

I. 緒 言

1. 研究の必要性および検討すべき問題点

ヒトの locomotion における筋活動には、等尺性 (Isometric)、伸張性 (Eccentric) および短縮性 (Concentric) の3つのタイプの筋収縮が利用される。これらのタイプの筋収縮は、単独で生じることはほとんどなく、いくつかの筋収縮が複合している。特に、伸張性収縮が短縮性収縮に先立つ場合が多く、その際の伸張性収縮による負荷（伸張負荷）が短縮局面におけるパワー発揮および機械的効率に影響を与えるといわれている (Kyröläinen et al., 1991; Komi, 1984b)。このような筋の伸張および短縮が複合された運動は、伸張－短縮サイクル (Stretch-Shortening Cycle; SSC) 運動と呼ばれている (Komi and Buskirk, 1972)。

ヒトの基本的な locomotion であるランニングおよびジャンプを、下肢における筋の収縮様式に着目してみると、腓腹筋－アキレス腱複合体 (Gastrocnemius Muscle-Achilles Tendon Complex; MTC) は、着地とともに伸張され、主運動局面の開始とともに短縮される典型的な SSC 運動を行っている。特に、下肢は大きな弾性組織であるアキレス腱を有していることから、着地衝撃を吸収し、動きのパフォーマンスを高めるのに重要な役割を果たしている。したがって、下肢における SSC 運動の遂行能力を適切に保持増進させていくことは、各種スポーツ競技において優れたパフォーマンスを発揮するのに欠かせないことである。SSC 運動の伸張負荷様式を利用する筋力・パワーのトレーニング法として、

プライオメトリックトレーニング（プライオメトリックス）があげられる。特に、下肢におけるSSC運動の遂行能力を高めるためのプライオメトリックス手段の一つとして、陸上競技の跳躍選手および球技選手は、リバウンドジャンプ（Rebound Jump; RJ）を行っている。RJは、下肢の3関節の中でも、足関節に作用するMTCが発揮したトルクによる負の仕事が大きいことが認められている（図子・高松, 1995a; Bobbert et al., 1987）。また、RJのようなバリスティックなSSC運動は、伸張性収縮から短縮性収縮への移行が素早く行われるために、弾性エネルギーを有効に利用できる（Thys et al., 1975）。弾性エネルギーの貯蔵・再利用には、腱の役割が重要であることから（Bobbert et al., 1986b），アキレス腱が付着している足関節は、RJのパフォーマンスの向上に大きく貢献していると考えられる。これらのことから、RJは、MTCの構造的および機能的な特徴を大きく反映する跳躍運動であると考えられる。

一方、ヒトのlocomotionを制御する一つの要因として、筋stiffnessの調節があげられる。筋stiffnessは、発揮された力のレベルを反映するものであると考えられている（van Ingen Schenau, 1984）。筋stiffnessの調節は、歩行、ランニング、ジャンプなどの踏切局面における身体のバランス維持や、動作速度または不規則な着地面などの状況変化に対する適切な補償機能として重要な役割を果たしている（Gollhofer et al., 1984）。SSC運動の有効性は、一つには、伸張負荷の強度に起因する伸張反射によって筋stiffnessの調節が合目的的に遂行された場合にのみ生じ、またその筋stiffnessがSSC局面全般を通して維持された場合にのみ生じるといわれている（Gollhofer et al., 1992）。したがって、SSC運動の遂行能力を高めるためには、一つには、伸張反射を利用して筋stiffnessを合目的的に強化することが重要である。特に、RJは、接地時に、主働筋である

MTCに大きな伸張負荷がかかるために腓腹筋のstiffnessを効果的に強化することができる。このために、実際のトレーニングでは、伸張反射機構を有効に機能させることによって、腓腹筋のstiffnessをいかに合目的的に強化することができるかが重要な課題となる。伸張反射は、筋の伸張量や伸張速度に影響されることから (Ettema et al., 1990; Aura and Komi, 1986; Cavagna et al., 1968)、傾斜面、特に上向き斜面でのRJは、足底屈筋群の伸張量や伸張速度を大きくできる可能性を備えたSSC運動であると考えられる。傾斜面を利用したプライオメトリックスは、足底屈筋群に対してより大きな伸張負荷を与えることができ、SSC運動の遂行能力を効果的に高めるための手段になるのではないかと考えられる。また、傾斜面へ着地することによって、関節角度、筋の伸張量や伸張速度などの身体の変化を感じる体性知覚（固有受容）の発達も促されることから、神経・筋・腱系の調節機構も有効に改善できるものと考えられる。

SSC運動において筋が発揮した張力は、腱や韌帯を介して外部に伝達される。このために、筋とそれに直列に付着している腱を1つの複合体として仮定し、SSC運動中の筋-腱複合体の長さ-力関係、および力-速度関係を明らかにすることは、筋のstiffnessレベルや腱の弾性特性、あるいはさまざまな動きの条件下での神経筋活動を理解するための重要な情報を与えてくれる (Gollhofer et al., 1992)。

