

IV. ジャンプ運動における運動開始時の構えの相違が下肢筋群の筋出力および ジャンプパフォーマンスに及ぼす影響 (研究課題 2-1)

1. 目的

身体運動における下肢三関節それぞれの役割は、構造的な位置や関与する筋群の違いなどから、異なることが推測できる (図子ら, 1998). なかでも、股関節は、他の関節と比較して下肢の近位に位置し、またがっている筋が非常に大きいものの、筋に対する腱の割合が小さいために、非常に大きなトルクの出力源としての役割を果たしている. さらに、運動連鎖 (Putnam, 1991; 1993) や関節間におけるエネルギーの流れ (Gregoire et al., 1984; Bobbert and Ingen Schenau, 1988; Ingen Schenau, 1989; Jacobs and Ingen Schenau, 1992; Jacobs et al., 1993; 1996; Raasch et al., 1997) と呼ばれる現象により、下肢の近位に位置する股関節まわりの筋群が発揮した筋力・筋パワーが、より下肢の遠位に位置する膝および足関節の筋力・筋パワーに影響を及ぼす可能性も考えられる. したがって、下肢全体の発揮する筋力・筋パワーまたは運動能力の向上または改善を目指す際に、股関節周りの筋群における筋力・筋パワーの発揮能力の向上を目指すことが有効な手立てとなりうる.

これまで、ジャンプ運動に関する研究において、下肢各関節における Kinetics については、CMJ と DJ などジャンプ運動間および下肢関節間で比較されることが多かった (Bobbert et al., 1987a; 1987b; 図子と高松, 1995b). これらの先行研究では、DJ において、下肢全体が行った仕事のうち、足関節が行った仕事量が股関節の行った仕事量の約 3 倍にのぼること (Bobbert et al., 1987a) などが報告されている. しかし、ジャンプパフォーマンスと下肢

関節 Kinetics との関係については、図子と高松（1995）が、DJ の跳躍高を接地時間で除した値である DJ-index と股関節の負の仕事との間に有意な負の相関関係が認められたことを報告したのみのようである。そして、図子と高松（1995）は、DJ のように、非常に短い時間で大きな力発揮が要求される運動においては、モーメントの大きい股関節は動員すべきでないと解釈している。しかし、股関節は下肢関節の中でも大きなトルクの出力源としての役割を果たしていることから（図子ら、1998）、DJ における股関節の仕事量が小さいことは、発揮されるトルクとしては大きいものの、股関節の角速度が小さいために、パワーおよび仕事量としては小さいと推測することもできる。このために、DJ-index と股関節の負の仕事との間に有意な負の相関関係が認められたことを基に、DJ において股関節は動員すべきでない結論付けることは危険であろう。したがって、足、膝および股関節でなされた仕事量とジャンプパフォーマンスとの関係のみならず、足、膝および股関節が発揮したトルクおよびパワーとジャンプパフォーマンスとの関係について検討し、ジャンプパフォーマンスに影響を及ぼす筋群とその働きを明らかにする必要がある。

ジャンプパフォーマンスに影響を及ぼす筋群とその働きを明らかにした上で、この示唆をスポーツ現場においてより有用なものとするためには、ジャンプパフォーマンスに影響を及ぼす筋群の筋出力を効果的に引き出す方法についても検討する必要がある。そこで、本研究では、筋出力を効果的に引き出す方法として、運動開始時の構えに着目した。現在までに、姿勢の変化が筋張力に影響を及ぼすことが明らかにされており（Basmajian and De Luca, 1985 ; Sullivan et al., 1992）、短時間での全力自転車ペダリング運動においても、骨盤傾斜などの運動開始時の構えの変化が股関節伸展筋群の筋活動量に影響を及ぼすことが報

告されている(木越ほか, 2003). これは, 筋が腱を介して骨組織に付着しているために, 姿勢や構えの変化によってMTC長が変化し, 筋張力が変化するためであると考えられる. このように, 筋が一旦引き伸ばされて受動的な張力を得ることによって, 伸張-短縮サイクル運動 (Komi and Buskirk, 1972) の効果により, 後の短縮局面において効率的に大きな筋力・筋パワーを発揮することが可能になることが認められている (Melvill Jones and Watt, 1971; Asumussen and Bonde-Pertersen, 1974; Van Ingen Schenau, 1984).

したがって, 本研究課題では, ジャンプ運動におけるジャンプパフォーマンスと下肢関節 Kinetics との関係を検討すること, さらに, ジャンプパフォーマンスに影響を及ぼす筋群の筋出力の発揮に影響を及ぼす要因について, 運動開始時の構えに着目して検討することを目的とした.

2. 方法

(1) 被験者

被験者には, 大学陸上競技部に所属する男子大学生および大学院生 8 名を用いた (年齢: 23.00 ± 2.13 歳, 身長: 1.77 ± 0.04 m, 身体質量: 70.16 ± 5.15 kg). 被験者には, 実験に先立ち, 本研究課題の目的, 方法および実験に伴う安全性および危険性を十分に説明し, 実験参加に対する同意を得た. なお, 本研究課題に参加した被験者は, 実験運動である 3 種類のジャンプ運動を日常のトレーニングに取り入れていた.

(2) 実験運動

本研究課題では、SJ、CMJ および DJ30 を行わせた。DJ の台高として 30cm を選択した理由は、この台高が他の台高と比較して最も安全性が高く、伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を評価する運動として適していること（図子ら、1993）が報告されているためである。跳躍動作については、SJ では、膝関節が 100 度の状態で一旦静止し、反動を用いずに跳ぶよう指示したが、CMJ および DJ30 では特に指示しなかった。なお、全てのジャンプ運動は手を腰に当てた姿勢で行わせ、SJ および CMJ においてはできるだけ高く跳ぶように、DJ30 においてはできるだけ短い接地時間でできるだけ高く跳ぶように指示した。

(3) データ処理

本研究課題では、光学式三次元位置計測システム（Oxford Metrics 社製、VICON）を用い、サンプリングレート 120Hz で動作解析を行った。また、撮影と同時に地面反力をフォースプラットフォーム（Kistler 社製、9281type）を用いて 1000Hz で測定した。本研究課題では、胸骨上縁、第 7 頸椎、上前腸骨棘、上後腸骨棘、大転子、膝関節中心、母子球、外果点、踵、つま先を分析点として、この位置に赤外線反射マークを貼り付けた。このシステムにより得られた分析点の座標値は、分析点の座標成分ごとに最適遮断周波数を Wells and Winter (1980)の方法にもとづいて決定し、Butterworth Low-pass Digital Filter を用いて平滑化した。なお、決定された最適遮断周波数は 1~7Hz の範囲であった。

本研究課題では、大殿筋、大腿二頭筋長頭、大腿直筋、外側広筋および腓腹筋から EMG を導出した。EMG の導出には双極表面電極を用い、マルチテレメーターシステム（日本光電工業製、WEB-5000 型）によって記録した。電極は、Basmajian and De Luca(1985)の指摘

に従い筋腹中央部よりも起始腱側にずらして配置し、両面粘着カラーにより電極間の距離を 1.5cm として貼り付けた。マルチテレメーターシステムからの信号は、データレコーダーに入力した。データレコーダーに入力した EMG 信号は、A/D 変換器を介して 1ms ごとに数値化し、パーソナルコンピュータに取り込んだ。さらに、カットオフ周波数 10Hz で低域遮断フィルタリングを行った後、全波整流を行った。

(4) 算出項目および算出方法

1) 跳躍高、接地時間および DJ-index

地面反力のデータをもとにして SJ および CMJ では滞空時間を、DJ30 では滞空時間と接地時間を求めた。滞空時間は、垂直方向の地面反力が離地によって基線の水準へ低下した時点から、接地によって基線から急激に立ち上がり始めた時点までの時間とした。また、DJ30 における接地時間は、垂直方向の地面反力が、着地によって基線から急激に立ち上がり始めた時点から、離地によって基線の水準へ低下した時点までの時間とした。

上述の方法によって定義された滞空時間 (T_a) および重力加速度 (g) を用いて、式 (1) により跳躍高 (JH) を算出した。また、DJ30 については、式 (2) により DJ-index を算出した。これは、跳躍高を接地時間 (T_c) で除することによって算出され、できるだけ短い時間で高い跳躍高を獲得する能力を示す指標である (図子ら, 1993)。

$$JH = 1/8 \cdot g \cdot T_a^2 \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$DJ\text{-index} = JH / T_c \cdot \cdot \cdot (2)$$

