

Ⅲ. 股関節の定義の相違が股関節伸展筋群の筋-腱複合体長の推定値に及ぼす影響 (研究課題 1)

1. 目的

下肢の一部に位置づけられる骨盤は、多くの股関節周りの筋群の起始部（大殿筋では腸骨翼外面および仙結節靭帯、大腿直筋では下前腸骨棘および寛骨臼より上部の腸骨、大腿二頭筋では坐骨結節）であると同時に、腹直筋および脊柱起立筋の停止部でもある。そのため、骨盤傾斜角度は下肢筋群の MTC 長に大きな影響を及ぼすことが考えられる。しかし、現在までに行われてきたバイオメカニクス的研究では、骨盤の動きに着目されることは少なかった。これは、先行研究において、体幹の前傾と骨盤の前傾との間には互いに連動しあう関係が認められている (Oddsson and Thorstensson, 1986; Yasukouchi and Isayama, 1995; Levine and Whittle, 1996) ことから、体幹の前傾が骨盤の前傾を反映していると仮定しているためであると考えられる。しかし、体幹の前傾と骨盤の前傾との間に認められている互いに連動しあう関係は、ある身体動作において体幹が前傾すると骨盤も前傾することを示しているのであって、体幹の前傾角度変位と骨盤の前傾角度変位とが同じであることを示したものではない。また、解剖学的に考えると、脊柱は 32 から 34 個の椎骨から構成されていること、および脊柱と骨盤も仙腰関節を作って連結していることから脊柱は剛体ではなく、体幹の前傾角度変位と骨盤の前傾角度変位とが同じであることは考えにくい。そのために、下肢筋群における MTC 長の推定式では、股関節角度を骨盤と大腿部とがなす角度（以下、Pelvis-based hip angle; P-B 股関節）と定義している (Frigo and Pedotti, 1978;

Nemeth and Ohlsen, 1985; Hawkins and Hull, 1990; Visser, et al., 1990). しかし、これまでに、MTC 長の推定式を用いて、ランニングや走幅跳、CMJにおける MTC 長の変化および筋の収縮速度を検討した研究においては、股関節を体幹と大腿部とがなす角度（以下、Trunk-based hip angle; T-B 股関節）として定義し、これを基に MTC 長を推定している (Gregoire et al., 1984; Simonsen et al., 1985; Jacobs et al., 1993; 飯干ほか., 1995; 馬場ほか, 2000). 前述のとおり、体幹の前傾角度変位と骨盤の前傾角度変位が同じではない可能性が考えられるので、股関節角度として、T-B 股関節角度を用いた場合と P-B 股関節角度を用いた場合では、推定された MTC 長が大きく異なる可能性も考えられる。

股関節周りの筋群の中でも、ハムストリングスは股関節と膝関節にまたがる二関節筋であり、両関節間におけるトルクや仕事を分配する役割を担っている (Bobbert and Ingen Schenau, 1988; Jacobs and Ingen Schenau, 1992; Jacobs et al., 1996). また、大殿筋も、ハムストリングスとともに股関節の伸展に作用していることから、ヒトの運動において身体重心の推進力を発揮する働きを担っている (Montgomery et al., 1994; Arampatzis et al., 2001). そのため、ハムストリングおよび大殿筋の MTC 長の変化について誤った解釈をすれば、ヒトの運動のメカニズム等に対して誤解を招く恐れが考えられる。したがって、T-B 股関節角度すなわち体幹と大腿部とがなす角度と、P-B 股関節すなわち骨盤と大腿部とがなす角度との変位の差異、およびそれぞれの定義による股関節角度を基に推定したハムストリングスおよび大殿筋の MTC 長の差異について、予め把握しておく必要がある。

そこで本研究課題では、CMJ での T-B 股関節角度変位と P-B 股関節角度変位との差異を明らかにすること、および大殿筋および大腿二頭筋の MTC 長を T-B 股関節および P-B

股関節を基に算出し、その差異を明らかに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性 10 名 (年齢: 22.52 ± 2.14 歳, 身長: 1.80 ± 0.11 m, 身体質量: 68.53 ± 4.81 kg) を用いた。被験者には、実験に先立ち、研究の目的、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、すべての被験者は実験運動である CMJ 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 CMJ を行わせた。CMJ は、腰に手を当てた状態で行わせ、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) の方法に基づいて決定し、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、8～15Hz であった。

