

野球の打撃を司る神経機序は未だ解明されていない。とりわけ、0.5 秒以下という極めて短い時間的制約の中で、高速のボールを捉えるタイミング制御がいかなる神経機序の基になされているのか？この問いに対する神経科学的な答えは得られていない。本論文は野球の打撃動作におけるタイミング制御に焦点をあて、これを司る神経機序に迫ろうとするものである。

本論文の概要を以下に述べる。その構成は、第一、第二章で関連する先行研究が概観され目的が述べられ、第三、第四章において、それぞれ打撃をモデル化した実験とその実験結果を基に設定された電気生理学実験がまとめられ、第五章で総括論議がなされる、というものである。

第三章、研究 1 ではコンピューターモニター上でバッティングを模擬した実験から、素早い打撃動作におけるタイミング制御方略の個人差と時間的正確性が調べられた。実験 1 では、低速度 (670ms) または中間的速度 (540ms) でミートポイントに到達するボールがモニター上で投げられ、被験者はそれぞれを適切なタイミングで打つことが求められた。両速度のボールのどちらが投げられるかは被験者には知らされず、速度を見極め、それに合わせて動作を調節することが求められた。動作は肘関節の伸展であり、その動きがモニター上のバットの動きに変換された。動作中の肘関節角度変化、主働筋である上腕三頭筋筋電図、ボールミートまでの時間を計測した。その結果、被験者 26 名のうち 11 名が両速度の差 130ms を主に動作開始タイミングをずらして補償していたのに対し、他の 15 名は動作開始時間は変えず、動作時間を調整してボールをヒットしようとしていた被験者。すなわち、被験者によってボールの速度差を補償する方略が大きく二極化することが明らかとなった。実験 2 では実験 1 よりさらに厳しい時間的制約が課された。すなわち、中間速度 (540ms) と高速度 (410ms) のボールがランダムな順番で投げられた。この厳しい条件では、実験 1 において動作開始時間を調整していた被験者の多くが動作時間調整に転じた。実験 3 ではボール速度識別プロセスの有無が制御方略と時間的正確性に与える影響を調べるために、上記 3 種類のボール速度それぞれを別々に打つ試行を行った。すなわち、被験者はどの速度のボールが投げられるか分かっている条件で、それぞれの速度を繰り返し連続で打つことが求められた。その結果、この速度識別の必要が無い条件でも、実験 1, 2 で動作時間修正を行っていた被験者は、動作時間調整を行うことが判明した。一方、動作開始時間調整を行っていた被験者はこの条件でも開始時間調整を行っていた。また動作時間の修正は筋放電開始から約 70ms 後に生じており、従来報告されている随意的な運動修正の潜時よりも短いものであった。素早い修正のメカニズムとしては無意識的かつ反射的に生じる修正動作 (automatic pilot) が生じていること、および、運動開始前にエラーの検出と修正的運動

指令の生成がなされていることが示唆された。本研究の結果から、厳しい時間的制約下の打撃動作におけるタイミング制御には運動開始タイミングの制御が重要であることが示されたが、本実験において、ボールの速度を識別して運動開始時間を決定するために与えられた時間は、ヒトの選択反応時間よりも短かった。

第四章、研究 2 では上記のような厳しい時間的制約下における動作開始時間の制御メカニズムを明らかにするために、**startle acoustic stimulation (SAS)** を用いて、11 名の被験者に対して運動を開始するための皮質下運動関連回路の興奮性探査を行った。従来の報告によると、この興奮性は運動開始の約 200ms 前に高まることが知られている。本研究でも高速度 (500ms) および低速度 (800ms) のボールがそれぞれ単独で予測される条件 (**single-speed**) においては、運動開始の直前に興奮性が高まっていることが示された。しかし、高速度と低速度のボールがランダムに投げられ、運動開始時間の調節が求められる条件 (**paired-speed**) においては、ボールの速度に関わらず、高速度に対する運動開始時間に合わせて興奮性が高められていた。このような神経系の準備にも関わらず、被験者はボール速度に応じて運動開始時間を調節していたことから、低速度に対する運動開始時間の変更は運動関連回路の閾値下での興奮性調節によって実現されていることが示された。

以上、本研究の結果から、野球の打撃における運動の開始とその修正に付随する時間的制約を克服するためのメカニズムの一端が明らかになった。また、高い時間的精度を達成するためのタイミング制御と、タイミング制御戦略に存在する大きな個人差も明らかになったが、その被験者の知覚特性や運動特性など、どのような因子が個々人のタイミング制御戦略を決定するのかという点が今後の課題として残った。

これらの内容を慎重且つ精細に審査した結果、本論文が、これまで未知であった、野球の打撃に代表される高速視覚追従型運動の制御機序解明につながる重要な学術的成果をあげており、今後の発展が大きく期待できると評価された。さらにこの特殊な運動技術を神経科学的、行動科学的手法をもって明らかにしようとした申請者の独創的な研究手法も高く評価された。近い将来、野球の打撃動作の背後にある神経機序の解明を通じて、人間の運動制御系が有する未知の能力の発見につながり、当該学術領域の発展に大きく貢献することも予想される。以上を総合的に評価し、本審査委員会は、本論文が博士 (学術) の学位を授与するにふさわしいものと認定する。