2) 下肢関節およびセグメント角度

画像解析データをもとにして、踏切局面における股、膝および足関節の角度を算出した。

なお、本研究課題では股関節の定義として骨盤－大腿部を用いた。骨盤－大腿部角度および骨盤傾斜角度等の定義については、研究課題 1 と同様である (図 1)。

3) 関節トルクおよび関節パワー

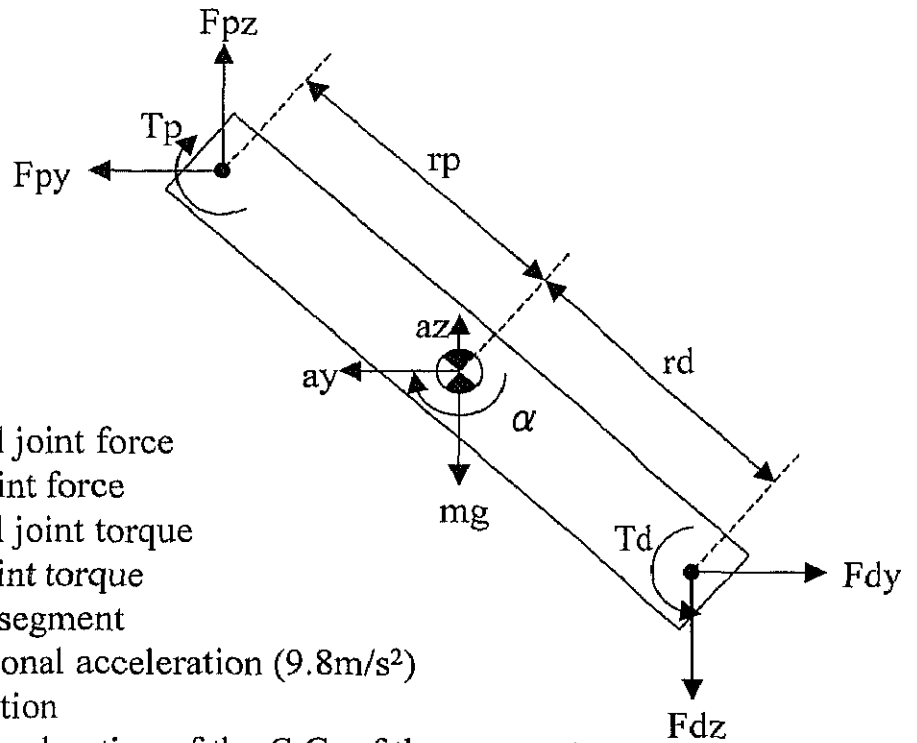
下肢各関節のトルクを算出するために、身体を足、下腿、大腿の 3 セグメントからなるリンクセグメントモデルであると仮定した。地面反力と画像データから得られた関節角度、関節角速度、足、下腿、大腿の重心位置、重心加速度および慣性モーメントをリンクセグメントモデルに入力し、身体各部について運動方程式からセグメントの近位端に作用する関節トルクを算出した (図 4)。なお、身体各部の重心位置は、阿江ら (1996) の身体部分係数を用いて求めた。

4) 筋放電量

EMG のデータとして、分析区間において全波整流した EMG を 1ms ごとに時間積分することによって iEMG を算出した。また、この iEMG をこの区間に要した時間で除することによって mEMG を算出した。なお、得られた mEMG を最大随意収縮 (Maximum Voluntary Contraction : MVC) 時の mEMG で除することによって、各試技における相対的活動度を算出し、これをデータとして用いた。

(5) 分析区間

本研究課題における分析データは、SJ では地面反力の基線が立ち上がり始めた時点から離地までの区間、CMJ では沈み込みの開始によって地面反力が基線から低下し始めた時点



- F_{pz}, F_{py} : Proximal joint force
 F_{dz}, F_{dy} : Distal joint force
 T_p : Proximal joint torque
 T_d : Distal joint torque
 m : Mass of segment
 g : Gravitational acceleration (9.8m/s^2)
 a : Acceleration
 a_z, a_y : Linear acceleration of the C.G. of the segment
 α : Angular acceleration of segment
 r_p : Vector of proximal origin from C.G.
 r_d : Vector of distal origin from center of gravity
 I : Segment at moment of inertia
 J_p : Joint power
 ω : Joint angular velocity

<p>Joint torque</p> $F_{p_j} = -F_{d_j} + m_j \cdot g + m_j \cdot a_j$ $T_{p_j} = -T_{d_j} + I_j \cdot \alpha - r_{p_j} \cdot F_{p_j} - r_{d_j} \cdot F_{d_j}$ <p>Joint power</p> $J_{p_i} = T_{p_i} \cdot \omega_i$
--

Fig. 4 Force and torque applied to a segment.

から離地までの区間、および DJ30 では接地から離地までの区間で収集し、身体重心の最下点より以前を伸張局面、それ以降を短縮局面として定義した。なお、SJ では分析区間全体に要した時間を 100%に規格化し、CMJ および DJ30 では伸張局面および短縮局面に要した時間をそれぞれ 50%ずつに規格化した。

(6) 統計処理

下肢三関節における関節トルクおよび関節パワーの有意差検定には一元配置の分散分析を用い、F 値が有意であった項目についてはさらに Tukey-Kramer 法により多重比較を行った。また、ジャンプパフォーマンスと下肢関節 Kinetics との関係については、ピアソンの相関係数を算出した。いずれも有意性は危険率 5%未満で判定した。

3. 結果

(1) 各種ジャンプ運動における下肢関節 Kinetics

1) SJ の跳躍高と下肢関節 Kinetics との関係

SJ における跳躍高は、 $0.41 \pm 0.05\text{m}$ であった。図 5 は、SJ において下肢の各関節が発揮した関節トルクおよび関節パワーの変化を示したものである。SJ における関節パワーの立ち上がりは、股関節、膝関節および足関節の順に早い傾向にあることが認められた。

表 2 は、SJ における跳躍高と下肢各関節が発揮した平均関節トルクおよび平均関節パワーとの相関係数を示したものである。跳躍高と短縮局面において足関節が発揮した平均関節トルク ($r = 0.787, p < 0.01$) および関節パワー ($r = 0.903, p < 0.01$) との間に有意な正の相

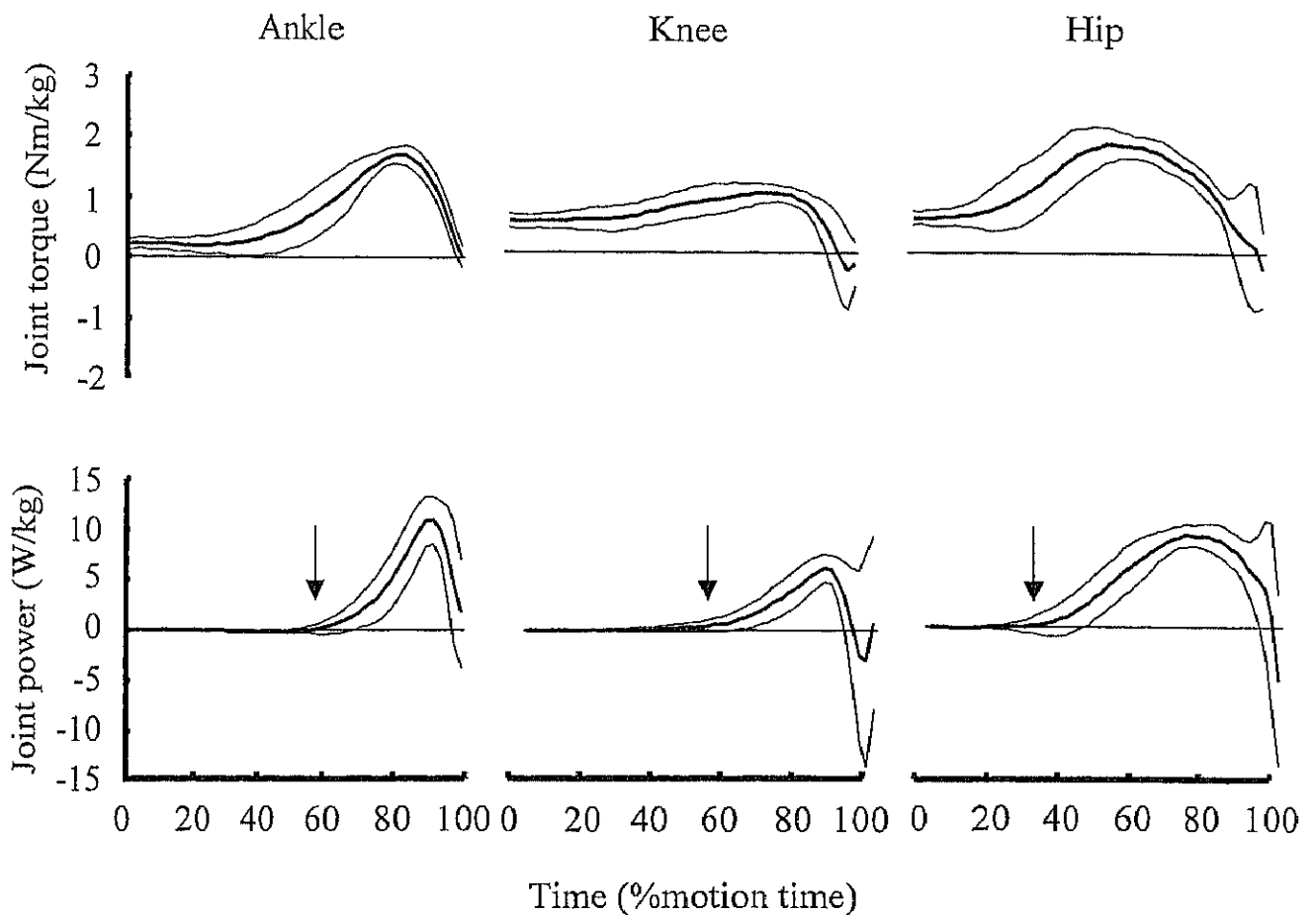


Fig. 5 Mean curves of normalized torque (upper) and power (lower) in ankle, knee and hip joint (from left to right) of the lower extremity during the SJ. The time of the contact phase was normalized as 100%, and in which 0% and 100% were fixed at the start to push off and take off, respectively. The arrow is the point of turn from negative to positive power.

Table 2 The correlation coefficients between jumping height and joint kinetics of the lower extremity in the SJ.

