

X. 討論

本章では、運動開始時の構えが下肢筋群の筋出力および運動パフォーマンスに及ぼす影響について考察し、それを基に実践現場への示唆および今後の課題について考察することとする。

(1) 運動開始時の構えが下肢筋群の筋出力および運動パフォーマンスに及ぼす影響

現在までに行われてきたバイオメカニクス的研究では、体幹を脊柱と骨盤を含む剛体と仮定している。しかし、解剖学的に考えると、脊柱と骨盤は仙腰関節を作って連結していることから、体幹は剛体ではない。そのために、体幹を脊柱と骨盤を含む剛体と定義した場合の体幹前傾角度変位と骨盤前傾角度変位との差異について予め把握する必要がある。もし、両者の差異が無視することのできないほど大きなものであるとすれば、体幹を脊柱と骨盤を含む剛体と仮定するのではなく、骨盤の動きそのものに着目する必要がある。これらのことをふまえて、研究課題 1 では、CMJ における体幹を基にした股関節 (T・B 股関節) 角度変位と骨盤を基にした股関節 (P・B 股関節) 角度変位との差異、および大殿筋と大腿二頭筋長頭の MTC 長を T・B 股関節および P・B 股関節を基に算出し、その差異について検討した。その結果、CMJ における T・B 股関節角度の変化と P・B 股関節角度の変化は大きく異なる波形を示し、その角度変位は、T・B 股関節では $99.87 \pm 8.63 \text{deg}$ 、P・B 股関節では $55.86 \pm 9.86 \text{deg}$ であり、大きく異なることが認められた。さらに、T・B 股関節角度と P・B 股関節角度のそれぞれを基にして、大腿二頭筋長頭の MTC 長を推定した。その結果、T・B

股関節を基に推定した大腿二頭筋長頭は一旦伸張した後、短縮することが認められたが、P-B 股関節を基に推定した大腿二頭筋長頭では、ほとんど長さ変化が認められなかった。これらの結果は、体幹が前傾していることと、骨盤が前傾していることは本質的に異なることを示しており、運動における股関節伸展筋群の動態を把握するためには、体幹の前傾に伴い骨盤が前傾しているか否かについて検討する必要があることを示している。また、これらの結果は、運動における技術的な課題の一つとして、運動開始時の骨盤の傾斜に着目する必要のあることを示唆している。

股関節は下肢の近位に位置し、大腿二頭筋や大殿筋等の大筋群が跨っているものの、筋に対する腱の割合が非常に小さいために、バネというよりは大きなトルクの出力源としての役割を果たしている。また、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の出力が遠位に位置する膝および足関節に伝達する可能性も考えられる。

これらのことをふまえて、研究課題 2・1 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 との関係を検討した。その結果、全てのジャンプ運動 (SLJ, CMJ および DJ30) において、下肢関節の発揮した関節パワーの立ち上がりは、股、膝および足関節の順に早い傾向にあることが認められた。さらに、DJ30 において、伸張局面における股関節が発揮した関節パワーと DJ-index 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。これらのことは、ジャンプ運動においては、股関節から膝および足

関節へのエネルギーまたはパワーの伝達が起こっていたことを示唆している。また、これらのことは、運動パフォーマンス、または下肢全体の力・パワー発揮や下肢全体の動きの向上または改善を目指す際に、股関節周りの筋群の筋出力や股関節（骨盤と大腿部）の動きを改善することが有効な手立てであることも示唆している。

研究課題 2-1 において、主要局面に関する問題点の解決を準備局面に見出したこと、また、足関節の出力に関する問題点の解決を股関節の出力に見出したことは意義深い。しかし、準備局面とは言え、そこでの動きは自動化されている可能性が考えられる。したがって、準備局面の股関節に関する問題点を、運動開始時の構えに見出す必要がある。そこで、ジャンプ運動開始時の構えと股関節伸展筋群の筋出力との関係についても検討した。その結果、SJ において、運動開始時の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 ($r=0.758, p<0.05$)、DJ30 においても、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 ($r=0.710, p<0.05$)。これらのことは、運動開始時において予め骨盤を前傾させておくことが、運動中（準備局面および主要局面）における股関節伸展筋群の高い筋出力を得るための有効な方法の一つであることを示唆している。