(4) 算出項目および算出方法

1) 跳躍高

地面反力のデータを基にして、滞空時間を求めた。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。

上述の方法によって定義された滞空時間 (Air time; T_a) および重力加速度 (g) を用いて、以下の式により跳躍高 (Jumping height; JH) を算出した。

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

2) 下肢関節角度

図 1 は、本研究課題において用いた関節角度の定義を示したものである。本研究課題では、股関節の定義として、T-B 股関節、P-B 股関節および骨盤－大腿部を用い、その角度を算出した。T-B 股関節は、体幹を胸骨上縁と大転子とを結ぶ線分とし、これと大腿部とがなす角度として定義した。また、P-B 股関節は、骨盤を上前腸骨棘と上後腸骨棘との中点と大転子とを結ぶ線分とし、これと大腿部とのなす角度と定義した。さらに、骨盤－大腿部角度は、骨盤を上前腸骨棘と上後腸骨棘とを結ぶ線分とし、これと大腿部とのなす角度と定義した。

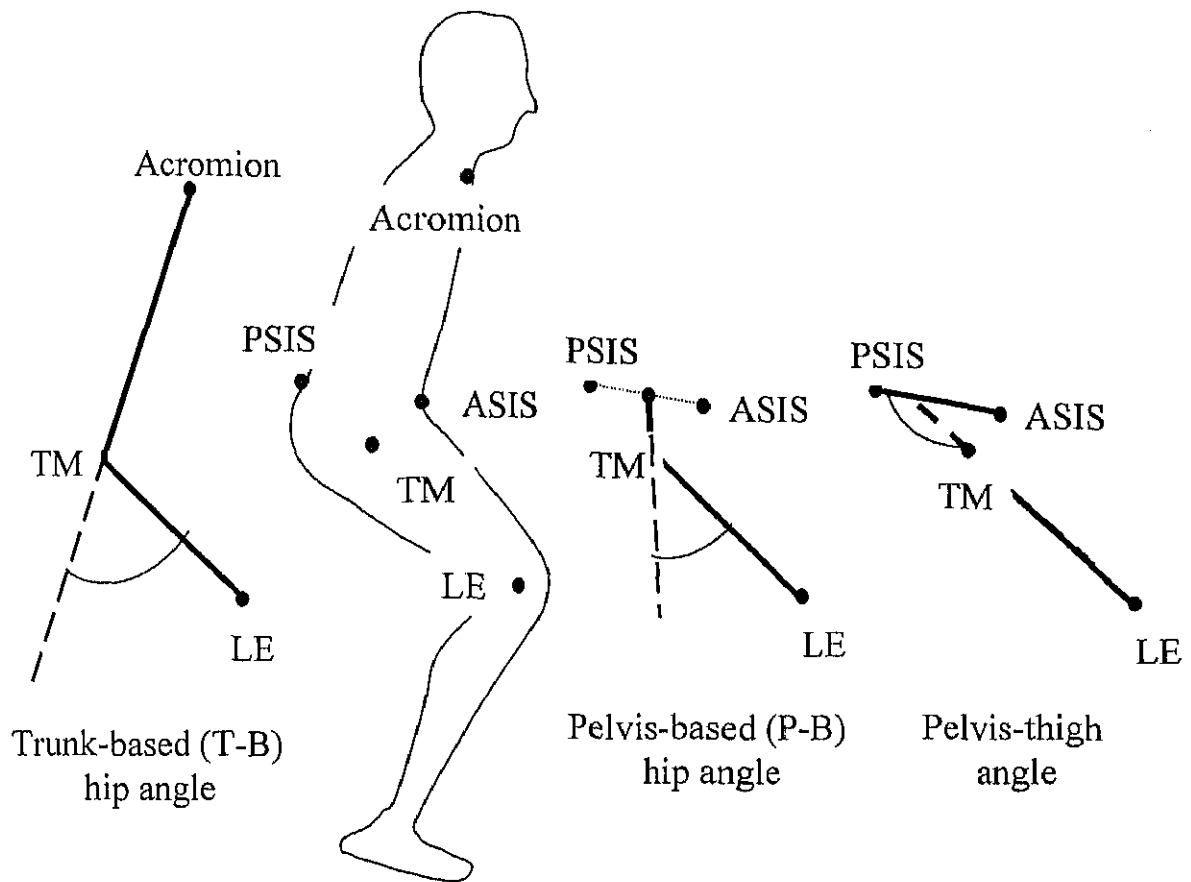


Fig. 1 Definition of two types of hip and pelvis-thigh angle.
 ASIS, PSIS, TM and LE are anterior superior iliac spine,
 posterior superior iliac spine, trochanter major and lateral epicondyle of
 femur, respectively.

