

VII. 討論

下肢におけるパリスティックな伸張－短縮サイクル (Stretch-Shortening Cycle; SSC) 運動の遂行能力を高めるための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) 手段の一つであるリバウンドジャンプ (Rebound Jump; RJ) は、跳躍方法によって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分けられる。RJは、接地時に腓腹筋－アキレス腱複合体 (Gastrocnemius Muscle-Achilles Tendon Complex; MTC) に伸張性収縮による負荷 (伸張負荷) がかかるために腓腹筋のstiffnessを効果的に強化できるが、実際のトレーニングでは、MTCの伸張量や伸張速度を大きくすることによって腓腹筋のstiffnessの強化を図ることが重要な課題となる。

本論文では、傾斜面、特に上向き斜面でのRJにおける負荷特性について検討した。なお、負荷特性の指標の一つである腓腹筋のstiffnessレベルは、アキレス腱と腓腹筋の伸張比を用いて検討した。その理由として、RJ中のMTC全長の長さ変化が同じであったとしても、腓腹筋のstiffnessレベルによって、アキレス腱と腓腹筋の伸張比は異なることがあげられる。

1. 傾斜面でのリバウンドジャンプにおける負荷特性

本研究では、健常者および競技者を対象にして、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の3つの観点から検討した。

まず最初に、健常者を対象にして、傾斜面でのRJの負荷特性を明らかにするために、伸張負荷強度の相違（Ⅲ章）および跳躍方法の相違（Ⅳ章）に着目して検討した。

伸張負荷強度の相違に着目して検討するため、30cm (RDJ30) および50cm (RDJ50) 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た。30cm および50cmの台高は、リバウンド型一回ドロップジャンプにおける跳躍動作の研究および実際のトレーニング現場で頻繁に用いられているものである。特に、台高を高くしないこと、膝曲げ動作を浅くすることなどの条件を満たしたRDJ30が、バリスティックなSSC運動の遂行能力を最も適切に評価することができる跳躍方法であるとみなされている（高松ら、1989）。また、跳躍方法の相違に着目して検討するために、RDJ30およびその場でのリバウンド型5回連続ジャンプ (5RJ) を行わせた。

その結果、伸張負荷の強度に大きな差があるにもかかわらず、RDJ30とRDJ50との間には、腓腹筋のstiffnessに大きな差は認められなかった。また、両試技ともに、上向き斜面および下向き斜面は平地面と比較して、身体のバランス維持および筋・腱システムを保護するための衝撃緩衝に重点をおいた跳躍動作になっているために、腓腹筋のstiffnessおよびアキレス腱張力を低下させ、弾性エネルギーを有効に利用できないことが認められた（表1・2、図9）。これに対して、5RJでは、腓腹筋および前脛骨筋のIEMGの結果などから、リバウンド型一回ドロップジャンプにおいてみられたような筋・腱システムを防御するための抑制が軽減され、腓腹筋のstiffnessを高めることができることが認められた（表5・6、図12）。このように連続跳躍運動が一回跳躍運動と比較して、腓腹筋のstiffnessを高めることができた原因の一つとして、重心の移動方

向の違いがあげられる。RDJ30では、台から地面に降りる際、重心の水平方向への移動が生じるために若干前方に傾いた姿勢で着地するのに対して、5RJでは常に垂直方向への移動だけが行われている。したがって、5RJでは、重心の真下に着地しやすいために、着地衝撃を緩衝でき、その結果として、足関節に関与する筋群が接地瞬間にかかる大きな伸張負荷に対応できたことなどがあげられる。このことは、踏切時間が短いこと（表5・6）、および着地時点の膝関節がより屈曲していたこと（5RJ： $141.0 \pm 2.2^\circ$ ， RDJ30： $145.7 \pm 2.2^\circ$ ）などからも推察することができる（図子・高松、1996）。今後、水平方向への動きを伴う連続ジャンプとリバウンド型一回ドロップジャンプを比較検討することによって、一回跳躍運動と連続跳躍運動の本質的な差が明らかになるものと考えられる。また、他の原因の一つとして、5RJでは5回の跳躍のうち最も跳躍高が高かった試技（31.6cm～33.4cm）を分析対象としていることから、伸張負荷が異なっていたこともあげられる。しかし、5RJの跳躍高とRDJ30の台高との間には数cmの差しかないので、それほど大きな影響はなかったものと考えられる。