さらに、これらの結果を受けて、研究課題 3-1 および 3-2 においては、運動開始時に骨盤を前傾させるための手段または方法について検討した。研究課題 3-1 では、運動開始時に骨盤を前傾させることを目的として「胸を張って、視線を前方においた構えをとる」という指示を考案し、その効果を検討した。その結果、SLJ ではこの指示によって、運動開始時の骨盤が前傾したことが示された。また、この指示によって短縮局面の前半まで骨盤

が前傾しつづけ、これにより大殿筋および大腿二頭筋長頭が受動的な張力を得たことが示された。そして、これが、SSC 運動の効果によって、離地直前における骨盤-大腿部の高い角速度の獲得につながり、結果的に跳躍距離が向上したものと考えられる。しかし、CMI では、指示により運動開始時の骨盤を前傾させることは可能であったが、運動中に骨盤を前傾させることが困難であることが示された。このために、離地直前における骨盤-大腿部の角速度が変化せず、跳躍高が向上しなかったものと考えられる。このことは、運動開始時の構えを変化させることは比較的容易であるが、この変化を運動中にまで持続させることが困難であることを示している。したがって、今後、運動開始時の構えの変化を運動中にまで持続させることを目的とした長期的なトレーニングの効果についても検討する必要がある。また、胸を張り視線を前方においた構えとは、指導現場においては「腰を入れろ」と指示されることもあり、今後、この指示の効果についても検討する必要がある。

運動開始時の構えを変化させるための手段として、上述のような言語指示以外に、試技条件の変化、つまり道具や器具などによって強制的に構えを変化させることも可能であろう。そこで、研究課題 3-2 では、5 秒間の全力ペダリング運動におけるシート高の変化が運動開始時の構え、ペダリングパワー出力および下肢筋群の筋出力に及ぼす影響について検討した。その結果、ペダリング開始 3 回転までの最大パワーは、シート高を高く設定した試技 (High) が低く設定した試技 (Low) と比較して有意に高い値を示した。また、骨盤傾斜角度は、High および基準となる試技 (Middle) が、Low と比較して有意に高い値を示し、膝関節の最大伸展角度および屈曲角度は、High, Middle および Low の順に有意に高値を示した。さらに、大腿二頭筋長頭における mEMG は、High が Low と比較して有意に

高値を示した。これらの結果から、5秒間の全力ベダリング運動において、シート高を変化させることで骨盤傾斜角度を始めとする運動開始時の構えが変化し、股関節伸展筋群が受動的な張力を得たことにより最大パワーが変化する可能性が示唆された。

運動開始時の構えと股関節伸展筋群の筋活動量との関係について、研究課題 2-1 では運動開始時の骨盤の前傾が大きい者ほど、股関節伸展筋群の筋活動が大きいという関係が認められた。しかし、研究課題 3-1 では言語指示によって運動開始時の骨盤を前傾させることができた試技で股関節伸展筋群の筋活動が小さくなるという傾向が認められた。このように、運動開始時の構えと股関節伸展筋群の筋活動量との関係について、個人間で検討した場合（研究課題 2-1）と個人内で検討した場合（研究課題 3-1）とを考察することで、有用な知見を導くことができる。

骨盤の前傾と股関節伸展筋群の受動的な張力との関係については、個人間（研究課題 2-1）で検討した場合も、個人内（研究課題 3-1）で検討した場合も、骨盤の前傾に伴い股関節伸展筋群の MTC 長が増大し受動的な張力が高まるという点では一致している。しかし、受動的な張力と筋活動との関係については、個人間の比較では股関節伸展筋群が高い受動的な張力を得ていた者は高い筋活動を示し、これとは逆に、個人内の比較では股関節伸展筋群が高い受動的な張力を得たことで筋活動が低下した。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。この報告は、骨盤の前傾によって股関節伸展筋群の受動的な張力が高まったことにより、少ない筋活動で運動を遂行することが可能になることを示すものであり、骨盤を前傾することによって効率的に運動が遂