		Jumping height in SJ
Mean joint torque	Ankle	0.787 **
	Knee	-0.223
	Hip	0.498
Mean joint power	Ankle	0.903 **
	Knee	-0.145
	Hip	0.496

**; p<0.01

関関係が認められた。

2) CMJ の跳躍高と下肢関節 Kinetics との関係

CMJ における跳躍高は、 $0.48\text{m}\pm 0.03\text{m}$ であった。図 6 は、CMJ において下肢の各関節が発揮した関節トルクおよび関節パワーの変化を示したものである。CMJ における関節パワーの負から正の値への切り替わる時点、つまりパワーの立ち上がりは、股関節、膝関節および足関節の順に早い傾向が認められた。なお、股関節では、パワーの立ち上がり時点と身体重心の最下点とが一致していた。

表 3 は、CMJ における跳躍高と伸張局面および短縮局面において各関節が発揮した平均関節トルクおよび平均関節パワーとの相関係数を示したものである。跳躍高と下肢関節が発揮した平均関節トルクおよびパワーとの間に有意な相関関係は認められなかった。

3) DJ30 の接地時間、跳躍高および DJ-index と下肢関節 Kinetics との関係

DJ30 における跳躍高は $0.34\pm 0.08\text{m}$ 、接地時間は $0.15\pm 0.02\text{s}$ 、DJ-index は $2.17\pm 0.56\text{m/s}$ であった。図 7 は、DJ30 において下肢の各関節が発揮した関節トルクおよび関節パワーの変化を示したものである。DJ30 における関節パワーの負から正の値への切り替わる時点、つまりパワーの立ち上がりは、股関節が足関節および膝関節と比較して早い傾向が認められた。なお、足関節および膝関節では、パワーの立ち上がり時点と身体重心の最下点とがおおよそ一致していた。

表 4 は、DJ30 における接地時間、跳躍高および DJ-index と伸張局面および短縮局面のそれぞれにおいて各関節が発揮した平均関節トルクおよび平均関節パワーとの相関係数を示したものである。DJ-index と伸張局面において股関節が発揮した平均関節パワーとの間

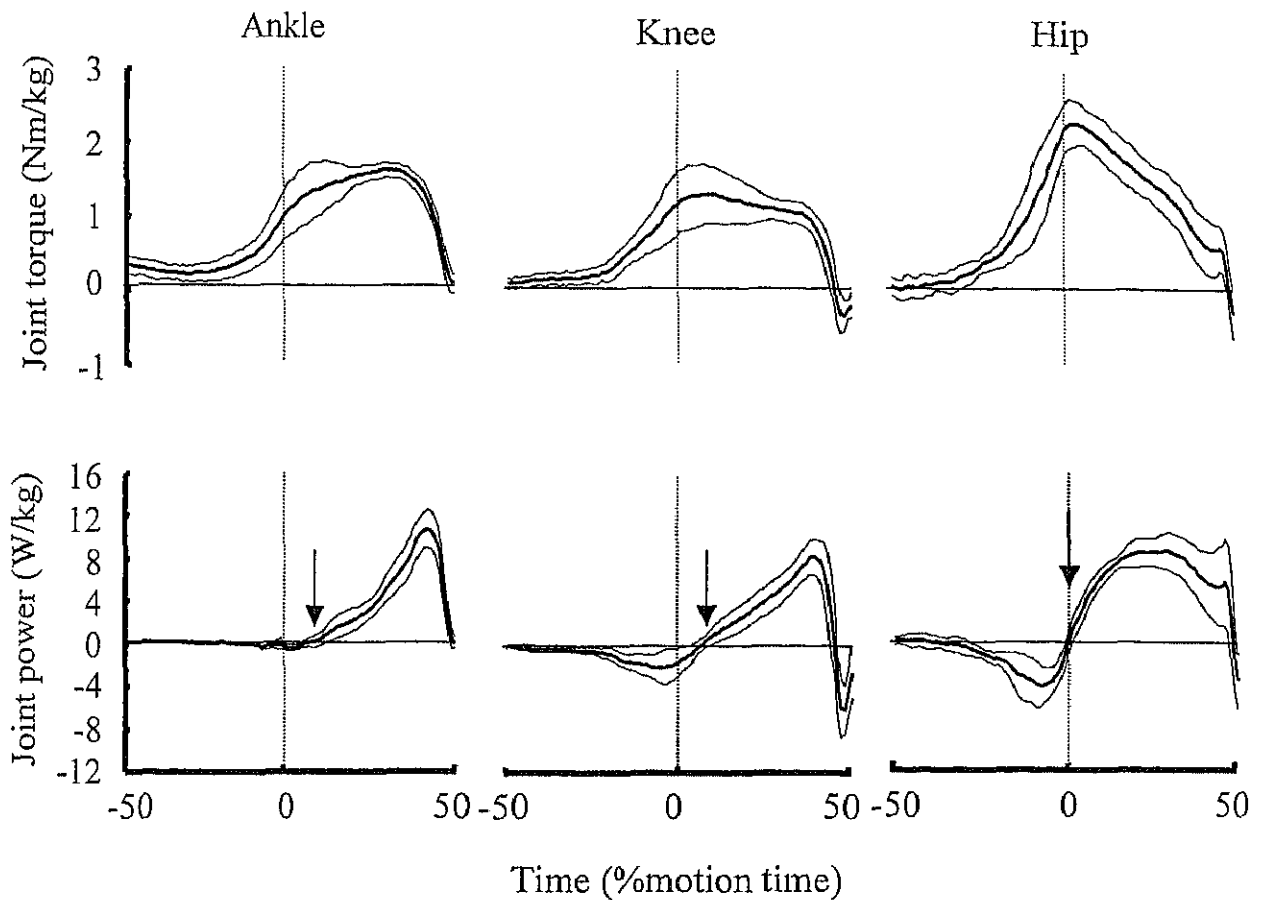


Fig. 6 Mean curves of normalized torque (upper) and power (lower) in ankle, knee and hip joint (from left to right) of the lower extremity during the CMJ.

The dash line is the lowest point of the center of gravity.

The time of the contact phase was normalized as 100%, in which -50%, 0% and 50% were corresponding at the moment of start, the lowest point of the center of gravity and the take off, respectively.

The arrow is the point of turn from negative to positive power.

Table 3 The correlation coefficients between jumping height and joint kinetics of the lower extremity in the CMJ.

		Jumping height in CMJ	
Mean joint torque	Ecc. phase	Ankle	0.338
		Knee	0.330
		Hip	0.080
	Con. phase	Ankle	0.528
		Knee	0.038
		Hip	0.054
Mean joint power	Ecc. phase	Ankle	-0.369
		Knee	-0.179
		Hip	-0.368
	Con. phase	Ankle	-0.001
		Knee	0.117
		Hip	0.567

