

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 23 年 5 月 25 日現在

機関番号：14602

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700617

研究課題名（和文） 素早い肘関節運動のリアルタイム修正方略に関する研究

研究課題名（英文） Study of a real time modification strategy for quick elbow movements

研究代表者

高德 希（TAKATOKU NOZOMI）

奈良女子大学・大学院人間文化研究科・助教

研究者番号：80554477

研究成果の概要（和文）：

円滑な身体運動の基盤となる素早い運動のリアルタイム修正方略を明らかにするために、素早い肘関節運動修正時の主動筋と拮抗筋の筋活動から中枢神経系における制御過程について検討した。肘関節伸展動作開始前後に動作修正が要求される課題を行った結果、運動の遂行段階による修正方略が明らかとなり、運動修正を経験することで予め主動筋活動を抑制し、主に主動筋活動によって運動修正を行うといった制御方略の変化がみられた。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study was investigated to a real time modification strategy for quick elbow movements by using the agonist and antagonist muscle activity as an indicator of the control process in the central nervous system. Experimental tasks were to modify the movement amplitude in response to a modification signal presented before or after the movement commencement. As the main results, there were three modification strategies depend on the stage of motion execution. By having an experience with modification of the movement amplitude, the agonist muscle activity was inhibited previously and the movement amplitude was modified by controlling this activity after presenting a modification signal.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：スポーツバイオメカニクス

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：運動制御

## 1. 研究開始当初の背景

1 秒に満たない時間で遂行される素早い運動であっても、環境の変化に見合った運動へと巧みに修正する場面は、日常的に繰り返

される動作や熟練したスポーツ動作に多くみられる。習熟した運動ほど自動化が進むことで素早く円滑な動作として遂行され、同じように見える運動であっても常に変化し続

ける外部環境に見合うようにリアルタイムで微細な調整がなされている。このような運動修正能力は、特定の動作に熟練した者の特殊な能力ではなく、如何なる環境においても円滑な運動を遂行するためにヒトに備わった運動制御能力である。しかしながら、やはり体育・スポーツ場面では時々刻々と絶えず変化する状況の中で合目的な運動の遂行が求められることが多く、体育・スポーツ分野において素早い運動修正のメカニズムを明らかにすることは、優れた運動パフォーマンスの遂行につなげるための重要な研究課題である。

本研究で取り上げた素早い運動修正は、遂行中の動作を停止して新たに動作を開始するという点から脳・神経系による能力であり、中枢神経系における制御過程の解明が必要とされる。そのために有用な研究手法として、限定された関節運動に関与する主動筋と拮抗筋の筋活動から運動制御方略を読み解く方法が挙げられる。この筋活動は中枢神経系からの運動指令を反映しているとされている。素早い運動の修正過程について検討した先行研究では、素早い肘関節伸展動作を用いて途中停止を要求する課題を設定して実験を行い、予めプログラムされている動作でも主動筋と拮抗筋の活動をそれぞれ修正することによって途中停止を行っていたことが明らかになっていた (Kudo and Ohtsuki, 1998)。このように、運動修正過程においては、まず素早く現行の運動を抑制する過程に焦点を当てられてきた。

しかしながら、身体運動は連続性を伴うものが多く、新たな運動への連続的な修正をいかに円滑に行うのかという点がパフォーマンスの成否に関わるといえる。この研究背景に基づいて、以前から素早い肘関節運動における運動の大きさや方向の修正過程についての研究を行い、修正する運動パラメーター（大きさ・方向）によって修正方略が異なる可能性を示唆した (Takatoku and Fujiwara, 2009; 高德・藤原, 2009)。さらに、本研究では、これまでの研究結果をふまえ、運動の遂行段階による修正方略の差異（不随意的・随意的）、運動遂行経験による修正方略の熟達過程を新たな着眼点とした。

## 2. 研究の目的

ヒトの円滑な身体運動の基盤となる「素早い運動のリアルタイム修正方略」を明らかにするために、素早い肘関節運動修正時にみられる筋活動および運動学的指標の変化から、中枢神経系における制御過程を検討することを目的とした。特に、素早い運動の修正は中枢神経系（脳・脊髄）によって制御されていることから、単関節運動（肘関節運動）を実験課題とし、以下の2点について明らかに