行できたことを示すものでもある。このように、運動開始時の構えと股関節伸展筋群の筋活動量との関係について、個人間の比較では、骨盤の前傾によって受動的な張力を得た個人は、受動的な張力を得ることができなかった個人と比較して、筋活動量が増大することが示唆された。また個人内では、骨盤の前傾によって受動的な張力を得た場合、受動的な張力を得なかった場合と比較して筋活動量が減少することが示唆された。このように、運動開始時の構えが下肢筋群の筋出力に及ぼす影響について、個人間および個人内で検討したことは意義深いことであった。

以上の結果から、運動における最も基礎的な技術的課題の一つとして運動開始時の構え、特に骨盤の前傾に着目する必要があることが示唆された。また、運動開始時の構えを修正したとしても、それを運動中にまで持続させることが困難であることが示唆された。したがって、今後、運動開始時の構えに関する修正点を運動中にまで持続させることを目的とした長期的なトレーニングの効果についても検討する必要がある。

(2) 実践現場への示唆

走運動やジャンプ運動に代表される下肢関節全体の伸展運動において、高いパフォーマンスを獲得するための要因として、足部のスナップによる力・パワー発揮が挙げられる。このスナップ力に直接的な影響を及ぼす要因は、足関節底屈筋群による正の力・パワー発揮能力である。したがって、コーチまたは指導者は、この問題の解決を試みる場合、「足関節でしっかり地面を蹴る」といった足関節に着目した直接的な指示をすることも多いようである。しかし、本研究の結果から、伸張局面における股関節のパワー発揮が短縮局面に

おける足関節のパワー発揮に影響を及ぼしている可能性が示唆された。このことは、伸張局面における股関節のパワー発揮能力を改善しなければ、短縮局面における足関節のパワー発揮能力は改善しない可能性を示している。したがって、足関節のスナップ力の改善を試みる場合、第一に、伸張局面における股関節の力・パワー発揮能力に目を向けることが有効であることが考えられる。さらに、研究課題 3-1 および 3-2 では、運動開始時の骨盤を前傾させることで股関節伸展筋群の受動的な張力が高まり運動パフォーマンスが高まる可能性のあることが示された。したがって、本研究の結果から、足関節のスナップ力の改善を試みる場合に、「胸を張り、視線を前方においた構え」がとれているか否かについて注目することが有効であることが示唆された。

研究課題 3-1 および 3-2 は、運動開始時において骨盤を前傾させることの効果を実験的に立証したものであり、指導現場において応用することが可能であることを示すものである。したがって、陸上競技のスプリント種目におけるスターティング・ブロックを用いたスタート、スキージャンプ競技、ラグビーのスクラムや相撲の立ち合い等の下肢関節の伸展動作が中心となる運動において、下肢全体の力・パワー発揮能力、さらには運動パフォーマンスの向上および改善に対して、運動開始時の構え、特に骨盤の前傾に着目することが有効である可能性が示唆された。そして、骨盤を前傾させるための指示としては、「胸を張り、視線を前方においた構えをとる」という指示が有効であることが示唆された。

骨盤の前傾が、股関節伸展筋群の効果的な筋出力発揮につながるということは、骨盤の前傾によって股関節伸展筋群の選択的な動員が可能になることを示している。したがって、胸を張り視線を前方においた構えをとり、骨盤を前傾させることによって、下肢筋群の筋

カトレーニング種目において、股関節伸展筋群を選択的に動員し、意図的に負荷をかけることが可能になることも考えられる。この方法は、動作そのものを大きく変える必要がなく、また様々なトレーニング種目においても応用することが可能である。具体的には、スクワット、レッグランジやフライング・スプリットなどにおいても胸を張り視線を前方においた構えをとり、骨盤を前傾させることで股関節伸展筋群を選択的に動員することが可能になるであろう。