3) 股関節伸展筋群における MTC 長の推定

本研究課題では、T-B 股関節を基にした場合と、P-B 股関節を基にした場合とについて、大腿二頭筋長頭は Hawkins and Hull (1990)が作成した推定式 (1), 大殿筋は Nemeth and Ohlsen (1985)が作成した推定式 (2) を用いて MTC 長をそれぞれ算出した。

$$\text{大腿二頭筋の MTC 長(\%大腿部長)} = (1.048 + 0.00209\alpha - 0.0016\beta) \times 100 \dots (1)$$

$$\text{大殿筋の MTC 長 (\%大腿部長)} = 100 + (13.99\alpha - 8.5\alpha^2 + 0.68\alpha^3) \dots (2)$$

このとき、 α は股関節角度、 β は膝関節角度である。ただし、大殿筋の推定式 (Nemeth and Ohlsen, 1985)は、股関節角度が最大伸展位を 180deg とし、単位を radian として作成されていたために、本研究課題では最大伸展位を 0deg とし単位を degree に変換した。

(5) 分析区間

研究における分析データは、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、およびそれ以降を短縮局面とし、それぞれに要した時間を 50%ずつに規格化した。

(6) 統計処理

CMJ での T-B 股関節角度と P-B 股関節角度との関係については、ピアソンの相関係数を算出した。また、CMJ での T-B 股関節角度変位と P-B 股関節角度変位との差、および T-B 股関節角度と P-B 股関節角度を用いて算出された MTC 長の差の検定には対応のある T 検定を用いた。

なお、T-B 股関節角度と P-B 股関節角度との関係、および T-B 股関節角度と P-B 股関節角度を用いて算出された MTC 長の差については、-50、-25、0、25 および 50%時点において検討した。いずれも有意性は危険率 5%未満で判定した。

3. 結果

CMJ における跳躍高は $0.48 \pm 0.06\text{m}$ であった。図 2 は、CMJ における T-B 股関節、P-B 股関節および骨盤-大腿部角度の経時的な変化、および T-B 股関節と P-B 股関節を用いて推定した大殿筋および大腿二頭筋長頭の MTC 長の経時的な変化を示したものである。

T-B 股関節角度、P-B 股関節角度および骨盤-大腿部角度ともに、伸張局面 (-50%~0%) において屈曲し、短縮局面 (0%~50%) において伸展していたが、T-B 股関節の角度変位は P-B 股関節の角度変位と比較して大きいことが認められた。また、P-B 股関節の角度変位と骨盤-大腿部の角度変位には大きな差は認められず、P-B 股関節角度と骨盤-大腿部角度の波形は非常に類似していた。なお、CMJ の伸張局面における T-B 股関節の角度変位は $99.87 \pm 8.63\text{deg}$ 、P-B 股関節の角度変位は $55.86 \pm 9.86\text{deg}$ および骨盤-大腿部角度変位は $71.53 \pm 6.26\text{deg}$ であった。また、短縮局面における T-B 股関節の角度変位は $91.36 \pm 10.20\text{deg}$ 、P-B 股関節の角度変位は $55.96 \pm 12.11\text{deg}$ および骨盤-大腿部角度変位は $66.79 \pm 9.31\text{deg}$ であった。

大殿筋の MTC 長は T-B 股関節を基に推定した場合および P-B 股関節を基に推定した場合ともに、CMJ の伸張局面において伸張し、短縮局面において短縮していることが認められたが、前者の場合は後者の場合と比較して -50%時点を除いた全ての時点において有意に