することとした。

### (1) 運動の遂行段階による修正方略の差異

運動遂行段階は、①情報の知覚から発現、②発現から加速、③加速から減速、④減速から停止といったいくつかの段階に区別され、常に変動する外部環境によって修正が必要となった時の遂行段階も異なることから、運動がどの程度まで遂行されているのかによって修正方略が異なるのは明らかである。特に「素早い」という言葉で表現される運動は短時間で遂行される運動であり、その修正方略は不随意的あるいは随意的な修正、それらの組み合わせであると考えられる。これまでの研究では運動遂行段階によって異なるタイミングで修正要求を行うという実験モデルは少なく、さらに体系的に比較するという手法は用いられていなかった。そこで、本研究では素早い運動遂行中の各遂行段階における修正要求に対する反応から修正方略の差異について明らかにすることとした。

### (2) 運動遂行経験による修正方略の熟達過程

誰も初めて経験する運動を円滑に遂行するためにはある程度の時間を要するが、繰り返し経験することによって円滑な遂行が可能となり、状況や外乱に合わせて適切な運動へと修正できるようになる。また、その変化は遂行者が意識して修正しようとしている場合もあれば、無意識下である場合も十分に考えられる。このように、運動を繰り返す行う「経験」の影響は大きい。よって、本研究では運動修正の経験による筋活動等の変容から修正方略の熟達過程を明らかにすることとした。

## 3. 研究の方法

本研究では、ターゲットまでの素早い肘関節伸展運動を課題として、遂行中に呈示されるターゲット変更に伴って運動を修正する際の運動学的指標（運動軌道、速度、加速度）と運動に関与する主動筋および拮抗筋の活動パターンについて検討するために、第1実験によって実験設定を確立した上で、本実験となる第2実験を実施した。

### (1) 第1実験

第1実験では、実験課題として妥当な目標修正時刻を検討、先行研究等もふまえて実験課題と手続きについて再検討した。

①被験者：右利きの一般成人女性9名

②実験設定：可変抵抗を回転軸としたレバーアームをアクリル板上に取り付けた装置を作成、装置上には動作開始位置から45°伸展した位置に第1ターゲット(T1)、90°伸展した位置に第2ターゲット(T2)を設けた(刺激呈示用発光ダイオードをターゲット位置に設置)。座位姿勢をとった被験者の前方、肩の高さで水平に作成した装置を設置。被験者は肩関節を90°外転、45°水平屈曲させた状

態でレバーアームの回転軸に肘関節を合わせてハンドルを握った。動作開始時の肘関節は45°屈曲した状態とした(図1A)。  
 ③実験課題と手続き：被験者は動作開始刺激(ターゲットに設置した視覚刺激)に対して、開始位置からできる限り素早く呈示されたターゲットまで肘関節を伸展した。開始位置から第1ターゲットまで伸展するShort課題(伸展角度45°、図1B)、第2ターゲットまで伸展するLong課題(伸展角度90°、図1C)を、予め口頭でいずれかの課題を呈示してからランダムに24試行ずつ行った。これを「目標指定条件」とした。

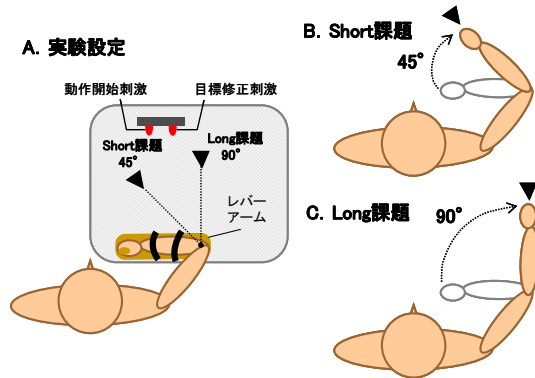


図1. 実験設定 (A) と実験課題 (B および C)

④測定および分析項目：右上肢の上腕三頭筋(主動筋)および上腕二頭筋(拮抗筋)から筋電図を導出、全体の筋活動パターンを分析した。可変抵抗の電圧変化からは動作角度を測定し、さらに動作速度と加速度を算出した。

#### (2) 第2実験

第2実験では、第1実験の結果をふまえ、8種類の目標修正時刻で、より素早い動作修正の成功率が高かったShort課題からLong課題への修正を「目標修正条件」として実施した。

