

氏名(本籍)	新井 彩 (兵庫県)
学位の種類	博士 (スポーツ科学)
学位記番号	甲第20号
学位授与日	平成27(2015)年3月17日
学位授与の要件	大阪体育大学大学院学位規程第4条第1項該当
研究科名	スポーツ科学研究科 (博士後期課程) スポーツ科学専攻
論文題目	Stretch-shortening cycle 運動における筋活動特性
審査委員	主査 教授 伊藤 章 副査 教授 荒木 雅信 准教授 石川 昌紀

## 論文内容の要旨

走運動や跳躍のような反動動作を用いた動作は、より速く走ることや、高く・遠くへ跳ぶために多くのスポーツ種目で用いられている。このような運動様式は、筋を伸張させた後に短縮させることから、伸張-短縮サイクル (Stretch-Shortening Cycle ; SSC) 運動と呼ばれており、短縮性筋活動のみの運動に比べて高いパワー発揮や高い効率での運動が可能となる。走運動や跳躍のような SSC 運動の中では、下肢の Stiffness 調整 (e.g. Leg Stiffness, Muscle Stiffness, Joint Stiffness) が重要な役割を果たす。このような Stiffness の調整は、速度や接地時間、強度に応じて予測的かつ瞬時的に行われ、プレプログラムや反射ゲイン、上位中枢による随意的な活動等によって制御されている。本研究では、下腿三頭筋-腱複合体 (Triceps surae muscle-tendon unit) に注目し、より単純な SSC モデルとして足関節の運動を主としたドロップジャンプを用いることで、各タスクに対する神経-筋機能を明らかにすることを目的とした。

研究課題1では、異なるドロップ高 (0.2m, 0.3m, 0.4m) からの着地のみと最大努力でのドロップジャンプを用いて、着地後の運動の目的が異なる場合の Pre-activation の意義を検討した。ドロップ後に着地のみで跳び上がらない場合とドロップジャンプとで、着地後の運動の目的が異なる場合であっても、ドロップ高に応じた主動筋 (腓腹筋: MG, ヒラメ筋: SOL) の Pre-activation が同様に出現し、Pre-activation が着地衝撃に対応するのに必要な張力を発揮するための筋活動であったことが示された。また、着地後の運動は主に Braking 局面の筋活動によって調整され、さらにドロップに応じて効果的に Stiffness を調整していることが示唆された。

研究課題2では、異なるドロップ高 (0.2m と 0.4m) からのドロップ後、着地のみで跳び上がらない試

技と、最大努力でのドロップジャンプ、最大努力の50%の努力度でのドロップジャンプを用いて、SSC運動の調整に対する主動筋（MG, SOL）と拮抗筋（前脛骨筋：TA）の筋活動の調節活動について検討した。ドロップジャンプ中の主動筋－拮抗筋の筋活動が、ドロップ高の影響を受けず、リバウンド高の調整に機能していることが示された。接地前の Pre-activation 局面の拮抗筋の筋活動と、機能的な Pre-activation であると考えられる Post-impact 30ms での主動筋－拮抗筋の筋活動の調整が、ドロップジャンプ中のリバウンド高の調整に重要な役割を果たすことが示唆された。

研究課題3では、反動利用効率が高いとされる陸上短距離選手と、低いとされる競泳選手を対象に、0.3m の高さからのドロップジャンプを用いて、接地前後の筋活動の重要性を検討した。競泳選手群は陸上短距離選手群に比べて SOL の筋活動開始時点が遅く、接地後30ms 以内（Post-impact 30ms phase）であることが明らかとなった。また、ほぼ同時点で筋束が伸張し始めており、着地衝撃による筋束伸張までに SWIM 群は筋活動を十分に高められていなかったと考えられた。このことから、Post-impact 30ms 局面の SOL の筋活動が力の立ちあがり速度やリバウンド能力に影響する可能性が示唆された。陸上短距離選手群と競泳選手群の筋活動パターンの違いによって、競技スポーツ種目による特異性が存在する可能性が示唆された。

