との間に深い関係があ

る。特にヒラメ筋においては CON 及び ECC の両方に深くかかわっているという報告もある²⁾。これらのことから考察すると、足首の強化等を考えるのならば、腓腹筋及びヒラメ筋の筋力トレーニングを行えば効果があるのではないかと思われる。

つぎに右腓腹筋については、 40.8 ± 4.5 cm で MAX は 49.5cm ・ MIN は 35cm であった。右足 CON との関係については $30^\circ / s$ 、 $90^\circ / s$ 、 $120^\circ / s$ と相関関係が確認された。(P < 0.05)

右 ECC については $60^\circ / s$ 、 $90^\circ / s$ 、 $120^\circ / s$ において相関関係が確認された。(P < 0.05)

左腓腹筋については、 41 ± 4.2 cm で MAX は 49cm ・ MIN は 36cm であった。左 CON との関係については $30^\circ / s$ と相関関係が確認された。(P < 0.05) 左 ECC については $30^\circ / s$ 、 $60^\circ / s$ 、 $90^\circ / s$ 、 $120^\circ / s$ すべてにおいて相関関係が確認された。(P < 0.05)

以上のことからここでも、左右の CON と両腓腹筋の径位との間には高い相関関係が認められた。このことから考察して角速度及びピークトルク値と腓腹筋の太さとの間には深い関係があるということが言える。左右の ECC についても右 $30^\circ / s$ 、以外すべての角速度と相関関係が認められている。このことから考察して、ECC も角速度及びピークトルク値と腓腹筋の太さとの間には深い関係があるということが言える。また、この集団を数値的に検討して足首と同じく、ピークトルク値については、両腓腹筋の太い者が細い者に比較して大きな値を示している。これらについては、筋繊維の発達によるものが大きく作用しているのではないかと考えられる。右膝下については 35.8 ± 3.4 cm で MAX は 42.5cm ・ MIN は 31cm であった。右 CON との関係については $30^\circ / s$ 及び $120^\circ / s$ と相関関係が確認された。(P < 0.05) 右 ECC については $60^\circ / s$ 、 $90^\circ / s$ 、 $120^\circ / s$ において相関関係が確認された。(P < 0.05) 左膝下については 36.5 ± 4.1 cm で MAX は 45cm ・ MIN は 31cm であった。左 CON との関係については $30^\circ / s$ 及び $120^\circ / s$ と相関関係が確認された。(P < 0.05) 左 ECC については $60^\circ / s$ 、 $90^\circ / s$ 、 $120^\circ / s$ において相関関係が確認された。(P < 0.05)

以上のことからここでも、左右の CON と両膝下の径位との間には高い相関関係が認められた。このことから考察して、角速度及びピークトルク値と両膝下の径位は深い関係がこの部位でもあるということが言える。また、ここでは、左右とも両極端に一番遅い角速度と一番速い角速度の間で相関関係が確認された。ECC と両膝下の径位との間にも左右の $30^\circ / s$ 、以外すべての角速度と相関関係が認められている。このことから考察して、ECC も角速度及び筋力と両膝下の径位の間には深い関係があるということが言える。さらに、ここでは遅い角速度よりも速い角速度に対して相関関係が認められた。これは膝伸展パワーにかかわる筋力の持つ特性が関与しているのではないかということが考えられる。

以上のことから両膝下の径位と CON ・ ECC とともにピークトルク値及び角速度の間には深い相関関係があり、CON については両極端の角速度に対して相関関係が認められた。ECC については速い角速度に対して相関関係が確認された。

右膝上については 41.7 ± 3.8 cm で MAX は 50cm ・ MIN は 37cm であった。右 CON との関係に

については相関関係が認められなかった。しかし ECC については $90^{\circ}/s$ 、 $120^{\circ}/s$ において相関関係が確認された。(P<0.05)

左膝上については $42.1 \pm 3.7\text{cm}$ で MAX は 49.5cm ・MIN は 37cm であった。左 CON との関係については $30^{\circ}/s$ と相関関係が確認された。(P<0.05) 左 ECC については $30^{\circ}/s$ 、 $60^{\circ}/s$ 、 $90^{\circ}/s$ 、 $120^{\circ}/s$ のすべてにおいて相関関係が確認された。(P<0.05)

以上の結果から考察すると、この集団については、両膝上の径位と CON との間には相関関係はさほど深く関与していないと言える。ECC については、ピークトルク値及び角速度の間に深い相関関係があるということが言える。