①被験者：右利きの一般成人女性9名  
 ②実験設定：第1実験の結果をふまえ、2種類の視覚刺激呈示箇所を調整した。操作盤の設置と被験者の姿勢は第1実験と同様であった。  
 ③実験課題と手続き：第1実験と同様に、被験者は動作開始刺激に対して、動作開始位置からできる限り素早く呈示されたターゲットまで肘関節を伸展した(45°伸展するShort課題、90°伸展するLong課題)。

まず、予め開始前に口頭で呈示された課題を素早く行う「目標指定条件」として、各課題をランダムに6試行ずつ行った。

次に、Short課題開始の呈示刺激を動作開始刺激とし、その後Long課題への目標修正刺激が呈示される「目標修正条件」を行った。動作開始刺激(第1ターゲット視覚刺激)から目標修正刺激(第2ターゲット視覚刺激)の呈

示までの時間間隔(ISI)は50~400ms間で8種類(50ms毎)設定し(図2)、1ブロック18試行(1ブロックは目標修正を行う課題を各ISIにつき1試行ずつ、その他は目標修正のない課題を10試行とした)を6ブロック行った。

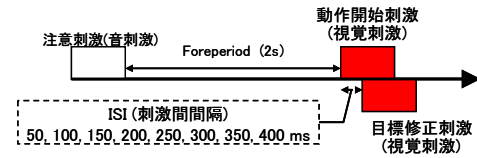


図2. 目標修正条件における刺激呈示間隔

④測定および分析項目：右上肢の上腕三頭筋(主動筋)と上腕二頭筋(拮抗筋)より筋電図を導出し、筋活動パターンを分析した。可変抵抗の電圧変化からは動作角度を測定し、さらに動作速度と加速度を算出した。

#### 4. 研究成果

第2実験の目標修正条件において、Short課題からLong課題への素早い修正時の主動筋および拮抗筋の筋活動パターンを中心に分析を行った(目標指定条件におけるShort課題およびLong課題を比較対象)。

##### (1) 運動の遂行段階による修正方略の差異

目標修正呈示時刻(ISI50~400ms)によって運動の遂行段階が異なっており、以下のような修正方略の差異がみられた。

##### ①主動筋開始前の修正呈示に対する方略

ISI150ms以下で修正刺激が呈示された条件において、修正刺激呈示時には、実際に被験者の主動筋活動は開始されていなかった。観察された筋活動パターン(図3)は計画されていたであろうShort課題の筋活動パターンとは異なっていたため、筋活動開始前に中枢神経系内において、すでにLong課題の運動指令へと修正されていたと考えられる。

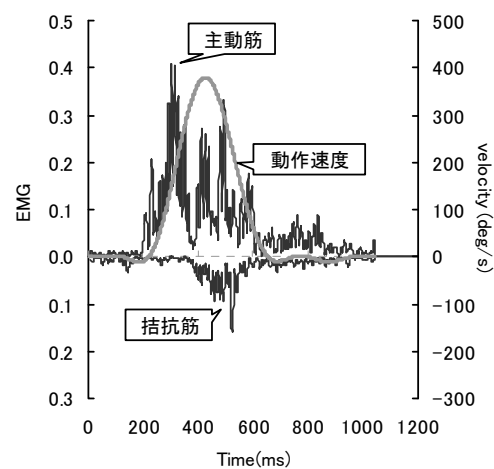


図3. ISI50msにおける筋活動と動作速度

## ② 主動筋開始直後の修正呈示に対する方略

ISI200~250ms で修正刺激が呈示された条件においては、修正刺激呈示時には被験者の動作はまだ開始されていなかったが、すでに主動筋の活動は開始されていた。この場合は、主動筋活動中の修正刺激呈示に反応して一旦活動が減少するが、直ちに再活動しており、一方で拮抗筋活動は主動筋再活動に合わせて活動していた(図4)。動作速度の顕著な減速はみられなかったが、主動筋開始前の修正呈示と比較すると、速度ピーク値は減少していた。