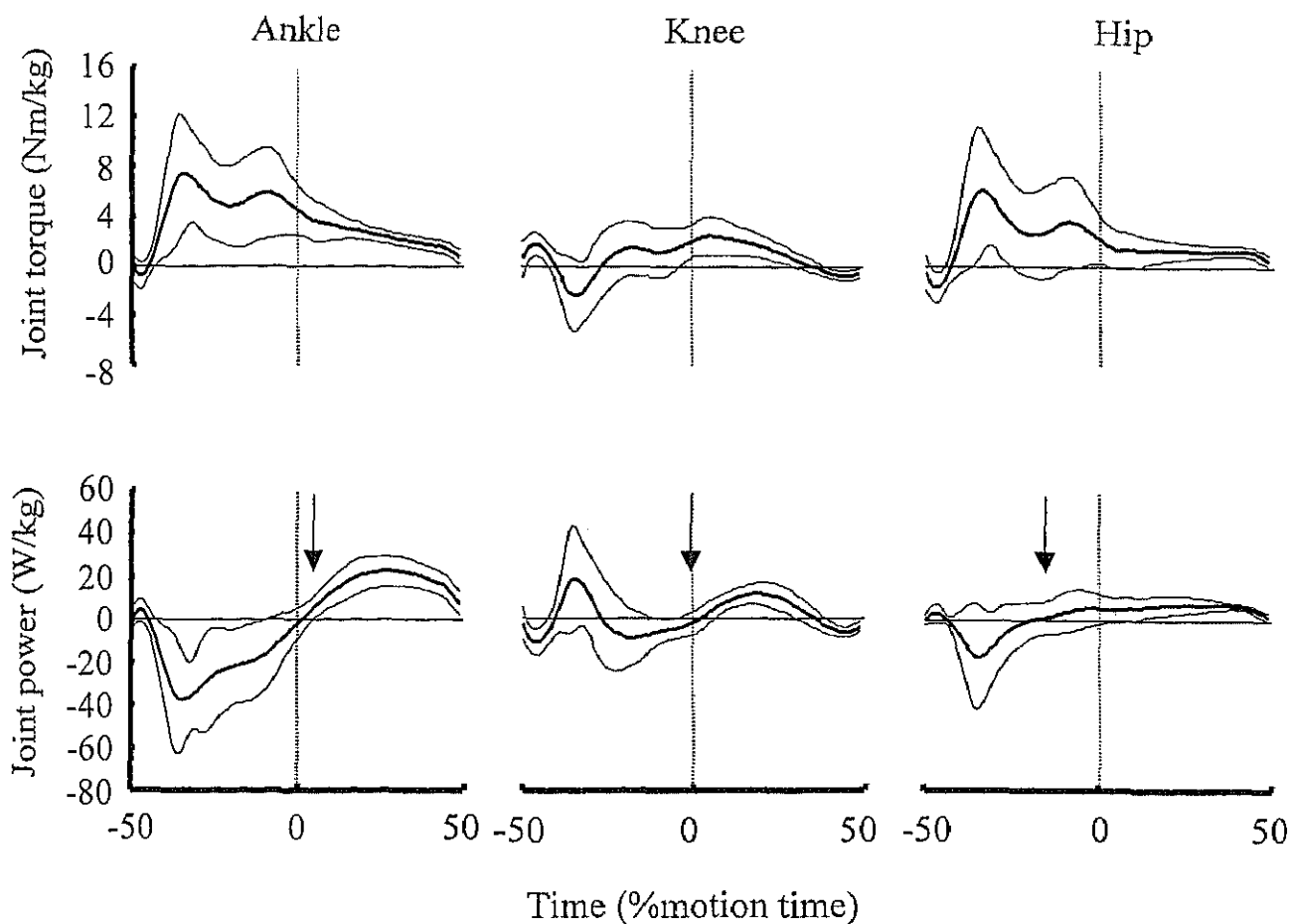


Fig.7 Mean curves of normalized torque (upper) and power (lower) in ankle, knee and hip joint (from left to right) of the lower extremity during the DJ30. The dash line is the lowest point of the center of gravity. The time of the contact phase normalize 100%, in which -50%, 0% and 50% are corresponding at the instance of contact, the lowest point of the center of gravity and the take off, respectively. The arrow is the point of turn from negative to positive power.

Table 4. The correlation coefficients between jump performance and joint kinetics of the lower extremity in the DJ30.

		Jumping height	Contact time	DJ-index	
Mean joint torque	Ankle	0.166	-0.771 *	0.436	
	Ecc. phase	Knee	-0.447	0.006	-0.417
		Hip	-0.075	-0.689	0.182
	Con. Phase	Ankle	0.635	-0.395	0.736 *
		Knee	-0.126	-0.700	0.126
		Hip	0.577	0.095	0.501
Mean joint power	Ankle	-0.457	0.177	-0.480	
	Ecc. phase	Knee	0.437	0.390	0.251
		Hip	0.500	-0.694	0.725 *
	Con. Phase	Ankle	0.310	0.047	0.246
		Knee	0.624	-0.415	0.730 *
		Hip	0.596	0.373	0.415

*; p<0.05

に有意な正の相関関係が認められた ($r=0.725, p<0.05$)。また、DJ-index と短縮局面において膝関節が発揮した平均関節パワーおよび足関節が発揮した平均関節トルクとの間にも有意な正の相関関係が認められた ($r=0.730, p<0.05$ および $r=0.736, p<0.05$)。さらに、接地時間と伸張局面における足関節が発揮した平均関節トルクとの間に有意な負の相関関係が認められた ($r=0.771, p<0.05$)。

(2) 各種ジャンプ運動における運動開始時の構えおよび股関節伸展筋群の mEMG

1) SJ について

SJ の開始時における骨盤傾斜角度、大腿部角度、膝関節角度および骨盤-大腿部角度は、それぞれ $122.72\pm 9.30\text{deg}$ 、 $57.62\pm 5.27\text{deg}$ 、 $95.97\pm 7.58\text{deg}$ 、 $179.76\pm 8.92\text{deg}$ であった。

図 8 は、本研究課題において被験筋として用いた筋の SJ における mEMG を示したものである。本研究課題において被験筋として用いた筋群のうち股関節伸展筋群である大殿筋では $64.73\pm 17.12\%MVC$ 、大腿二頭筋長頭では $29.50\pm 18.02\%MVC$ であった。

表 5 は、SJ の開始時における身体各部の角度と大殿筋および大腿二頭筋長頭の mEMG との相関係数を、図 9 は有意な相関関係が認められた項目 (SJ の開始時における骨盤傾斜角度および骨盤-大腿部角度と大殿筋の mEMG) について両者の関係を示したものである。SJ の開始時における身体各部の角度と大腿二頭筋長頭の mEMG との間に有意な相関関係は認められなかった。しかし、SJ の開始時における骨盤傾斜角度 ($r=0.758, p<0.05$) および骨盤-大腿部角度 ($r=0.713, p<0.05$) と大殿筋の mEMG の間に有意な正の相関関係が認められた。

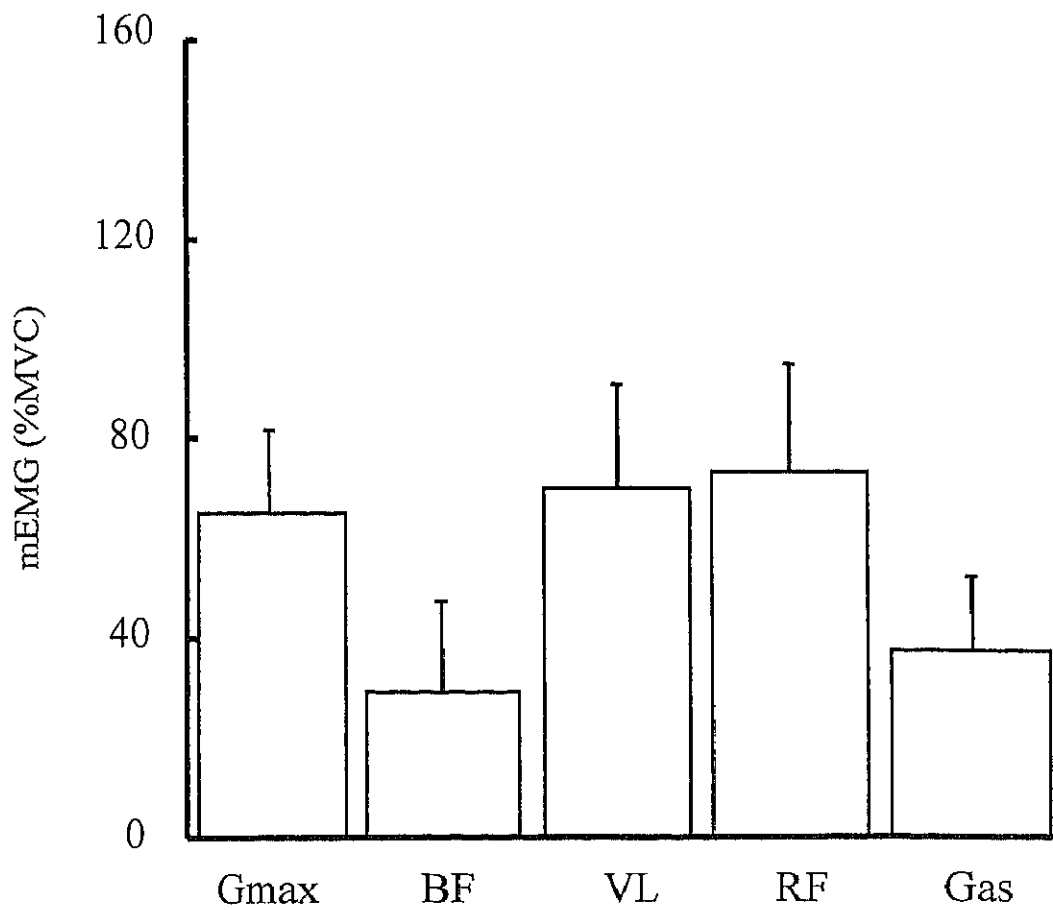


Fig. 8 Comparison of mEMG of the lower extremity muscles during the SJ. Gmax, BF, VL, RF and Gas are gluteus maximus, biceps femoris long head, vastus lateralis, rectus femoris and gastrocnemius, respectively.

Table 5 The correlation coefficients between the posture at the start of push off and mEMG of gluteus maximus and biceps femoris long head in the SJ.

	mEMG	
	Gluteus maximus	Biceps femoris
Pelvis angle	0.758 *	-0.294
Thigh angle	-0.134	0.412
Pelvis-thigh angle	0.713 *	-0.006
Knee angle	-0.254	-0.439