「胸を張る」といった指示は、実践現場において頻繁に用いられており、運動において骨盤の前傾が重要な役割を担っていることも実践現場では知られていた。したがって、本研究は、「胸を張る」という指示および骨盤の前傾の効果について、実践的な知識の裏づけを科学的に行ったに過ぎない。その結果、「胸を張り、視線を前方におく」ことにより、骨盤が前傾し、これにより股関節伸展筋群の受動的な張力が高まり、SSC運動の効果によって、股関節伸展筋群の大きなパワー発揮が可能になることが示唆された。つまり、骨盤の前傾は股関節伸展筋群の受動的な張力を高めるため、そして、胸を張ることは骨盤を前傾させるためであったことが示唆された。このように、本研究は、実践的な知識が的確であったことを科学的に証明した点で非常に意義深い。

(3) 今後の課題

本研究の目的は、下肢筋群の筋出力に影響を及ぼす要因を運動開始時の構えに着目して検討することであった。

本研究では、全ての研究課題において、被験者に男性を用いた。しかし、骨盤の形状に

は男女差が認められること（カレ，2003）から，骨盤の傾斜と下肢筋群の受動的な張力との関係についても，男女で異なる関係が見られる可能性が考えられる．したがって，今後，女性を対象に検討する必要がある．

1) 研究課題 1

研究課題 1 の目的は，CMJ における，体幹を基に定義した股関節（T-B 股関節）と骨盤を基に定義した股関節（P-B 股関節）との角度変位の相違を明らかにすることであった．本研究課題においては，二つの定義による股関節角度変位の差異を検討することを目的としたために，この差異が跳躍高に及ぼす影響等については検討しなかった．しかし，股関節伸展筋群の受動的な張力を得るためには，体幹を前傾させることと比較して，骨盤を前傾させることが有効であることが示唆されたことから，今後，T-B 股関節と P-B 股関節との角度変位の差と CMJ の跳躍高との関係についても検討する必要がある．

2) 研究課題 2

研究課題 2 の目的は，運動開始時における構えの相違が下肢筋群の筋出力および運動パフォーマンスに及ぼす影響について検討することであった．研究課題 2 では，運動開始時の構えとして骨盤の傾斜に着目したが，脊柱の湾曲には着目しなかった．これは，カメラ等の撮影機材の限界により，脊柱の湾曲を定量化することが困難であったためである．しかし，脊柱の湾曲と骨盤の傾斜との間に因果関係が認められている（Levine and Whittle, 1996）ことから，今後，脊柱の湾曲についても検討する必要がある．

3) 研究課題 3 について

研究課題 3-1 においては，ジャンプ運動において骨盤を前傾させることを目的とした「胸

を張って、視線を前方においた構えをとる」という指示を行い、その効果を検討した。本研究では、「胸を張って、視線を前方においた構えをとる」という指示以外の指示は考案していない。そのために、これ以外の指示（具体的には「腰を入れる」）を考案し、その有効性等について検討する必要がある。また、「胸を張って、視線を前方においた構えをとる」という指示の効果をジャンプ運動以外の運動において検討する必要もあろう。さらに、本研究では、骨盤を前傾させることを目的とした指示による構えの変化について、被験者全員の傾向を基に検討したが、姿勢や構えには個人に最適なものが存在することが考えられ、この最適な姿勢や構えが個人によって大きく異なることも考えられる。したがって、今後、個人に最適な姿勢や構えを探る取り組みも必要である。

研究課題 3-2 においては、5 秒間の全力ペダリング運動におけるシート高の変化が運動開始時の構え、下肢筋群の筋出力およびペダリングパワー出力に及ぼす影響について検討した。運動において用いる道具によって構えが規定される運動は、ペダリング運動以外に、陸上競技短距離種目におけるスターティング・ブロックを使用した疾走などが挙げられる。したがって、今後、スターティング・ブロックの設定を変化させることによって構えを意図的に変化させ、このが下肢筋群の発揮する筋出力に及ぼす影響についても検討する必要がある。

現在までに行われている運動開始時の構えや運動中の姿勢に関する研究は非常に少ない。このことから、上述した課題以外にも、解決すべき多くの課題が残されていると考えられる。したがって、今後、これらの課題を解決し、より多くのスポーツ種目に、またより多

くの個人に応用することが可能な知見を得る必要がある。