

論文の内容の要旨

論文題目 ダイナミックなターゲットヒッティングスポーツ動作の
 神経制御メカニズム
(Neural control mechanism of dynamic target-hitting sports
 movements)

氏名 櫻 井 静 香

熟練度の高い巧みなスポーツ競技選手は、見る者を強烈に引き付ける様々な要素をたくさん持っている。特に球技系スポーツ種目などでは、スピードやパワーもさることながら、機敏さや動作の切り替えの素早さ、正確性の高い動作、などといった非常にハイレベルな「スキル」を目にすることができる。しかし、従来のスポーツ動作のメカニズムに関する研究はその多くが運動力学的変数やエネルギー論的観点に主眼が置かれており、いわゆるこの神経-筋協調性（スキル）のメカニズムに関した、身体内部情報を主要な検討対象として取り上げた研究は非常に数少ない。このことは、神経系の機能を測定する方法や具体的にスキルを評価する方法が困難であることなどが影響しているためと思われる。しかし、スポーツの分野においては、反応のタイミングや各固有筋出力におけるポジショニングの協調性、適切なタイミングに伴うグレーディングなどの神経系的要素は、巧みな動作を構成する上で、大変重要な要素であると考えられる。

そこで、本研究ではダイナミックな全身動作を取り上げることによって、生物本来の運動機能に関わる神経制御ストラテジーを明らかにし、そしてスポーツパフォーマンス課題におけるスキルメカニズムについて神経生理学的視点から観察を行い、熟練度の高いスポーツ競技者はどのようなスキルをもってして動作遂行しているのかを検討することを目的とした。本研究はできる限りスポーツ競技特性を考慮し、スキルメカニズムに関与すると考えられる要因を抽出して検討を重ねた。実験課題として、球技系スポーツ種目でよく見受けられる素早いターゲットヒッティング動作、及びその検証実験課題としてタイミング予測反応動作を選び、筋電図 (EMG) とパフォーマンスの関係及び動作キネマティクスからの分析を中心に分析を行った。

第1章 (実験1: フィールド上におけるターゲットヒッティング課題 (バドミントンスマッシュ動作)) では、実際のフィールド上において、ターゲットヒッティング動作の一つであるバドミントンスマッシュ動作を取り上げ、スキルレベルの違いとその動作を産出する筋活動の特徴について検討した。その結果、同じ熟練者群の中でもスキルレベルに応じたパフォーマンス特性が示された。また、そのパフォーマンスを生み出す筋活動様式を上腕・前腕・肩の筋群に焦点を当てて検討したところ、熟練者の安定した素早いスイングの背景には、拮抗筋→主動筋→拮抗筋という素早い筋活動の切り替え動作の相対的神経制御メカニズムが明らかに認められた。更に、スキルレベルの違いによって生じる各筋の休止期の時間間隔や、振幅パターンの違い、ラケット支持安定の為に積極的に活動する筋活動様式などが異なることが明らかとなった。

第2章 (実験2: ターゲットヒッティング課題 (バドミントンスマッシュ動作) における筋活動とパフォーマンス. 上肢・前腕筋群の筋活動を中心に.) では、シャトルの動きをより安定させるために実験1で実施したターゲットヒッティング動作をフィールド実験から実験室上へと場所を移動し、この動作中の上腕・前腕・肩の筋群における筋活動様式とパフォーマンスの関係をより詳しく検討した。実験1で見られたような熟練者特有の筋活動の切り替え動作制御メカニズムがより明確にされたことに加え、インパクト時刻から見た各測定筋の最大振幅出現時刻が熟練者群と非熟練者群とで大きく異なり、良好なパフォーマンスを生み出す熟練者特有のパターンがより一層明らかに示された。

第3章 (実験3: ターゲットヒッティング課題 (バドミントンスマッシュ動作) における筋活動とパフォーマンス. 練習による影響.) では、実験2で行ったターゲットヒッティング動作を6日間練習させ、練習による筋活動の変化とパフォーマンスの変化との関係について縦断的に検討した。その結果、6日間の試行において、非熟練者が熟練者のスキ

ルメカニズムに近似していく筋活動パターン及びパフォーマンスの変化が定量的にも視覚的にも明確に示された。その際、特に上肢帯及び上腕の近位筋での練習効果練が顕著であるのに対し、遠位筋である前腕筋群は向上の程度が良好でないといった現象が観察されたことから、本実験のような課題に於いては、練習効果は近位の筋から遠位の筋へと拡散していき、この遠位の筋がシャトルのコースの正確性を決定付ける重要な筋であるといった神経メカニズムが明らかになった。又、これに伴いバドミントンスマッシュ動作における熟練者の特徴的な筋活動パターン更に裏付ける要素が明らかに示された。

