

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 櫻井 静香

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.)

本論文は、ヒトの巧みなスポーツ動作の一つである、素早いターゲットヒッティング動作をとりあげ、生理学的に natural な状態での熟練者と未熟練者の動作の違いを筋電図および動作分析法を用いて解析することによって、熟練動作における筋の使い方の特性、およびこの種の動作に不可欠な予測とそれに基づくタイミングコントロールに関する脳・神経系の運動制御特性を追究した一連の研究をまとめたものである。

ヒトの主要な骨格筋の多くは、危険からの逃避等の動物本来の素早い全身動作を実行するため必要不可欠である。そのような筋が、適切な適切な時刻に適切な強さで活動するように、適切な状況判断を行い、適切な運動指令を筋に送り込むことは、生物として基本的に重要な機能である。本研究は、ダイナミックな全身動作をとりあげることによって、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するとともに、スポーツ動作に熟練するための練習やトレーニングのための論拠を提示し、激しい動作による障害の発生機序の一端を明らかにした意義深い研究であると考えられる。

本論文は、学位申請者が本研究で取り上げたテーマに関する過去の研究状況及び諸概念の規定を序章で詳細に述べ、申請者が行った6つの実験の結果を第1章から第6章までの各章にまとめ、第7章に総括論議を、第8章に論文要旨を加えて構成されている。

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）中の筋活動とパフォーマンス—熟練者・非熟練者群の比較から—）では、まず、熟練者と非熟練者に実際のコート上において、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を行わせ、スキルレベルの違いとその動作および筋活動の特徴との関係について検討している。特に上腕・前腕・肩の筋群に焦点を当てて筋活動様式を検討したところ、熟練者の安定した素早いスイングの背景には、拮抗筋→主働筋→拮抗筋という筋活動の素早い明確な切り替えを可能にする相反性神経制御メカニズムが存在することが確認された。更に、スキルレベルの違いによって各筋の休止期の時間間隔や、振幅パターン、シャトル打球後の筋活動の持続時間等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—)の実験では、ターゲット(シャトル)の動きをより安定させるために、シャトル発射装置を特製し、同様のターゲットヒッティング動作を実験室内で実施し、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ている。その結果、第1章と同様の熟練者特有の相反的筋活動切り替えに加えて、インパクト時刻を基準にし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るという事実が明かとなり、良好なパフォーマンスを生み出す熟練者特有の筋活動パターンが一層明らかとなった。

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—学習による影響—)では、実験2で実施したターゲットヒッティング動作を1日100試行ずつ6日間練習させ、学習による筋活動の変化とパフォーマンス変化との関係について縦断的に検討している。その結果、練習によって、的の中心からの距離、的を含む平面上での2次元到達点分布領域指標であるマハラノビス楕円面積は熟練者非熟練者共に減少し、非熟練者特有の筋活動パターンが熟練者のパターンに近似していくことが明らかとなった。その際、特に上肢帯及び上腕の近位筋の向上が顕著であるのに対し、遠位筋である前腕の手根屈筋は向上の程度が悪いという興味深い現象が観察されたことから、本実験のようなターゲットヒッティング課題では、練習効果は近位の筋から遠位の筋へと拡散すること、遠位の筋は主としてシャトルコースの正確さを決定する機能を果たしていることというスキル獲得の神経メカニズムが明かとなった。

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、前述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)を加えることによって、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ている。具体的には、予告刺激から一定時間後にターゲットが発現(シャトル放出)する試行(通常タイミング試行)と、それよりも早い時刻にシャトルが放出される試行(早いタイミングフェイント試行)と遅れてシャトルが放出される試行(遅いタイミングフェイント試行)を少数(各10%)ランダムに混ぜたところ、熟練者において、インパクト前の準備期及びインパクト後の筋電図休止期の消失や振幅値の異常な上昇、といった特異的な現象が観察された。このことから、フェイント試行においては、通常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推察された。また、遅いタイミングフェイント試行においては、刺激が実際には呈示されていないにも関わらず動作を起こしてしまう例がしばしば観察され、その場合に改めて実行される正規の打球動作において、筋電図振幅の異常増強及び休止期の消失、シャトル到達点のターゲットからの大きなずれが観察された。このような外乱実験からも、適切な筋活動休止期が存在するかどうかパフォーマンスを大きく左右する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

証一)では、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(CRTディスプレイ上に呈示されるターゲット位置へできるだけ早くカーソルを合わせる動作)を用いて、予測とタイミングコントロール特性について検討した。実験4と同様、多数の通常タイミング試行に少数の早いタイミング・遅いタイミング試行をランダムに混ぜて行わせたところ、通常よりも早く刺激が呈示される早いタイミングフェイント試行時では、通常タイミング試行時とは異なり、肘関節伸展の加速期における加速度波形の振幅が上昇し、動作軌跡が大きくターゲットをオーバーシュートする結果、パフォーマンスの正確性が低下した。またこれを裏付ける筋活動においては、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においても実験4同様、動作の開始が大きく影響され、特に尚早反応を起こしてしまった場合には正規反応の筋電図が周期振動的に持続する現象が観察された。

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の検証一)では、再びフィールドでスマッシュ動作を行わせ、筋活動の記録とともに動作を高速度ビデオ撮影して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どうかをバイオメカニクスの検証している。分析の結果、熟練度の高い被験者において、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という、先行研究におけるトッププレーヤーのキネマティックデータとほとんど一致したデータが得られ、筋活動はこれまでの実験と同様の結果であったことから、本研究によって明かとなった熟練者特有の筋活動パターンが熟練者の固有筋活動パターンとして妥当であることが証明された。

以上の結果に基づき、申請者は第7章において、バドミントンスマッシュのような、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、さらにその物体を別的に命中させるという素早く複雑な課題の遂行においては、移動物体を正確に補足するための予測、その予測に基づいて適切な筋を選定し、興奮と抑制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に送り込むという運動制御が重要であり、そのような制御の基礎には主働筋と拮抗筋の相反性制御という神経制御メカニズムが存在すると論議している。

本審査委員会は、平成13年2月7日に審査会を開催し、本論文の内容に関する審議を行った結果、フィールドにおける実際の動作の記録から得られた熟練動作の基礎としての相反性神経制御メカニズムを、練習というポジティブドライブ、フェイント外乱というネガティブドライブを付加して確認し、先行研究の結果と対応させて結論付けるという適切な実験方法を用いて検証しており、多くのオリジナルな知見が呈示されていること、研究テーマに関するレビューも精細かつ周到であること、スポーツ動作の指導及びしばしばバドミントンで生じる腱断裂等の障害発生機序解明の基礎資料としても役立つことなどの点に鑑み、本論文は学術業績として極めて有意義であり、博士(学術)の学位を授与するにふさわしい論文であると判断した。