*, $p < 0.05$

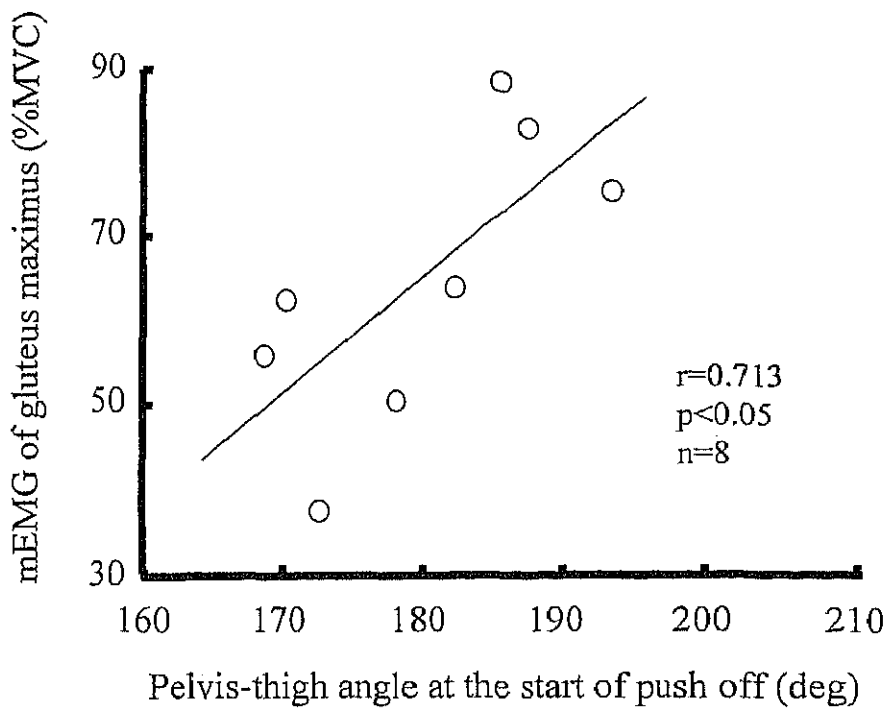
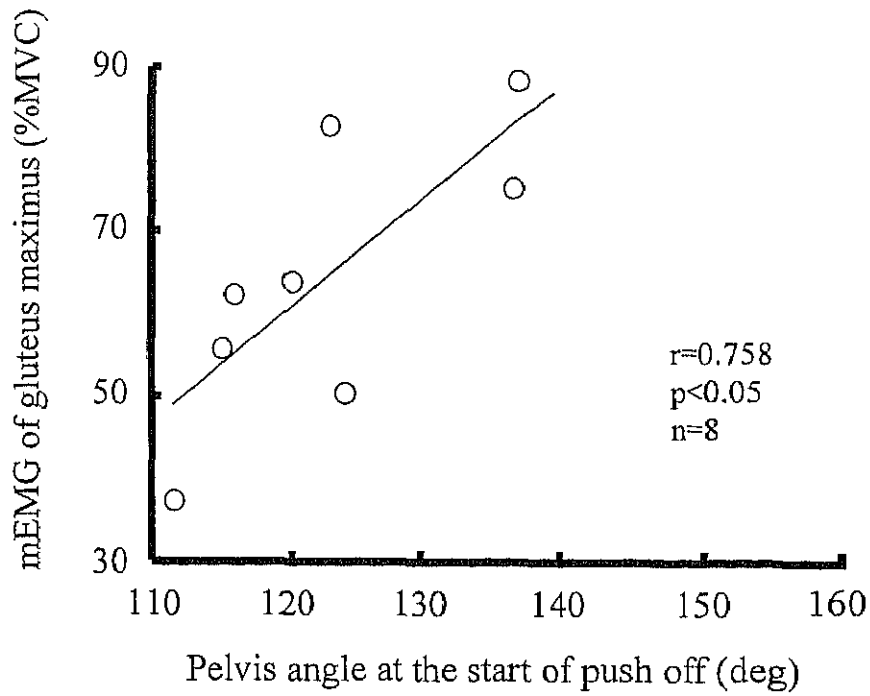


Fig. 9 The relationships between pelvis and pelvis-thigh angle at the start off push off, and mEMG of gluteus maximus in the SJ.

2) CMJ について

身体重心の最下点における膝関節角度は $84.36 \pm 8.80 \text{deg}$ 、骨盤-大腿部角度は $183.14 \pm 12.87 \text{deg}$ 、骨盤傾斜角度は $123.06 \pm 11.62 \text{deg}$ および大腿部角度は $183.14 \pm 12.87 \text{deg}$ であった。

図 10 は、CMJ の伸張局面における下肢筋群の mEMG を示したものである。本研究課題において被験筋として用いた筋群のうち、股関節伸筋群である大殿筋では $42.14 \pm 21.91 \% \text{MVC}$ 、大腿二頭筋長頭では $10.44 \pm 5.76 \% \text{MVC}$ であった。

本研究課題では、CMJ における身体重心の最下点（最大沈み込み時）の身体各部および関節の角度と大殿筋および大腿二頭筋長頭の mEMG との関係を検討したが、両者の間に有意な相関関係は認められなかった。

3) DJ30 について

DJ30 の接地時における骨盤傾斜角度、大腿部角度、膝関節角度および骨盤-大腿部角度は、それぞれ $94.62 \pm 7.56 \text{deg}$ 、 $18.40 \pm 6.15 \text{deg}$ 、 $147.64 \pm 9.27 \text{deg}$ および $113.02 \pm 11.66 \text{deg}$ であった。また、伸張局面における角度変位は、それぞれ $-4.09 \pm 5.59 \text{deg}$ 、 $-6.17 \pm 5.73 \text{deg}$ 、 $-19.16 \pm 9.47 \text{deg}$ および $2.09 \pm 4.39 \text{deg}$ であった。

図 11 は、DJ30 の伸張局面における下肢筋群の mEMG を示したものである。本研究課題において被験筋として用いた筋群のうち、股関節伸筋群である大殿筋では $93.82 \pm 44.28 \% \text{MVC}$ 、大腿二頭筋長頭では $68.57 \pm 22.96 \% \text{MVC}$ であった。

表 6 は、DJ30 の接地時における身体各部の角度と大殿筋の mEMG との相関係数を、図 12 は、DJ30 の接地時における骨盤-大腿部角度、骨盤傾斜角度および大腿部角度と大殿筋の mEMG との関係を示したものである。接地時における骨盤-大腿部角度と大殿筋の

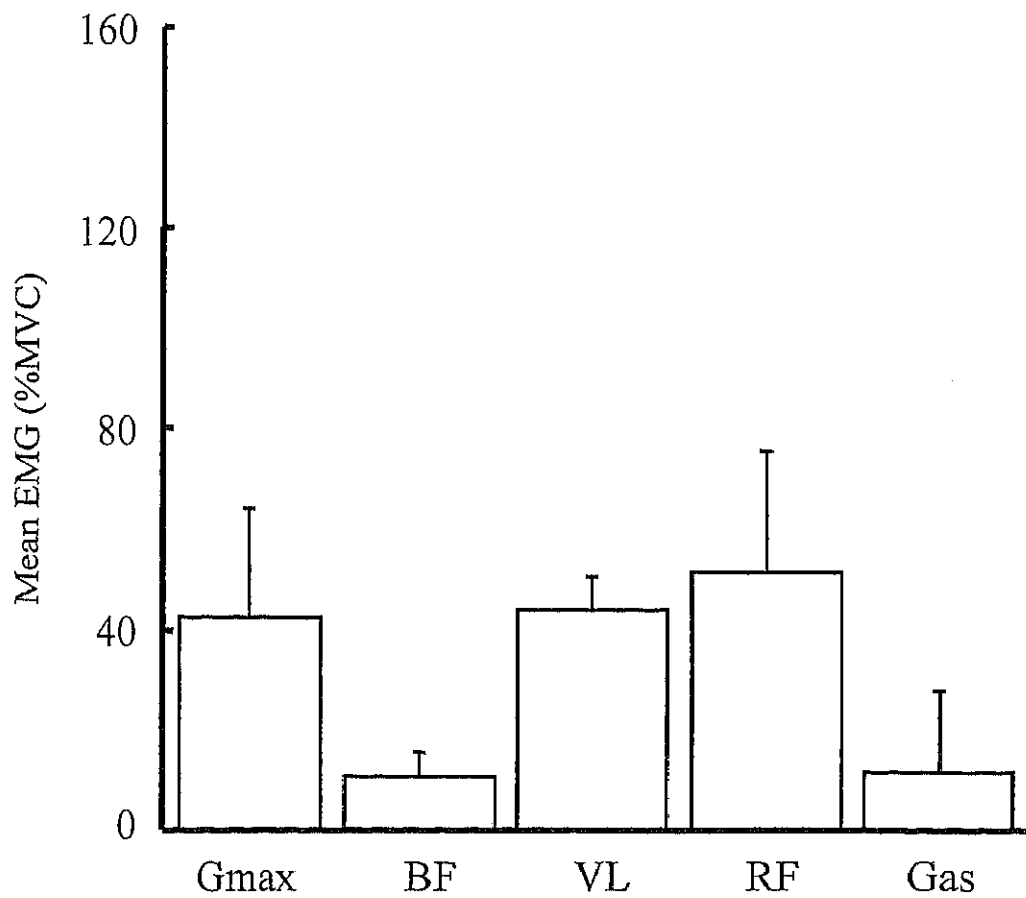


Fig. 10 Comparison of mEMG of the lower extremity muscles during the CMJ. Gmax, BF, VL, RF and Gas are gluteus maximus, biceps femoris, vastus lateralis, rectus femoris and gastrocnemius respectively.