上述の結果をもとにすると、健常者が上向き斜面でのRJにおいて腓腹筋のstiffnessを高めるためには、リバウンド型一回ドロップジャンプの台高を変えて伸張負荷の強度を調節するよりも、連続跳躍運動のような跳躍方法を用いたほうがより効果的であると考えられる。

しかし、長期間にわたってプライオメトリックスを行っている陸上競技の跳躍選手や槍投げ選手は、傾斜面でのRJに対する神経筋活動が健常者とは異なっていることが推測されることから、上向き斜面でのリバウンド型一回ドロップジャンプを行っても腓腹筋のstiffnessを強化できる可能性が考えられる。

そこで次に、競技者における傾斜面でのRJの負荷特性を、跳躍トレーニング経験の相違および跳躍方法の相違に着目して検討した（V章）。

跳躍トレーニング経験の相違に着目して検討するために、競技者および健常者にRDJ30を行わせた。また、跳躍方法の相違に着目して検討するために、競技者にRDJ30および5RJを行わせた。

その結果、競技者は健常者と異なり、上向き斜面でのRDJ30においても腓腹筋のstiffnessを高めることができることが認められた（表7・8）。この原因として、長期間のプライオメトリックスによって伸張負荷に対する予測または適応が改善されているために、傾斜面での試技においても、腓腹筋のstiffnessを強化するための運動単位の同期化（Milner-Brown et al., 1973）や主働筋と拮抗筋の協調性（Schmidbleicher and Gollhofer, 1982）のような神経筋制御が素早く行われたことが考えられる。

一方、競技者における上向き斜面での5RJはRDJ30と比較して、腓腹筋のstiffnessをより強化できることが認められた（表7・9）。この原因として、着地時点の膝関節がより屈曲していたこと（5RJ : $139.9 \pm 6.1^\circ$, RDJ30 : $145.2 \pm 6.8^\circ$ ）から、着地衝撃を緩衝でき、その結果として、足関節に関与する筋群が接地瞬間にかかる大きな伸張負荷に対応できたことなどがあげられる（図子・高松, 1996）。

上述の結果は、競技者は健常者と異なり、上向き斜面でのRDJ30においても腓腹筋のstiffnessを高めることができるが、連続跳躍運動である5RJを用いることによって、腓腹筋のstiffnessをより強化できることを示唆するものである。

以上の研究をもとにすると、プライオメトリックス手段の一つとして上向き斜面でのRJを用いる際には、跳躍方法や伸張負荷の強度（伸張量・伸張速度）

が同じであっても、跳躍トレーニング経験の相違によってMTCにかかる負荷特性が異なることを考慮する必要があると言えよう。

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

本研究では、当初、上向き斜面は平地面および下向き斜面と比較して、MTCの伸張量を大きくすることによって、腓腹筋のstiffnessがより強化されるのではないかと考えていた。競技者における5RJの試技を検討した結果、上向き斜面および下向き斜面での試技は平地面と比較して、腓腹筋のstiffnessレベルが高い傾向にあることが認められた（表7・10）。しかし、アキレス腱張力は、上向き斜面は大きく、下向き斜面は小さい傾向を示した（表7・10）。したがって、着地面が上向き斜面か下向き斜面かによって、アキレス腱と腓腹筋の伸張比が大きくなつてもアキレス腱にかかる張力は異なる可能性のあることが推測される。そこで本研究では、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について検討するために、5RJにおけるアキレス腱と腓腹筋の伸張比とアキレス腱張力との関係を検討した（VI章）。

その結果、上向き斜面および平地面では、LAT/LGASとATFMIDとの間に有意な正の相関関係が認められ、伸張局面におけるMTCの伸張量とATFMIDとの間に有意な負の相関関係が認められた（図25）。しかし、下向き斜面では、いずれにおいても有意な相関関係は認められなかった（図25）。