これらを膝関節全体から考察すると、ピークトルク値及び角速度と膝関節の間には高い相関関係が確認され、特に ECC との間においては数値的に検討して深く関与しているということが言える。さらに、これには膝関節の伸展及び屈曲のトルクに影響をおよぼしている筋との関係も検討する必要性が示唆される。なぜなら、それは大腿直筋や大腿二頭筋等の大腿四頭筋が膝関節の伸展及び屈曲トルクに深く関与しているという報告もあるからである²⁾。これらのことから、考察すると、大腿四頭筋を筋力トレーニングすることにより膝関節全体の強化につながるということがあらためて認識された。

つぎに右大腿四頭筋については $58.2 \pm 7.7\text{cm}$ で MAX は 71cm ・MIN は 48cm であった。右 CON との関係については $30^{\circ}/s$ と相関関係が認められた。(P<0.05) 左 ECC については $60^{\circ}/s$ 、 $90^{\circ}/s$ 、 $120^{\circ}/s$ において相関関係が確認された。(P<0.05)

左大腿四頭筋については $58 \pm 7.3\text{cm}$ で MAX は 74cm ・MIN は 47.5cm であった。右 CON と同じく左 CON でも $30^{\circ}/s$ と相関関係が確認された。(P<0.05) 左 ECC については $30^{\circ}/s$ 、 $60^{\circ}/s$ 、 $90^{\circ}/s$ 、 $120^{\circ}/s$ のすべてにおいて相関関係が確認された。(P<0.05)

以上の結果から、両方の CON については遅い角速度において相関関係が確認された。また、両方の ECC については右 $30^{\circ}/s$ 以外のすべての角速度と相関関係が確認された。この結果から、ここでもピークトルク値及び角速度と大腿四頭筋が深くかかわっているということが確認された。特に ECC が深く関与していることが確認できた。

以上の足首・腓腹筋・膝下・膝上・大腿四頭筋の部位の太さとピークトルク値及び角速度との関係を総合的に考察してみると、今回の等速度運動下において、CON 及び ECC のどちらも深く関係があるが、CON に比較して ECC の方が深く関与しているということが言える。また、数値的に検討してみると、部位の径位が太い被験者が細い被験者に比較して高い値を示していた。これは筋の断面積が大きいと筋出力も高くなる。また、それは等速性運動下における大腿四頭筋の筋群と筋の断面積の間でも成立するという報告もある³⁾。これらのことから日頃の筋力トレーニングによる積み重ねが筋組織の発達に影響して最大筋出力に大きくつながっているものと思われる。

つぎに速度間の相関を所見したところ以下のような相関関係が確認された。

右 CON の角速度間及び左 CON の角速度間さらに右 ECC の角速度間及び左 ECC の角速度

間におけるすべての角速度間で相関関係が確認された。(P<0.05)

同じ負荷速度の CON と ECC および左右間の $30^{\circ}/s$ でも右 CON と右 ECC, 右 CON と左 CON, 右 CON と左 ECC, 右 ECC と左 CON, 右 ECC と左 ECC, 左 CON と左 ECC のすべてにおいて相関関係が確認された。(P<0.05)

同じ $60^{\circ}/s$ では右 CON・右 ECC, 左 CON・左 ECC の 2 箇所相関関係が確認された。(P<0.05)

同じ $90^{\circ}/s$ では右 CON・右 ECC, 右 ECC・左 ECC, 左 CON・左 ECC の 3 箇所相関関係が確認された。(P<0.05)

同じ $120^{\circ}/s$ では右 CON・右 ECC, 右 CON・左 ECC, 右 ECC・左 CON, 右 ECC・左 ECC, 左 CON・左 ECC の 5 箇所相関関係が確認された。(P<0.05)

以上の結果から角速度間でのピークトルク値についても多くの相関関係が確認された。今回の等速度運動下においての実験を総合的に考察してみると下肢筋力とピークトルク値及び角速度の関係について、下肢筋力とピークトルク値及び角速度との間には数多くの相関があるということが確認できた。特に伸張性筋活動の方が短縮性筋活動に比較して、その多くが見受けられた。これは、現在の運動が伸張性筋活動の方に偏りが大きいためではないかと考えられる。さらに、現在、実際に取り組みされている筋力強化のトレーニングは、短縮性筋活動に比較して伸張性筋活動の方が効果が高いためではないかということが考えられる。筋力バランスの面から考えると、スポーツ障害等の怪我及び競技レベルの向上には、速度間において起こる角速度の増加に伴うピークトルク値の低下の格差を最小限に押さえるための筋力トレーニングを行うことが適切であると思われる。また、左右の筋出力の強弱・短縮性筋力及び伸張性筋力の強弱の格差等が見受けられた。このことから考えると、このアンバランス差を最小限に押さえることによって、膝関節及び足首等のスポーツ障害等の怪我也最小限に押さえることで可能になり、さらに、競技レベルの向上につながるのではないかと考えられる。なぜなら数値的に検討して、今回の結果から推察すると伸張性筋力に比較して左右とも短縮性筋力の数値が劣っているということがいえるからである。これらのことから今後は、角速度間のピークトルク値の低下のところでも記述したように高速度でのピークトルク値の増大、競技レベル向上のための最大パワー発揮速度の重要性、また左右の短縮性筋出力及び伸張性筋出力のバランス等を考慮した筋力トレーニングを行うよう指導したいと考える。