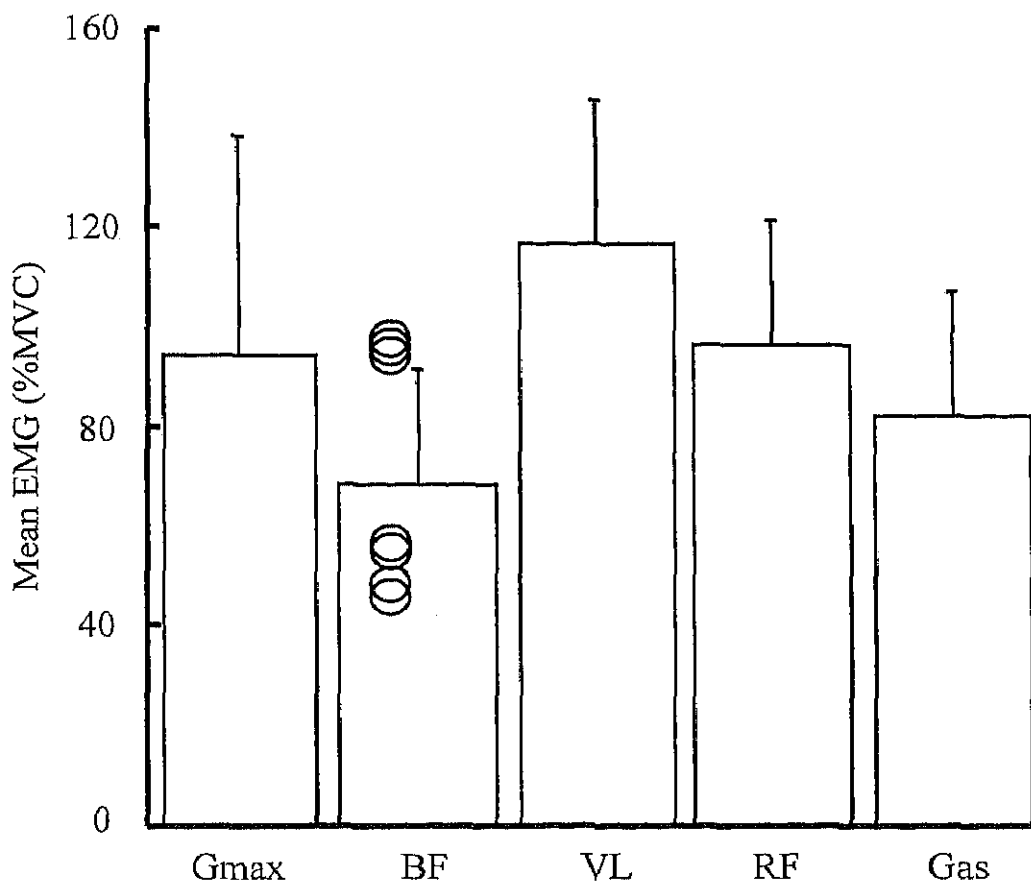


Fig. 11 Comparison of mEMG of the lower extremity muscles during the DJ30. Gmax, BF, VL, RF and Gas are gluteus maximus, biceps femoris, vastus lateralis, rectus femoris and gastrocnemius respectively. ○ ; mEMG of biceps femoris long head of individualy.

Table 6 The correlation coefficients between the posture at the contact and mEMG of gluteus maximus in the DJ30.

	mEMG of Gluteus maximus
Pelvis angle	0.564
Thigh angle	0.636
Pelvis-thigh angle	0.711 *
Knee angle	0.564

*, $p < 0.05$

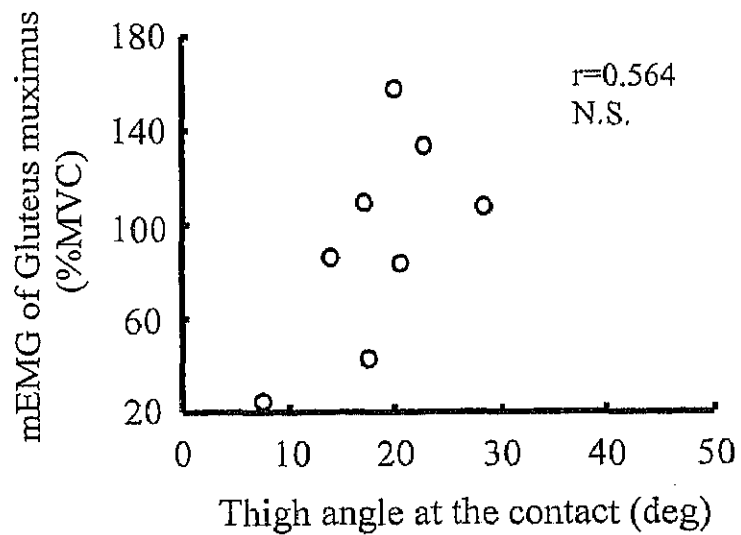
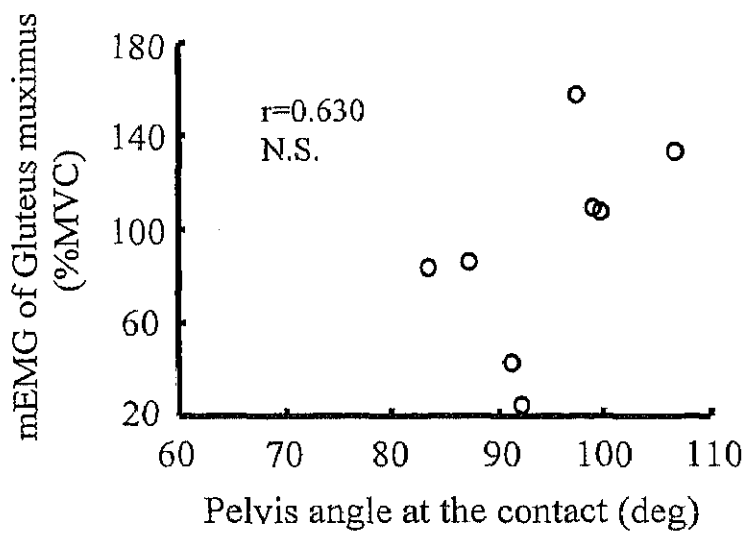
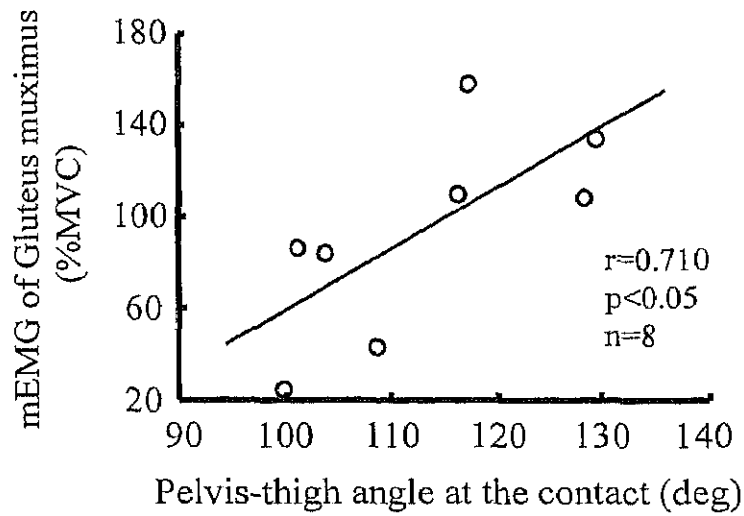


Fig. 12 The relationships between the posture at the contact and mEMG of gluteus muximus in the DJ30.

mEMG との間に有意な正の相関関係が認められた（上図， $r=0.710$, $p<0.05$ ）。しかし，骨盤－大腿部角度を構成する骨盤傾斜角度（中図）および大腿部角度（下図）と大殿筋の mEMG との間に有意な相関関係は認められなかった。

図 11 が示すように，DJ30 の伸張局面における大腿二頭筋長頭の mEMG は，高い値を示した群（以下，上位群と略す）と低い値を示した群（以下，下位群と略す）の二つの群に大別された。それぞれの群における大腿二頭筋長頭の mEMG は，上位群では $95.93\% \pm 1.53\%MVC$ であり，下位群では $52.16\% \pm 4.90\%MVC$ であった。なお，上位群と下位群との間には有意な差が認められた ($t=14.629$, $p<0.01$)。そのために，表 7 には，DJ30 における接地時の膝関節角度，骨盤－大腿部角度，大腿部角度および骨盤傾斜角度と伸張局面における膝関節角度変位，骨盤－大腿部角度変位，大腿部角度および骨盤傾斜角度変位を，大腿二頭筋長頭の活動量が高かった上位群と低かった下位群との二つの群に分けて示した。また，図 13 は，DJ30 における膝関節角度，骨盤－大腿部角度，大腿部角度および骨盤傾斜角度の経時的な変化を，上位群と下位群とに分けて図示したものである。その結果，接地時における骨盤－大腿部角度 ($t=3.513$, $p<0.05$) および骨盤傾斜角度 ($t=3.190$, $p<0.05$) は上位群が下位群と比較して有意に高い値を示したが，膝関節角度および大腿部角度には両群間に有意な差は認められなかった。一方，伸張局面における膝関節角度変位 ($t=3.472$, $p<0.05$) および大腿部角度変位 ($t=3.966$, $p<0.01$) は上位群が下位群と比較して有意に低い値を示し，骨盤傾斜角度変位 ($t=3.307$, $p<0.05$) は上位群が下位群と比較して有意に高い値を示した。なお，骨盤－大腿部角度変位には両群間に有意な差は認められなかった。

Table 7 Comparison about the posture between higher and lower activation group in biceps femoris long head.