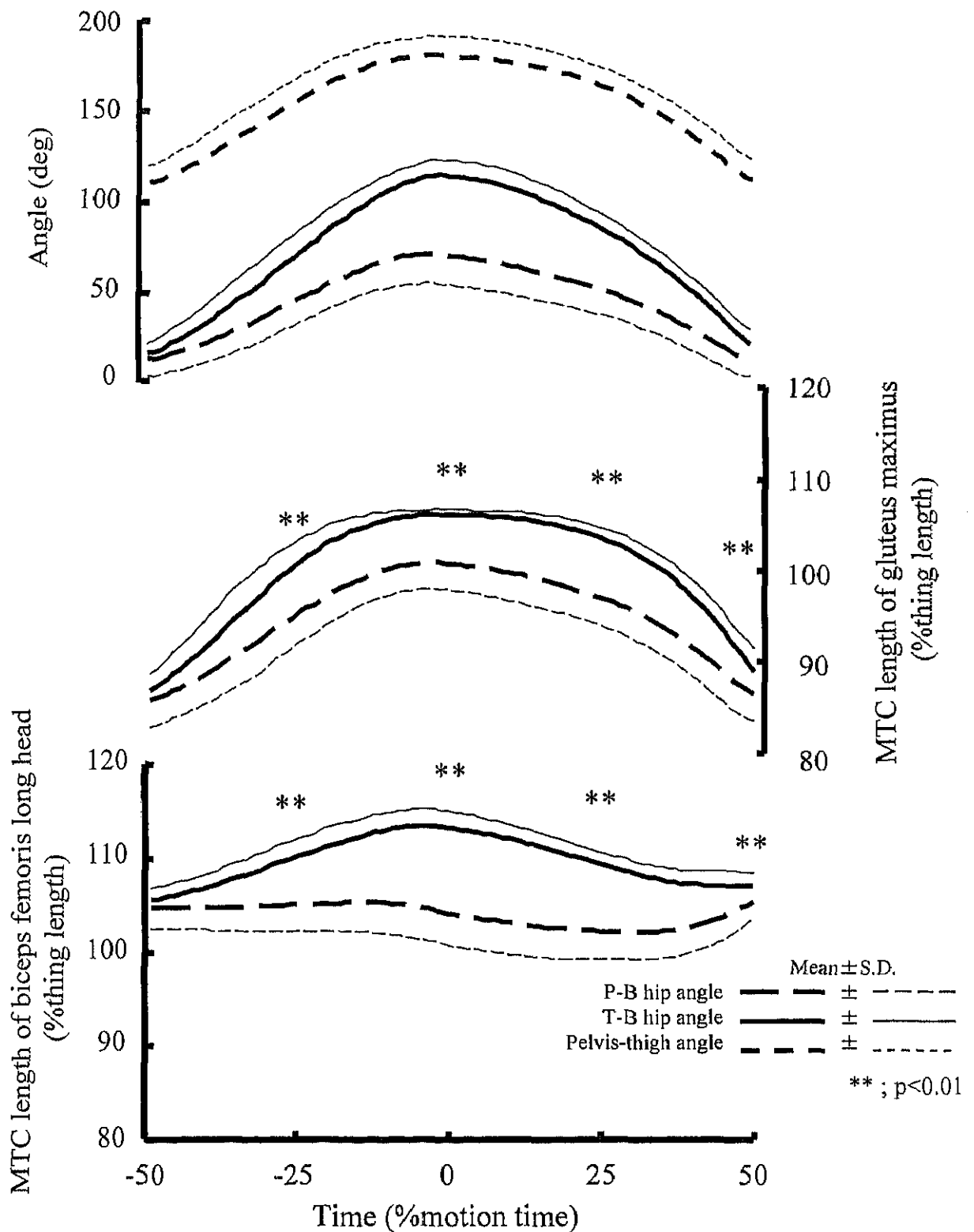


Fig. 2 Mean curves of normalized hip joint angles, muscle tendon complex (MTC) lengths of biceps femoris long head and gluteus maximus during the CMJ.

高い値を示した。一方、大腿二頭筋長頭の MTC 長は T-B 股関節を基に推定した場合には CMJ の伸張局面において伸張し、短縮局面において短縮していることが認められたのに対して、P-B 股関節を基に推定した場合にはほとんど長さ変化が認められなかった。なお、大腿二頭筋長頭の MTC 長も T-B 股関節を基に推定した場合は、P-B 股関節を基に推定した場合と比較して、-50%時点を除いた全ての時点において有意に高い値を示した。