以上のことから、傾斜面でのRJにおけるMTCの負荷特性を明らかにすることは、各種スポーツの場におけるSSC運動の遂行能力を高めるためのトレーニング手段として活用するための有用性を提示できるものであると考えられる。さらには、SSC運動中の下肢の筋骨格系における構造的要素と機能的要素の相互関係を理解するのに役立つものであると考えられる。

下肢におけるSSC運動の遂行能力を高めるためのプライオメトリックスの代表的な手段の一つとして、RJがある。RJは、ある高さの台から飛び下り即座に飛び上がるリバウンド型一回ドロップジャンプ、およびリバウンド型連続ジャンプに大きく分けられる。リバウンド型一回ドロップジャンプは、必要とされる筋の収縮様式、筋力発揮時間、各筋群の活性化状態などが、陸上競技の跳躍種目における踏切の特性に類似していることから、トレーニング手段としてのみでなく、テスト運動としてもよく用いられている（図子ら、1993；Bobbert, 1990b）。リバウンド型一回ドロップジャンプを行う場合には、台高の高さ、身体に負荷する重りの有無などを多様に変化させることによって、伸張負荷の強度を容易に調節することができる。一方、その場でのリバウンド型連続ジャンプは、これによる跳躍高とほぼ同じ高さの台高からのリバウンド型一回ドロップジャンプと比較して、伸張負荷の強度に大きな差はみられないと考えられる。しかし、連続跳躍するために、跳躍トレーニング経験のない非鍛錬者でも伸張負荷に対する適応が可能であると考えられる。これらのこととは、RJをプライオメトリックス手段として用いるためには、プライオメトリックスのねらいに合致した運動特性になるように、伸張負荷強度、跳躍方法、跳躍トレーニング経験などを考慮することが極めて重要であることを示している。したがって、傾斜面でのRJをトレーニング手段として用いる際にも、上述した様々な条件を考慮する必要があると考えられる。

これらのこと考慮したうえで、本研究では、傾斜面でのRJにおける負荷特性を、伸張負荷強度の相違、跳躍方法の相違、跳躍トレーニング経験の相違に着目して検討した。また、傾斜面でのRJにおけるMTCの構造的要素と機能的要素の相互関係、すなわちMTCの動態がアキレス腱の発揮張力に及ぼす影響につ

いても検討した。これらのこととを明らかにすることによって、足底屈筋群におけるSSC運動の遂行能力を高めるためのトレーニングに有効な知見が得られると考えられる。

2. 研究目的および研究課題

(1) 研究目的

本研究の目的は、傾斜面でのリバウンドジャンプにおける負荷特性を明らかにし、腓腹筋のstiffnessを合目的的に高めることができるとトレーニング手段を確立するための基礎的な知見を得ることである。

(2) 研究課題

本研究では、上述した目的を達成するために、傾斜面でのリバウンドジャンプにおける負荷特性を、健常者および競技者を対象にして検討した。

本研究の目的を達成するために、以下に示す2つの研究課題を設定した。

[研究課題1]

健常者および競技者における傾斜面でのリバウンドジャンプの負荷特性について、以下に示す3つの観点から検討する。

[研究課題1-1]

健常者における傾斜面でのリバウンドジャンプの負荷特性を、伸張負荷強度

の相違に着目して検討する。この目的を達成するために、30cmおよび50cmの台高からのリバウンド型一回ドロップジャンプにおける神経筋活動を、腓腹筋ーアキレス腱複合体の動態、EMGおよび下肢関節の仕事などの面から明らかにする（Ⅲ章）。

[研究課題1-2]

健常者における傾斜面でのリバウンドジャンプの負荷特性を、跳躍方法の相違に着目して検討する。この目的を達成するために、30cmの台高からのリバウンド型一回ドロップジャンプおよびその場でのリバウンド型5回連続ジャンプにおける神経筋活動を、腓腹筋ーアキレス腱複合体の動態およびEMGなどの面から明らかにする（IV章）。

[研究課題1-3]

競技者における傾斜面でのリバウンドジャンプの負荷特性を、跳躍トレーニング経験および跳躍方法の相違に着目して検討する。前者の目的を達成するために、競技者および健常者に、30cmの台高からのリバウンド型一回ドロップジャンプを行わせ、その際の神経筋活動を腓腹筋ーアキレス腱複合体の動態およびEMGなどの面から明らかにする。また、後者の目的を達成するために、競技者に30cmの台高からのリバウンド型一回ドロップジャンプ、およびその場でのリバウンド型5回連続ジャンプを行わせ、その際の神経筋活動を腓腹筋ーアキレス腱複合体の動態などの面から明らかにする（V章）。

[研究課題2]

傾斜面でのリバウンドジャンプにおける腓腹筋のstiffnessがアキレス腱張力に及ぼす影響について検討する。この目的を達成するために、競技者および健常者に、その場でのリバウンド型5回連続ジャンプを行わせ、腓腹筋とアキレス腱の伸張比と、踏切中点のアキレス腱張力との関係を明らかにする（VI章）。