

人間科学研究科長 殿

**吉田 雅司氏 博士学位申請論文審査報告書**

吉田 雅司氏の学位申請論文を下記の審査委員会は、人間科学研究科の委嘱を受け審査してきましたが、2004年12月10日に審査を終了しましたので、ここにその結果をご報告します。

記

1. 申請者氏名 吉田 雅司

2. 論文題名 Intersegmental Dynamics and Optimality in Rapid Aiming Movements  
(急速な狙準運動の最適化とその力学的特性)

3. 本論文の目的と構成

身体運動の中でスイッチを押したり、物をつかんだりすることは手足を正確に動かさなければならず、日常生活においてきわめて重要な動作である。この種の狙いを定めた急速な随意運動、すなわち goal-directed movements は、“スピードと正確性のトレード・オフ (speed-accuracy trade-offs)”という運動行動の最も重要な原理の1つを抱えており、身体運動に関する知識の基盤を形成する上で長年研究のテーマとして取り扱われてきた。

Goal-directed movements は初期衝動 (initial impulse) と誤差修正 (error corrections) の2局面から構成される (Meyer et al., 1988; Woodworth, 1899)。空間における正確性は、基本的に視覚に基づいた error corrections の精度に強く依存している。しかしながら、視覚情報のフィードバック処理にはある程度の時間を必要とし、この時間的制約が speed-accuracy trade-offs の主因とる (Keele & Posner, 1968)。一方 initial impulse では、筋出力と空間変動性との関係が数多く報告され、これもまた speed-accuracy trade-offs の一因であることが明らかとなっている (Schmidt et al., 1979)。さらに近年、急速な狙準運動 (rapid aiming movements) は、これら上述の2局面が相互に干渉し合うことで運動の最適化が図られるという知見が報告されている (Elliott et al., 1995; Khan & Franks, 2000)。

Rapid aiming movements の制御機序に関するこれまでの研究の多くは、運動の結果 (outcomes) あるいは動作自体 (kinematics) を操作し、評価しただけであった。しかしながら、多関節運動では様々な要因によって、見た目には同じ動作であってもその力学的 (dynamics) プロセスは全く異なる場合がある。神経筋の制御機序を理解するためにはこの力学的特性の考慮が不可欠であり、したがって、これらの検討を欠いた既存の論理的解釈はその妥当性・客観性に疑問が残る。

そこで本論文では、intersegmental dynamics という力学的手法を用いた3種類の実験を行うことによって rapid aiming movements におけるさらなる実証的な証拠を提示し、“我々はどのようにこの rapid aiming movements の最適化を図っているのか？”について考察している。

#### 4．本論文の内容と評価

各実験では、共通の課題として、被験者に手に持ったペン状のスタイラスを 80 cm から 90 cm 先のターゲットまで急速かつ正確に移動させる動作を行わせている。

第一の実験では、課題を左右横臥位で行わせ上肢に作用する重力を操作し、動作速度 (kinematics) および筋出力 (dynamics) をそれぞれ個別に変化させることで空間正確性がどのような影響を受けるかを検証している。その結果、狙準誤差 (aiming errors) は筋出力の増大に伴って増加することを明らかにしている。この知見は、これまで kinematics データに基づくもののみであったが、今回さらに dynamics データによって提示したことは貴重な研究であり高く評価できる。

第二の実験では、視覚“有”または“無”の条件を用い、課題を座位で 560 回反復練習させ、その学習過程において上肢の intersegmental dynamics がどのような変化を示すかを分析している。その結果、intersegmental dynamics は視覚情報の有無に応じて異なる適応を示している。すなわち、視覚情報を用いて学習した場合 initial impulse は筋出力を増加させる傾向にあり、他方視覚情報を用いず学習した場合 initial impulse は筋出力を減少させる傾向にあった。このことは、狙準誤差は大きいが敏速な initial impulse によって error corrections の遂行時間を増やし空間正確性を確保するか、あるいは緩やかで狙準誤差の小さい initial impulse によって最低限の空間正確性を確保し error corrections への依存度を減らすかといった2通りの制御戦略 (control strategies) を反映しているものと示唆している。

そこで第三の実験では、第二の実験において課題学習が完成した状態から視覚を取り除くことで intersegmental dynamics および control strategies がどのような適応を示すかを検討している。その結果、initial impulse の筋出力は視覚情報の損失によって減少する傾向にあった。これは、control strategies を瞬時に適応させることで error corrections の不備を補い空間正確性の悪化を防いだ結果であると理解できる。

これらの結果は、急速な狙準運動において initial impulse と error corrections の相互作用をうまく機能させながら、状況に応じ合目的的に control strategies を適宜変化させパフォーマンスの最適化を図っているといったこれまでの知見を、力学的解析によって一步前進させた先駆的研究となるものと高く評価できる。

#### 5．結論

本論文は、intersegmental dynamics という力学的手法を用いて rapid aiming movements の制御機序を定量的・体系的にまとめている。上述3つの実験結果よりその機能的意義として、1)

筋出力の増大に伴う狙準誤差の増加、2) 視覚情報を用いた狙準誤差の修正、3) これら2側面の特性と合目的な control strategies、4) その control strategies を瞬時に適応させることによるパフォーマンスの最適化、の4点が示唆された。

Rapid aiming movements の制御機序に関する研究は、これまで百年以上に渡って行われてきた。しかしながら、その論理的解釈には力学的特性の考慮が欠けており、intersegmental dynamics を用いて検討を加えた本論文はきわめて独創的であり、新たな視点を提供する基礎的な研究として高く評価できるものである。本論文で示された手法および結果は、身体運動に関する知識のさらなる基盤形成に今後大きく寄与するものと思われる。

なお、本論文に記載された研究成果のいくつかは既に学術論文として公表(第二・三実験は第一著者として国際誌に掲載)されている。

以上の事由により、本論文が博士(人間科学)の学位論文として十分価値あるものと認める。

以 上

吉田 雅司氏 博士学位申請論文審査委員会

主査審査員	早稲田大学 教授	医学博士(千葉大学)	鈴木 秀次
審査 委員	早稲田大学 教授	文学博士(東京大学)	中島 義明
審査 委員	早稲田大学 教授	博士(工学)(早稲田大学)	藤本 浩志
審査 委員	早稲田大学 助教授	博士(教育学)(東京大学)	川上 泰雄