表 1 は、-50%、-25%、0%、25%、25%および 50%時点における、P-B 股関節と T-B 股関節角度および P-B 股関節と骨盤-大腿部角度との相関係数を示したものである。P-B 股関節と T-B 股関節角度との間には、-50 および 50%において有意な正の相関関係が認められたが、それ以外の時点については両者の間に有意な相関関係は認められなかった。また、P-B 股関節と骨盤-大腿部角度との間には、0%時点を除く全ての時点において有意な正の相関関係が認められた。なお、0%時点においても、相関係数は 0.614 ($p=0.058$) であった。

4. 考察

CMJ での T-B 股関節と P-B 股関節の角度変化は異なる波形を示し、T-B 股関節の角度変位は、P-B 股関節の角度変位と比較して高い値を示した (図 2)。具体的には、CMJ において沈み込みの開始から身体重心の最下点までの間に、T-B 股関節は約 120deg 屈曲したにもかかわらず、P-B 股関節は約 60deg しか屈曲しなかったことになる。さらに、T-B 股関節角度と P-B 股関節角度との相関関係を検討した結果、-50%および 50%時点を除くすべての時点において、両者の角度には有意な相関関係は認められなかった。これらのことは、CMJ において T-B 股関節と P-B 股関節とは、一方が屈曲すると他方も屈曲するような

Table 1. The correlation coefficients between pelvis-based (P-B) and trunk-based (T-B) hip angles, and between pelvis-based (P-B) and pelvis-thigh angles.

Motion time	Correlation coefficient	
	P-B hip angle and T-B hip angle	P-B hip angle and pelvis-thigh angle
-50%	0.666 *	0.717 *
-25%	0.590	0.766 *
0%	0.213	0.614 †
25%	0.520	0.761 *
50%	0.923 **	0.884 **

**; p<0.01, *, p<0.05, †; p<0.10

連動する関係にあるが、T-B 股関節角度変位と P-B 股関節角度変位は同じではないことを示すものである。また-25%から 25%時点までにおいて、P-B 股関節と T-B 股関節との間に有意な相関関係が認められなかったことは、推定式などを用いてどちらか一方の股関節角度から他方の股関節角度を推定することが困難であることも示している。したがって、T-B 股関節と P-B 股関節とは本質的に異なるものであり、運動における股関節の定義として、T-B 股関節ではなく、P-B 股関節を用いる必要のあることが示唆された。

T-B 股関節と P-B 股関節の一边は、同じ定義による大腿部であることから、T-B 股関節と P-B 股関節の角度差は、体幹前傾角度と骨盤前傾角度の差である。したがって、CMJ において、T-B 股関節角度変位と P-B 股関節角度変位が同じではないことは、体幹傾斜角度変位と骨盤傾斜角度変位が同じではないことを示している。体幹傾斜角度変位と骨盤傾斜角度変位が同じではない理由として、以下のことが考えられる。バイオメカニクスの画像分析においては、分析を容易にするために、体幹を脊柱と骨盤とによって構成される剛体であると仮定している。しかし、実際には、脊柱は約 32 個の椎骨によって構成されていることから大きく湾曲すること、および脊柱と骨盤とは仙腰関節をつくって連結していることから、体幹は一つの剛体であるとは言えない。このことから、体幹が前傾したとしても骨盤が前傾しない可能性が考えられるのである。

さらに、本研究課題では、ヒトの代表的な股関節伸展筋群である大殿筋および大腿二頭筋長頭の MTC 長を T-B 股関節と P-B 股関節それぞれの角度定義を用いて推定した場合の差異を具体的に検討した。その結果、図 2 に示したように、大殿筋の MTC 長は、いずれの股関節角度を基に推定した場合も CMJ の伸張局面において伸張し、短縮局面において短

縮していることが認められた。これに対して、大腿二頭筋長頭の MTC 長は、T-B 股関節を基に推定した場合には、CMJ の伸張局面において伸張し、短縮局面において短縮していることが認められたが、P-B 股関節を基に推定した場合には MTC の長さ変化は認められなかった (図 2)。このことは、CMJ の伸張局面において、大腿二頭筋長頭は T-B 股関節を基にした場合には伸張性の筋収縮をしていると解釈できるのに対して、P-B 股関節を基にした場合には等尺性の筋収縮をしていると解釈できることを意味しており、同一の筋であったとしても股関節の定義が異なることによって、その収縮様式ですら誤って解釈する可能性のあることを示唆するものである。