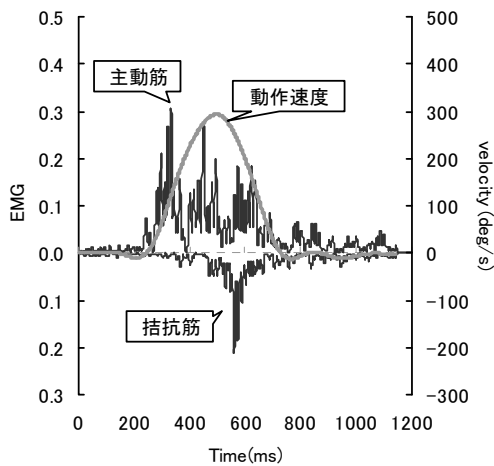


図4. ISI200msにおける筋活動と動作速度

## ③ 動作開始後の修正呈示に対する方略

ISI300ms以上で修正刺激が呈示された条件においては、修正刺激に反応して主動筋および拮抗筋活動がともに減少していた(図5)。そのため、動作速度の顕著な減速がみられ、第1ターゲット付近での動作の停滞がみられた。その後、直ちに主動筋活動を開始することでLong課題へと修正を行っていた。

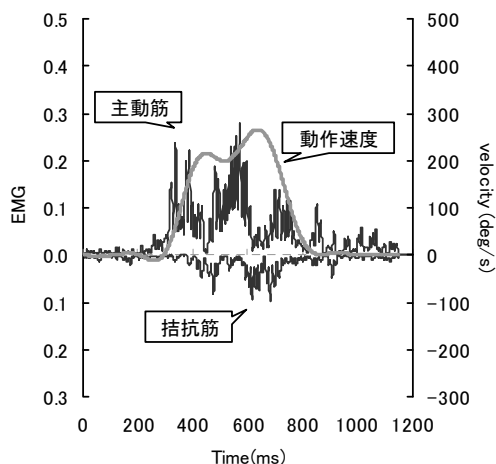


図5. ISI300msにおける筋活動と動作速度

これらのことから、運動の遂行段階によって、計画していた運動指令自体を素早くキャンセルできるかどうか、すでに開始されている運動指令を素早く途中修正できるかどうか異なっており、これらがスムーズな動作修正の成否に影響していると考えられる。

## (2) 運動遂行経験が修正方略に及ぼす影響

各被験者における目標修正条件の前半ブロックと最終ブロックの試行を比較し、素早い修正を繰り返し経験することによる筋活動パターンへの影響について検討した。

前半ブロックでは、修正呈示時刻に関わらず、主動筋の明確な活動が観察されていたが、最終ブロックでは、主動筋の活動が顕著に減少していた。さらに、主動筋の活動減少とともに拮抗筋の活動も顕著に減少し、明確な活動がみられなくなった。すなわち、素早い修正を繰り返し経験することによって、いかなるタイミングでの修正呈示にも対応できるように、予め主動筋の活動を抑制しつつ動作を開始し、その後に修正刺激が呈示された場合でも主動筋活動の調整のみでの運動修正を行う制御方略へと変化したと考えられる。

## (3) 素早い運動のリアルタイム修正方略

本研究の目標修正条件においては、8種類の修正呈示時刻を設けたが、運動の遂行段階と合わせて分類すると3つの修正方略が挙げられた。特に、動作修正の難易度は動作開始後のタイミングで要求される修正が最も困難であるが、その効率的な修正方略としては、開始している運動指令を咄嗟にキャンセルしてから、直ちに新たな運動指令によって主動筋を再活動すること、かつ拮抗筋活動をやや抑制しつつ、できるだけ主動筋活動の調整のみで遂行することが重要であると考えられる。

また、運動修正を繰り返し経験することによって、予め主動筋の過剰な活動を抑制し、修正刺激呈示後には主に主動筋の活動のみを調整して運動修正を行う制御方略へと変化していたことが明らかとなった。

本研究では、肘関節運動という単一関節の単純運動を用いて主動筋と拮抗筋活動パターンを指標としたが、これにより運動制御の基盤となる中枢神経系における制御過程を明らかにすることが可能となった。しかしながら、本研究における運動修正の内容は動作角度を大きくする修正すること、すなわち出力を増加させることに限定されていたといえる。今後は、これらの結果をもとに、出力増加だけではなく、出力抑制や動作方向の修正といった様々なバリエーションの運動修正を対象とし、日常生活や体育・スポーツ場面で必要とされる運動に共通する制御過程を見出すことが重要であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

① Nozomi Takatoku, Muscle activity patterns for quick modification of rapid elbow extensions, The 5th Asia-Pacific Conference on Exercise and Sports Science, 2011.11.3, Shanghai.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高德 希 (TAKATOKU NOZOMI)

奈良女子大学・大学院人間文化研究科・助教

研究者番号：80554477