第4章（実験4：ターゲットヒッティング課題（バドミントンスマッシュ動作）におけるタイミングフェイントの影響.実験3の検証.）では、実験2、3のターゲットヒッティング動作に外乱（タイミングフェイント刺激）を加え、ターゲットヒッティングスキルに対する予測・タイミングコントロール能力の関連を検討した。予告刺激から一定時間後にシャトルが放出される試行を「一定タイミング試行」と設定し、それよりも早い時刻にシャトルが放出される試行を「早いタイミングフェイント試行」、反対に遅く放出される試行を「遅いタイミングフェイント試行」と設定した。これにより、早いタイミングフェイント試行時には、インパクト前の準備状態・インパクト後の筋活動において筋電図休止期の消失、振幅値の上昇といった特異的な現象が観察され、一定タイミング試行で見られていたような適切な興奮-抑制制御が行われなくなっていることが示唆された。また、遅いタイミングフェイント試行時には、動作の開始時刻が早まってしまうような筋活動様式や振幅の異常増強に伴う休止期の消失などが観察された。こういった外乱を与える実験からも、この休止期が存在することがパフォーマンスを大きく左右するといったことが明確に示された。

第5章（実験5：急速照準動作課題におけるタイミングフェイントの影響.実験4の検証.）は、実験4を検証するため、肘関節の伸展という単関節による急速照準動作（ディスプレイ上に呈示されるターゲットへできるだけ素早くそして正確にカーソルを合わせる実験）を用いたタイミングコントロール能力について検討した。実験4同様に多数の一定タイミング試行に早いタイミング・遅いタイミングフェイント試行をランダムに混ぜて行われたところ、早いタイミングフェイント試行時には、一定タイミング試行時とは異なり、加速期における加速度波形の振幅と動作軌跡が大きく上昇し、パフォーマンスの正確性が低下する結果が得られた。またこれを裏付ける筋活動では、実験4で観察された主働筋の休止期の消失現象や振幅値の上昇も明確に示された。遅いタイミングフェイント試行も実験4同様、動作の開始に大きく影響を及ぼしていた。よってこれらの現象が早い・遅いタ

イミシングフェイント刺激に対する反応時に起こる特有の動作現象であることが推察された。

第6章(実験6:ターゲットヒッティング課題(バドミントンスマッシュ動作)におけるバイオメカニクスの検証.実験1、2、3の検証.)では、再びフィールド上でスマッシュ動作を行わせ、筋活動の記録と共に動作を高速度カメラで撮影してバイオメカニクスの3次元解析を行い、実験1、2、3で得られた熟練者の筋活動パターンが本当に熟練動作のものであるのかを検証した。結果、インパクト直前に肘伸展動作が急激に生じ、その直後から手関節が後を追うように伸展動作を開始するような先行研究におけるトッププレイヤーのデータとほとんど一致した動作キネマティクスが得られた。また、動作キネマティクスの急激な変化の前に既にその動作を起すような筋活動が開始され、動作とのタイムラグが見られた。更に、筋の活動はそれまでの実験と同様のものであったことから、本研究によって明らかとなった熟練者特有の筋活動パターンが熟練者固有筋活動パターンであるとして証明され、かつ、熟練者の動作キネマティクスとEMGの関係が取得できたことが示された。

以上の結果から、本研究では予測とタイミングの能力を要するターゲットヒッティングスポーツ動作課題に関しての熟練者・非熟練者の神経制御メカニズムを、実験室における実験及びフィールド上の実験から明らかにすることができた。極めて短時間の間に高速移動する物体に道具を命中させ、さらにそれを別のものへと命中させるという素早い複雑な動作遂行に於いては、予測に基づいて適切な筋を選択し、興奮-抑制制御が適切な強さとタイミングで配分された運動指令をそれらの筋へと送る、といった運動の制御が重要であり、この背景には主動筋と拮抗筋の相反的な神経制御メカニズムが存在していることを、段階を追って明確に呈示できたのではないかと考える。

たった一回の偶然的な成功ではなく、何度でも同じパフォーマンスを繰り返し行うことができはじめて熟練と呼ばれる(調枝, 1994)、また、タイミング予測がスポーツ動作においては非常に重要である(大築, 1988)といった先行研究を筋電図から裏付けた本研究は、パフォーマンスと筋電図を合わせた形で実際の動作のスキルメカニズムを検討している先行研究が非常に少なく情報に乏しかった現状に、一つの新たな知見を加えたものともいえるのではないだろうか。また、ダイナミックな多関節動作のみならず、基礎的な単関節な動作遂行にも共通する予測タイミング反応の神経-筋協調メカニズムが明らかとなったことから、本研究で得られたスキルメカニズムの特性は本研究で用いられた動作のみならず、他のターゲットヒッティングスポーツ、あるいはヒトの日常的な随意運動におけるタイミング制御のメカニズムとして一般化しうる可能性をもっているのではないかと考えられる。