大殿筋および大腿二頭筋の解剖学的な構造を考慮すると、P-B 股関節が T-B 股関節と比較して、より適切な股関節の定義であると考えられる。したがって、P-B 股関節を基に推定した大腿二頭筋長頭の MTC 長の変化、すなわち、CMJ において大腿二頭筋長頭は等尺性収縮をしていると解釈することが解剖学的な見地からは適切であろう。運動中の二関節筋の MTC 長について、Johnson and Buckley (2001) は、スプリント走の回復期後半において、ハムストリングスは等尺性収縮をしていたことを報告している。これは、大腿二頭筋が股関節と膝関節にまたがる二関節筋であり、股関節と膝関節の同時屈曲および同時伸展がおこる運動においては MTC 長が変化しないためであると考えられる。このように、多関節運動において二関節筋が長さ変化をせずに活動することによって、二関節筋は関与する関節間にパワーを伝達するという特徴的な役割を担っている (Van Ingen Schenu et al., 1992)。

本研究課題では、P-B 股関節において、骨盤を上前腸骨棘と上後腸骨棘との中点と大転

子とを結ぶ線分と定義したが、いくつかの先行研究では、骨盤を上前腸骨棘と上後腸骨棘とを結ぶ線分と定義している (Franklin et al., 1995; Levine and Whittle, 1996) (図 1 を参照)。

骨盤の定義としては、その形状から、上前腸骨棘と上後腸骨棘とを結ぶ線分と定義し、骨盤傾斜角度を鉛直線となす角度とすることが、運動において骨盤の角度変位を連想しやすいことが考えられる。そのために、以後の研究課題においては、骨盤を上前腸骨棘と上後腸骨棘とを結ぶ線分と定義することとする。また、股関節伸展筋群の MTC 長に影響を及ぼす起始側の関節として、上述の骨盤の定義を用いた骨盤-大腿部角度を算出した。この角度は、骨盤と鉛直線とがなす角度と大腿部と鉛直線とがなす角度を加えた値であり、運動における股関節伸展筋群の MTC 長に影響を及ぼす起始側の関節として、その角度変位を連想しやすいものと考えられる。そこで、本研究課題において、CMJ における P-B 股関節の代わりに骨盤-大腿部を用いることの妥当性について検討した。その結果、CMJ において、骨盤-大腿部角度は P-B 股関節角度と同様の波形を示し (図 2)、P-B 股関節角度との間に有意な正の相関関係が認められた (表 1)。図 3 に示したように、骨盤-大腿部角度は、P-B 股関節角度に、 $\angle \alpha$ を加えた角度である。 $\angle \alpha$ は、上後腸骨棘-上前腸骨棘と上後腸骨棘との中点-大転子であり、骨盤と大転子との位置関係によって決定される。したがって、両者の位置関係が変化しなければ α は変化しない。実際には、骨盤と大転子との位置関係がわずかに変化し、 α はわずかに変化することから、骨盤-大腿部と P-B 股関節の角度変位は必ずしも完全に一致するとは限らないが、両者は非常に類似した角度変位を示すことが考えられる。このことから、P-B 股関節の解剖学的な特性を反映する関節として、骨盤-大腿部を利用することが可能であることが示唆された。