	Higher group	Lower group	T-value
Knee joint angle	140.39±10.16	151.99±5.97	-2.081
angular displacement	-10.61±6.27	-25.57±5.71	3.472 *
Pelvis-thigh angle	124.58±7.34	106.08±7.18	3.153 *
angular displacement	1.63±4.37	2.37±4.89	-0.216
	(deg)		
Thigh angle	22.72±5.61	15.81±5.30	1.748
angular displacement	-0.28±3.55	-9.71±3.10	3.966 **
Pelvis angle	101.86±4.22	90.27±5.31	3.190 *
angular displacement	1.35±2.13	-7.34±4.14	3.307 *

**; p<0.01, *; p<0.05

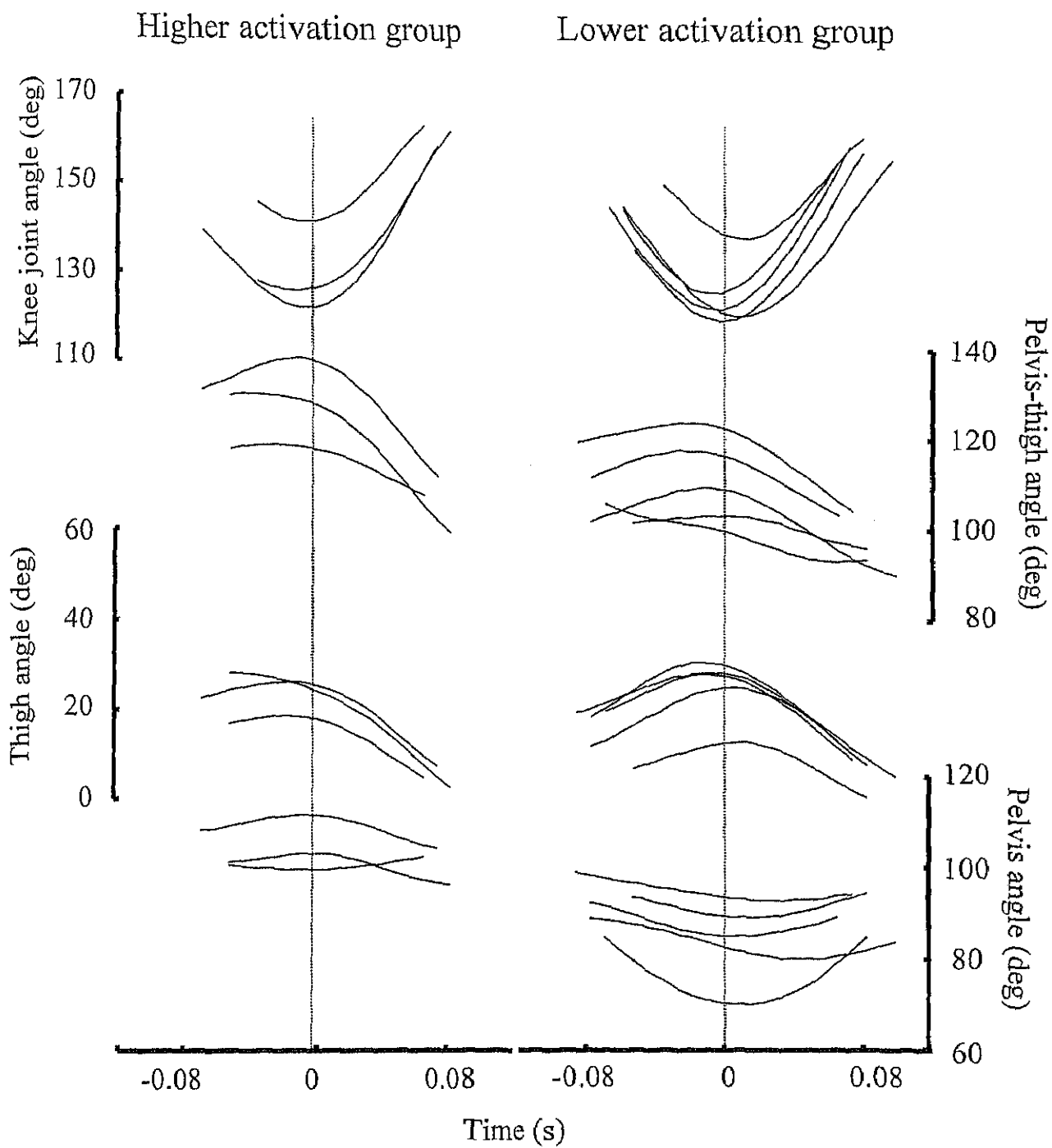


Fig. 13 Mean curves of joint and segment angles about higher and lower activation groups in biceps femoris long head. The dash line is the lowest point of the center of gravity in the contact phase.

4. 考察

(1) 各種ジャンプ運動におけるジャンプパフォーマンスと下肢関節 Kinetics との関係

1) SJにおける跳躍高と下肢関節 Kinetics との関係

SJにおける関節パワーは、股関節、膝関節および足関節の順に立ち上がる傾向が認められた(図5)。このような位相のずれが認められたことは、運動連鎖(Putnam, 1991; 1993)または二関節筋による関節間のエネルギーの流れ(Gregoire et al., 1984; Bobbert and Ingen Schenau, 1988; Ingen Schenau, 1989; Jacobs and Ingen Schenau, 1992; Jacobs et al., 1993; 1996; Raasch et al., 1997)と呼ばれる現象により、股関節で発揮されたパワーが、膝関節を介して足関節へ順次加算あるいは伝達されていたことを示すものである。また、SJの跳躍高と下肢関節 Kinetics との相関関係を検討した結果、足関節が発揮した関節トルクおよび関節パワーとの間に有意な正の相関関係が認められたが、膝および股関節の発揮した関節トルクおよびパワーとの間には有意な相関関係は認められなかった(表2)。これらのことから、SJにおいて、まず股関節伸展筋群が大きな筋出力を発揮し、その出力が順次加算されて足関節に伝達されていたこと、そして最終的には、下肢筋群の筋出力を地面に伝える役割を担う足関節の出力が、SJの跳躍高に影響を及ぼすことが示唆された。

これらの結果をまとめると、構造的に下肢の近位に位置する股関節伸展筋群の筋出力が、膝関節を介して下肢の遠位に位置する足関節底屈筋群の筋出力に影響を及ぼす可能性が示唆される。

2) CMJにおける跳躍高と下肢関節 Kinetics との関係

CMJにおいても SJと同様に、股関節、膝関節および足関節の順にパワーが立ち上がっ

ている傾向が認められた(図6)。したがって、SJと同様にCMJにおいても、運動連鎖(Putnam, 1991; 1993)または二関節筋による関節間のエネルギーの流れ(Gregoire et al., 1984; Bobbert and Ingen Schenau, 1988; Ingen Schenau, 1989; Jacobs and Ingen Schenau, 1992; Jacobs et al., 1993; 1996; Raasch et al., 1997)と呼ばれる現象により、股関節で発揮されたパワーが、膝関節を介して足関節へ順次加算あるいは伝達されていた可能性が示された。しかし、CMJの跳躍高と下肢関節の平均関節トルクおよびパワーとの関係を検討した結果、両者の間に有意な相関関係は認められなかった(表3)。これらのことは、CMJにおいて、ある単一の関節のトルクやパワー、そしてその平均値や総量などはCMJの跳躍高に影響を及ぼしていないことを示すものである。CMJはSJとは異なり、筋を一旦伸張させた後で短縮させるSSC運動である。そのために、伸張から短縮へ切り替わるタイミングや下肢関節間の関節パワーの位相ずれ、つまり股関節伸展筋群の発揮した筋出力を順次加算して足関節へ伝達させる能力が、CMJの跳躍高に影響を及ぼしていたことが推測される。しかし、これについては、推測の域を超えることは出来ず、今後さらに検討する必要がある。

3) DJ30におけるDJ-indexと下肢関節Kineticsとの関係

DJ30においては、関節パワーの立ち上がりは、股関節が膝関節および足関節と比較して早い傾向が認められた(図7)。このような傾向は、SJおよびCMJと類似した傾向であり、運動連鎖(Putnam, 1991; 1993)または二関節筋による関節間のエネルギーの流れ(Gregoire et al., 1984; Bobbert and Ingen Schenau, 1988; Ingen Schenau, 1989; Jacobs and Ingen Schenau, 1992; Jacobs et al., 1993; 1996; Raasch et al., 1997)と呼ばれる現象により、股関節で発揮されたパワーが、膝関節および足関節へ順次加算あるいは伝達されていた可能性を示すもの

である。また、DJ-index と下肢関節 Kinetics との相関関係を検討した結果、DJ-index と伸張局面において股関節が発揮した平均パワー ($r=0.725$, $p<0.05$) との間に有意な正の相関関係が認められたことは興味深い (表 4)。平均パワーが高いことは、負の仕事が小さいことを示すことから、この結果は、DJ-index と股関節の負の仕事との間に有意な負の相関関係が認められたことを示した図子と高松 (1995b) の報告と一致する。図子と高松 (1995b) は、DJ-index と股関節の負の仕事との間に有意な負の相関関係が認められたことを受けて、DJ のような接地時間の短い運動においては、モーメントの大きい股関節を動員すべきでないとして解釈している。しかし、本研究課題で得られた結果から、DJ30 において高い DJ-index を得るために、股関節は伸張局面においても可能な限り屈曲させず、他の関節に先立って股関節が正のパワーを発揮する必要があると解釈することが適切であると考えられる。したがって、DJ-index と股関節の負の仕事との間に有意な負の相関関係が認められたことは、股関節が他の関節に先立ってパワーを立ち上げようとした結果、伸張局面においても股関節が他の関節と比較して屈曲しなかったためであり、高い DJ-index を示すためには、股関節を硬く利用することが要求されると解釈することができよう。

これらの結果は、股関節も足および膝関節と同様に DJ のジャンプパフォーマンスに大きな影響を及ぼしていることを示唆するものであり、DJ において股関節の働きを軽視することはできないことを示している。また、伸張局面とは準備局面であり、股関節とは構造的に下肢の近位に位置する関節である。このことから、伸張局面における股関節の働きは、準備局面における下肢の構造的な近位として位置づけられる。したがって、上述の結果から、準備局面における下肢の構造的に近位の働きが、主要局面における遠位の働きに影響