IV, 要約

今回の研究は、下肢筋力におけるピークトルク値と負荷速度の関係について究明したところ次のことが判明した。

1. 等速度運動下における、短縮性筋活動は下肢筋群の太さには左右されず、角速度の増加に伴い両足ともピークトルク値が低下した。

2. ピークトルク値及び角速度と足首・腓腹筋・膝下・膝上・大腿四頭筋の太さとの関係は短縮性筋活動及び伸張性筋活動の両方に相関があり、主に伸張性筋活動との関係が高いものであった。(P<0.05)
3. 等速度運動下における角速度間でのピークトルク値の相関関係が確認された。
同足の短縮性筋活動及び伸張性筋活動についてはすべての所で相関が確認された。(P<0.05)
4. 以上のことから、等速度運動下において下肢筋力とピークトルク値及び角速度の関係については、角速度の増加におけるピークトルク値の変化、特に短縮性筋活動の低下、さらには足首・腓腹筋・膝下・膝上・大腿四頭筋の太さと短縮性筋活動及び伸張性筋活動との相関関係が確認できた。これらの結果から角速度適応した短縮性筋活動及び伸張性筋活動の両方の筋出力の増加・筋出力バランスの格差等を最小限に押さえることで怪我防止及び競技力の向上が望めるのではないかと思われる。

参考文献

- 1) 秋間 広 他：異なる部位における大腿四頭筋の各筋頭の筋断面積と筋線維組織が等速性膝伸展力に及ぼす影響, 39, 426-436, 1995
- 2) 伊藤 章 他：スタートダッシュにおける下肢関節のピークトルクとピークパワーおよび筋放電パターンの変化, 体育学研究, 42, 71-83, 1997
- 3) 加藤 和夫 他：膝関節スポーツ障害と大腿四頭筋-特に伸張性収縮筋力について-, 臨床スポーツ医学, 5, 1149-1152, 1988
- 4) 金久 博昭 : 動的筋機能測定 of 歴史. Jpn.J.sports Sci, 13, 467-493, 1994
- 5) 金久 博昭 他：伸張性筋収縮における筋力発揮特性, 競技力向上のスポーツ科学 I, 朝倉書店, 216-223, 1989
- 6) 高松 薫 他：無氣的パワーにおける“力型”と“スピード型”のタイプからみたラグビー選手の特性, 体育学研究, 34, 81-88, 1989
- 7) 田口 正公 他：スポーツ競技の種目別に見た筋力発揮特性について, -大腿四頭筋の伸張性筋活動と短縮性筋活動-, トレーニング科学, vol.4 No.1, 1992
- 8) 若山 章信 他：等速性筋力測定法による膝伸展筋の力-速度曲線及び最大パワーの評価, 体力科学, 45, 413-418, 1996

Research on Muscle Power on the Lower Body (Relationship between the value of peak torque and added velocity)

Koji INOKIHARA

College of Liberal Arts and Science

Kurashiki University of Science and the Arts,

2640 Nishinoura, Tsurajima-cho, Kurashiki-shi, Okayama 712, Japan

(Received September 30, 1997)

I obtained the following results through examining the relationship between the value of peak torque and the value added velocity in muscle power on the lower body.

- 1) Under the equal velocity movement. CON is not affected by the thickness of the group of muscles in the lower body and the value of peak torque decreased in both legs according to the increase of angle velocity.
- 2) The relationship between peak torque, angle velocity and thickness of ankle, calf lower knee, upper knee and the femoral muscle had a mutual relationship with CON and ECC, especially showing a higher relationship in ECC. ($p < 0.05$)
- 3) Under the equal velocity movement, each angle velocity has a mutual relationship. CON and ECC in the same leg shows mutual relationship at every point. ($p < 0.05$)
- 4) From the abovementioned results. I obtained the result stated below.

On the observation of the relationship between ankle power on the lower body and peak torque, angle velocity under the equal velocity movement :

I could confirm the variation of the value of peak torque with the increasing of angle velocity, especially the decreasing of CON and the relationship between the thickness of ankle, calf, lower knee, upper knee, the femoral muscle and ECC.

From this it is possible to prevent injury and to promote skills in sports if we control the increase of muscle power on both CON and ECC, and the balance of muscle power at the minimal level without the effect of angle velocity.