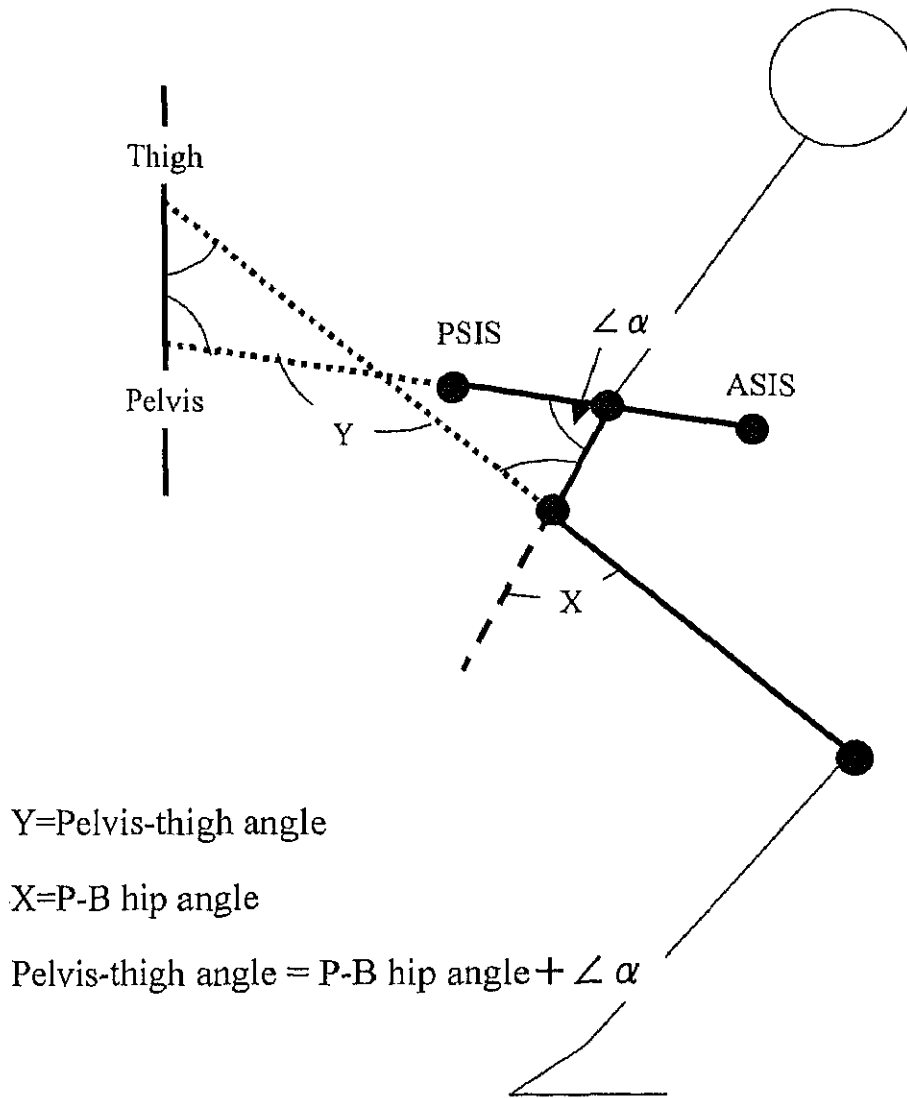


Fig. 3 The relationship between pelvis-thigh and pelvis-based (P-B) hip angles.

以上の結果をまとめると、CMJにおいては、T-B 股関節角度変位と P-B 股関節角度変位との差は大きく、体幹前傾角度変位と骨盤前傾角度変位が同じではない可能性が示唆された。したがって、運動中における骨盤を起始にもつ筋群、なかでも股関節伸展筋群の運動における役割、収縮様式および筋にかかる負荷の特性等を検討する際には、骨盤傾斜角度に着目する必要がある。

5. 要約

本研究課題の目的は、CMJ での T-B 股関節角度変位と P-B 股関節角度変位との差異を明らかにすること、および大殿筋および大腿二頭筋の MTC 長を T-B 股関節および P-B 股関節を基に算出し、その差異を明らかにすることであった。被験者には大学陸上競技部に所属する男性 10 名（年齢：22.52±2.14 歳，身長：1.80±0.11m，身体質量：68.53±4.81kg）を用い、腕の振込み動作を用いない最大努力での CMJ を行わせた。なお、CMJ の伸張局面と短縮局面をそれぞれ 50%ずつに規格化した。

主な結果は以下の通りである。

- ① CMJ における T-B 股関節角度と P-B 股関節角度は異なる波形を示した。
- ② CMJ の伸張局面における T-B 股関節の角度変位は 99.87±8.63deg, P-B 股関節の角度変位は 55.86±9.86deg であった。また、短縮局面における T-B 股関節の角度変位は 91.36±10.20deg, P-B 股関節の角度変位は 55.96±12.11deg であった。
- ③ CMJ における T-B 股関節角度と P-B 股関節角度との間には、-50%および 50%時点を除く全ての時点においては有意な相関関係が認められなかった。

- ④ 大腿二頭筋長頭の MTC 長は T-B 股関節を基に推定した場合には CMJ の伸張局面において伸張し、短縮局面において短縮していることが認められたのに対して、P-B 股関節を基に推定した場合にはほとんど長さ変化が認められなかった。

以上の結果をまとめると、CMJ において体幹前傾角度変位と骨盤前傾角度変位とは大きく異なることが示された。このことから、運動中における骨盤を起始にもつ股関節伸展筋群の収縮様式や筋にかかる負荷の特性等を検討する際には、骨盤傾斜角度に着目する必要があることが示唆された。