上述の結果は、上向き斜面のようにMTCが伸張されるような条件下でRJを

行っても、腓腹筋のstiffnessを平地面より大きくできることによって筋長の変化をより小さくし、それがMTCの伸張量を小さくして、アキレス腱張力を大きくするのに有効に作用していることを示すものである。また、下向き斜面では、アキレス腱と腓腹筋の伸張比を大きくしてもアキレス腱張力は必ずしも大きくならないことを示すものである。この原因として、下向き斜面では上向き斜面および平地面と比較して、接地後、足関節の背屈動作が制限されるために、MTC全長に大きな伸張負荷がかからなかったことなどがあげられる。

以上の研究をもとにすると、プライオメトリックス手段の一つとしてRJを用いる際には、傾斜面が上向き斜面か下向き斜面かによってMTCにかかる負荷特性が異なることを考慮する必要があると言えよう。

3. 傾斜面でのリバウンドジャンプトレーニング手段の活用の仕方に対する示唆

下肢のバリスティックな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として、跳躍選手や球技選手などの多くのスポーツ選手はRJを行っている。これは、RJにおける筋の収縮様式、筋力発揮時間、動作スピード、各筋群の活性化状態などが、典型的なSSC運動であり、実際の競技動作に近い形での筋出力になっているからである。このような特徴をもつRJを、傾斜面で行うことによって、腓腹筋のstiffnessを強化できると同時に、アキレス腱により大きな負荷をかけることが可能であると考えられる。本研究では、健常者および競技者を対象にして、傾斜面でのRJにおける負荷特性を、一回跳躍運

動であるリバウンド型一回ドロップジャンプ、および連続跳躍運動であるその場でのリバウンド型連続ジャンプを用いて検討した。その結果、上向き斜面および平地面は下向き斜面と比較して、腓腹筋のstiffnessを強化し、アキレス腱張力を高めるのに効果的であることが認められた。また、上向き斜面を利用するためには、その場でのリバウンド型連続ジャンプのような跳躍方法を用いることが、腓腹筋のstiffnessを強化するのにより効果的であることが認められた。

しかし、上向き斜面での全力のRJは大きな伸張負荷がかかるために、実際のトレーニングでは様々な手順を踏みながらプライオメトリックス手段を取り入れていく必要があると考えられる。すなわち、上向き斜面でのRJを用いてパリスティックなSSC運動の遂行能力を高めるためには、伸張負荷（伸張量・伸張速度）に対して徐々に適応させていくことが重要である。

例えば、その場でのリバウンド型連続ジャンプを取り入れるにしても、最初から傾斜面で行うのではなく、平地面と交互に行ったり、あるいは傾斜面、平地面ともに徐々に跳躍高をあげていくなどの配慮が必要であると考えられる。また、これに加えて、一回跳躍運動であるリバウンド型一回ドロップジャンプを並行して行うことも重要である。なぜならば、多くの競技スポーツ場面では、一回の運動の中で爆発的・反動的な力発揮が要求されるからである。このような手順を踏むことによって、その場でのリバウンド型連続ジャンプによつて高めた効果、すなわちアキレス腱と腓腹筋の伸張比を大きくできることや膝関節を屈曲しながら接地できる着地動作などを、リバウンド型一回ドロップジャンプにおいても効果的に活かすことができるのではないかと考えられる。このように、2つの跳躍方法を傾斜面や平地面で並行して行っていく中で、

SSC運動の遂行能力を効果的に高めることができる可能性があるのではないかと考えられる。

本論文では、MTCの伸張量や伸張速度を大きくすることによって、腓腹筋の stiffness を合目的的に強化することができるとみられる傾斜面、特に上向き余面でのRJにおける負荷特性について検討した。その結果、傾斜面でのRJにおける負荷特性は、跳躍方法や跳躍トレーニング経験によって異なることが認められた。これらの結果は、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、傾斜面でのリバウンドジャンプを活用していく場合の有用な知見になるものと考えられる。