を及ぼし、さらにはジャンプパフォーマンスに影響を及ぼす可能性のあることが示唆された。

(2) 運動開始時の構えと股関節伸展筋群の mEMG との関係

前述のように、準備局面である伸張局面における、構造的に近位に位置付けられる股関節の働きが、主要局面である短縮局面における、遠位の足関節の働きに影響を及ぼし、さらにはジャンプパフォーマンスに影響を及ぼす可能性のあることが示唆された。そこで、本研究課題では股関節伸展動作に大きく関与する大殿筋と大腿二頭筋長頭に着目し、筋出力の発揮に影響を及ぼす要因を、SJ では運動開始時、CMJ では最大沈み込み時、およびDJ30 では接地時の構えに着目して検討した。

第一に、SJ における運動開始時の構えと大殿筋および大腿二頭筋長頭の mEMG との関係を検討した。その結果、SJ の開始時における骨盤-大腿部角度と大殿筋の mEMG との間に有意な正の相関関係が認められた (図 9)。これは、SJ を骨盤-大腿部を伸展させた状態で開始することで、大殿筋の起始と停止との距離が長くなり、受動的な張力が増大したことで、筋活動量が増大したためであると推測することができる。骨盤の傾斜と筋張力との関係について、先行研究では骨盤前傾型ストレッチが後傾型ストレッチと比較して有意にハムストリングの柔軟性を向上させたことが報告されている (Sullivan et al., 1992)。この報告では、ハムストリングの起始が骨盤にあり停止が腓骨にあることから、骨盤が前傾することによって起始と停止との距離が増加したために筋張力が高まったと説明されている。

また、SJにおいて、骨盤傾斜角度と大殿筋の mEMG との間に有意な正の相関関係が認められたが、大腿部角度と大殿筋の mEMG との間に有意な相関関係は認められなかった。これは、SJ 開始時の膝関節角度を 100 度に規定したことによって、大腿部によって骨盤－大腿部を伸展させることができなかつたためであろう。

第二に、CMJ における最大沈み込み時の構えと大殿筋および大腿二頭筋長頭の mEMG との関係を検討した。その結果、最大沈み込み時での骨盤－大腿部角度、膝関節角度、骨盤傾斜角度および大腿部角度と大殿筋および大腿二頭筋長頭の mEMG との間に有意な相関関係は認められなかった。しかし、この結果から、構えが下肢筋群の筋出力に影響を及ぼしていないと解釈することは必ずしも適切ではない。構えと下肢筋群の mEMG との間に有意な相関関係が認められなかったことは、CMJ のような下肢筋群が大きく伸張される運動においては、筋が受動的な張力を得たことで、筋活動量が低下したためであると推測される。Kawakami et al. (2002) は、反動動作を伴う足関節底屈運動を行わせた場合、伸張局面において筋が受動的な張力を得ることによって、筋活動量が低下したことを報告している。したがって、今後、CMJ のような大きく筋が伸張されるような運動における筋出力の指標として、EMG 以外の手段を用いる必要がある。

第三に、DJ30 における接地時の構えと大殿筋および大腿二頭筋長頭の mEMG との関係を検討した。その結果、接地時の骨盤－大腿部角度と大殿筋の mEMG との間に有意な正の相関関係が認められた (図 12)。これは、SJ と同様の結果である。したがって、DJ30 においても、SJ と同様に、骨盤－大腿部を伸展させた状態で接地することで、大殿筋の起始と停止との距離が長くなり、高い筋張力を得たために筋活動量が増大したことが推測される。

骨盤-大腿部を伸展させた状態で接地することは、図子ら（1996）の報告した、DJにおける膝関節の予備動作と同様の効果を期待したものであると考えられる。図子ら（1996）は、DJにおいて高いパフォーマンスを発揮できる者は、膝関節を予め屈曲させた状態で接地していたことを報告している。このことは、個人がもっとも大きな力を発揮することができる膝関節角度、つまり膝関節周りの筋群の最適な筋張力を得て接地することの重要性を示すものであると考えられる。したがって、本研究課題においても、骨盤-大腿部を伸展させた状態で接地することで、大殿筋が最適な筋張力を得て接地することを可能にしたものと考えられる。

また、DJ30における大腿二頭筋長頭の筋活動については、図 11 に示したように、大腿二頭筋長頭の高い筋活動を示した上位群と低い筋活動を示した下位群とに分かれる傾向が認められた。そこで、大腿二頭筋長頭における mEMG の上位群と下位群とに分けて、両群間の接地時における膝関節および骨盤-大腿部角度の差異を検討した。その結果、膝関節角度は、両群間に有意な差は認められなかったが、上位群は下位群と比較して接地時における骨盤-大腿部が伸展していることが認められた（図 13）。このことは、上位群は骨盤-大腿部の角度を大きくすることによって、大腿二頭筋長頭を引き伸ばし、筋活動量を高めていたことを示唆するものである。また、骨盤-大腿部角度を構成する骨盤と大腿部の個々についても検討した結果、上位群は下位群と比較して骨盤が前傾していたが、大腿部については両群間に差は認められなかった（図 13）。このことは、上位群は骨盤を前傾させることによって、骨盤-大腿部角度を大きくしていたことを示唆するものである。

さらに本研究課題では、伸張局面における骨盤-大腿部角度変位および膝関節角度変位

についても検討した。その結果、骨盤-大腿部角度変位には両群間に有意な差は認められなかったが、骨盤-大腿部を構成する骨盤および大腿部の個々については、上位群が下位群と比較していずれも角度変位が小さかった(図13)。また、上位群は下位群と比較して、膝関節角度変位も小さいことが認められた。これらのことは、上位群は下位群と比較して伸張局面において接地時の構えを維持していた可能性を示唆するものである。先行研究において、脚全体を一本のばねとみなして身体重心の鉛直下方向への変位と脚が発揮した力との関係について、Leg stiffness という指標を用いて検討されている。これは、脚全体が発揮した力(地面反力の最大値)を身体重心の沈み込みの距離で除することによって算出されるもので、この値が大きいと硬いばねのような動き、逆に小さいと軟らかいばねのような動きであると評価することができる。Arampatzis et al. (2001) は、DJ40 における Leg stiffness と外側広筋およびハムストリングスの筋活動との間に有意な正の相関関係が認められたことを報告している。これは、接地中、ハムストリングスは膝関節および股関節の伸展に、外側広筋は膝関節の伸展に作用するために、ハムストリングおよび外側広筋の活動が大きい者ほど膝および股関節の屈曲角度変位を小さくすること、つまり脚全体を硬いばねのように動かすことが可能になることを示している。この結果は、本研究課題において認められたように、大腿二頭筋長頭の高い mEMG を示した者が姿勢の変化を示す指標である角度変位が小さかったことを支持するものである。このことから、DJ30 における大腿二頭筋長頭の mEMG と接地時の構えおよび接地中の姿勢変化との関係についてまとめると、接地時において予め骨盤を前傾させて、骨盤-大腿部を伸展させた状態で接地することによって大腿二頭筋長頭の適切な筋張力が得られ、これにより大腿二頭筋長頭の高い

mEMG が得られたものと考えられる。

これらのことから、SJ および DJ30 において、運動開始時の構えが股関節伸展筋群の筋出力の発揮に影響を及ぼす可能性が示唆された。

5. 要約

本研究課題の目的は、ジャンプ運動におけるジャンプパフォーマンスと下肢関節 Kinetics との関係を検討すること、さらに、股関節伸展筋群の筋出力に影響を及ぼす要因について、運動開始時の構えに着目して検討することであった。被験者には大学陸上競技部に所属する男性 8 名（年齢：23.00±2.13 歳，身長：1.77±0.04m，身体質量：70.16±5.15kg）を用い、SJ、CMJ および DJ30 を行わせた。なお、SJ では踏切に要した時間を 100%に規格化し、CMJ および DJ30 においては、伸張局面および短縮局面に要した時間を 50%ずつに規格化した。

主な結果は以下の通りである。

- ① SJ における関節パワーの立ち上がりは、股関節、膝関節および足関節の順に早い傾向が認められた。
- ② SJ の運動開始時における骨盤傾斜角度および骨盤-大腿部角度と大殿筋の mEMG の間に有意な正の相関関係が認められた。
- ③ CMJ における関節パワーの立ち上がりは、股関節、膝関節および足関節の順に早い傾向が認められた。
- ④ DJ30 における関節パワーの立ち上がりは、股関節が膝および足関節と比較して早い傾

向が認められ、DJ-index と伸張局面において股関節が発揮した平均関節パワーとの間に有意な正の相関関係が認められた。

⑤ DJ30 において、接地時における骨盤-大腿部角度と大殿筋の mEMG との間に有意な正の相関関係が認められた。

⑥ DJ30 における接地時の骨盤傾斜角度は、伸張局面での大腿二頭筋長頭の mEMG が高い上位群が低い下位群と比較して有意に高い値を示し、伸張局面における骨盤傾斜角度変位は上位群が下位群と比較して有意に低い値を示した。

以上の結果から、ジャンプ運動において準備局面での筋出力が主要局面での筋出力に影響を及ぼす可能性のあること、また構造的に下肢の近位の筋出力が遠位の筋出力に影響を及ぼす可能性のあることが示唆された。また、SJ および DJ30 において股関節伸展パワーの発揮に関与する大殿筋および大腿二頭筋長頭の筋出力を効果的に引き出すための一つの方法として、SJ では試技開始時に、DJ30 では接地時に骨盤を前傾させておくことが挙げられた。