着地前の主動筋の Pre-activation が着地衝撃に対応するものであることは、多くの先行研究を支持するものであったが、その後の運動の目的や調整に直接機能していないことが示された。一方で、接地直後に筋伸張が開始される局面での主動筋の筋活動が運動の調整活動に重要であることが示された。この局面が反射の影響をまだ受けないプレプログラム化された局面であると考え、接地前と接地直後で一連のプレプログラムの中で、異なる調整がなされていることが明らかとなり、興味深い結果であった。同時に、着地衝撃に応じた主動筋（MG）の Pre-activation によって足関節が底屈されることを補償するように拮抗筋である TA の Pre-activation を高めてより背屈させた状態にし、主動筋を至適長に近づけ足関節 stiffness を高めることを可能にし、高いリバウンドを可能にしたことも、調整活動に重要なプレプログラムである。このように、短時間の SSC 運動では、接地前から接地後30ms 以内のプレプログラム化された筋活動が、着地後の運動の調整活動に重要な役割を果たしていることが示唆された。

## 審査結果の要旨

### （論文審査）

#### 1. 論文要旨

反動動作を用いた動作では、活動筋を伸張させた後に短縮させる Stretch-Shortening Cycle (SSC) と呼ばれる筋活動が生じ、それにより大きなパワーを発揮することや、エネルギー効率の良い機械的な仕事が可能となる。跳躍運動は代表的な SSC 運動であるが、跳躍高の調節には下肢の Stiffness（硬度）が重要な役割を果たす。この Stiffness の調節は上位中枢によってあらかじめプログラムされた主動筋や拮抗筋の筋活動によってなされるといわれている。

本論文では、ジャンプ運動を単純な SSC 運動とするために足関節だけを使ったドロップジャンプを採用し、ドロップ高（台高0.2m, 0.3m, 0.4m）やドロップ後のジャンプ高（着地のみ、最大の50%, 最大）に対する下腿三頭筋の筋－腱複合体の動態と神経－筋活動を調べた。以下は主な結果である。

- 1) 接地前の主動筋の Pre-activation は着地衝撃に対応するためのものであり、その後のジャンプパフォーマンスの調節には働かない。これは、Pre-activation はパフォーマンスを調節するためのものという従来の見解を修正するものである。
- 2) ジャンプパフォーマンスの調節は、上位中枢によってあらかじめプログラムされた拮抗筋の接地前の Pre-activation と主動筋の接地後30ms 以内の機能的な Pre-activation の筋活動の調節によってなされている。
- 3) 競泳選手が陸上短距離選手に比べ、ドロップジャンプ高は著しく低かった。短距離選手のヒラメ筋の活動開始時点は接地前であるのに対し、競泳選手のヒラメ筋の筋活動開始時点が接地後であった。したがって、競泳選手ではドロップによる衝撃によって接地の瞬間から開始する筋束の伸張時に SOL では十分な筋活動が得られていなかった。これが SSC 効果を減少させたため、競泳選手のジャンプ高が低下した。競泳には SSC 運動が含まれていないことから、SSC 運動はトレーニング環境によって影響されることが明らかとなった。

## 2. 論文審査の要旨

本論文はドロップジャンプのような SSC 運動におけるパフォーマンス調節にかかわる接地前と接地後の筋活動の変化とその機能的な意味を明らかにするとともに、目的に応じたトレーニングによって SSC 運動のパフォーマンスが変化することやその原因となる筋活動変化を明らかにした。

このような点を評価し、審査委員会は提出された論文は博士論文として相応しいと判断し、博士論文として合格と判定した。

## (最終試験)

提出された論文の内容やそれに関連する基礎的な知識などについて口頭試問を行ったが、適切な回答が得られた。また、今後の研究の発展方向に関する質問にも明確に答えた。

審査委員会は新井彩氏は博士の学位を取得するに相応しい知識と見識を持っていると判断し、最終試験を合格と判定した。