

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01620

研究課題名(和文) 周期運動における長潜時反射の役割

研究課題名(英文) Long latency reflex during cyclical movement

研究代表者

村岡 哲郎 (MURAOKA, Tetsuro)

日本大学・経済学部・准教授

研究者番号：30398929

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：両手の筋を結ぶ反射回路は、人を対象としたこれまでの研究では大脳を介する長潜時の反射回路のみが報告され、短潜時の反射回路は報告されていなかった。本研究では、実験回数を多くすることで観測データのノイズ成分の影響を低減させるという工夫をこらし、大脳を介さない脊髄経由の短潜時の反射回路が存在することを人の上肢を対象として示した。片手でのリーチング中、リーチング動作を生み出す筋における長潜時反射活動の強さは、動作が効率的に行われるようにリーチングの位相に応じた調節がなされていることが示された。この調節はリーチングの方向や筋の種類によらなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一方の腕から他方の腕へと素早く影響を及ぼす神経回路を明らかにしました。この神経回路は大脳を介さず脊髄経由で情報を伝達するとても速い(50ミリ秒以下)もので、人の下肢での報告はありましたが、上肢で報告されたのは初めてです。こうした神経学的知見は、人がどのようにして両手の運動を制御しているかという研究や、神経科学的エビデンスを基盤としたニューロリハビリテーションといった分野で役立つことが期待できます。

研究成果の概要(英文)：In previous human studies of neural reflex networks between bilateral arms, only long-latency reflexes mediated by the cerebrum have been reported, and short-latency reflexes have not been reported so far. In the present study, we demonstrated the existence of a short latency reflex circuit via the spinal cord without the cerebrum in human upper limbs by increasing the number of experiments to reduce the influence of noise components in the observed data. During one-handed reaching, the intensity of the long latency reflex activity in the muscles that produce the reaching motion is adjusted according to the phase of the reaching motion in order to perform the motion efficiently. This adjustment was independent of the direction of the reaching and the type of muscle.

研究分野：運動神経科学

キーワード：長潜時伸張反射 両手

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 二肢の運動を協調させる基本的メカニズムを調べるために、二肢協調周期運動をモデルとした研究が数多く行われてきた。その結果、二肢協調周期運動は、運動方向 (Muraoka et al., *Neurosci Res*, 2013) や運動の組み合わせ (Muraoka et al., *Neurosci*, 2013), あるいはその両方 (Muraoka et al., *Sports Perform*, 2015) の制約を受けることが示された。言い換えると、二肢協調周期運動は何らかの「知覚的目標」を再現するように構成されている (Muraoka et al., *J Phys Fit Sports Med*, 2016; Mechsner et al., *Nature*, 2001)。

(2) 運動の「知覚的目標」をどのような神経メカニズムによって再現しているかという問題に対して、二肢間神経回路を調べた研究がある。例えば、経頭蓋磁気刺激法を用い、一肢動作を行ったときの他肢筋を支配する皮質脊髄路興奮性の変動を調べた研究から、上述した運動の制約に応じた二肢間神経回路が示されており (Muraoka et al., *Front Hum Neurosci*, 2015) (図1), 二肢間神経回路の強さは二肢協調運動安定性に影響することが示唆されている (McIntyre-Robinson and Byblow, *J Neurophysiol*, 2013)。しかし、二肢協調周期運動を遂行する際に生じる運動誤差が、どのような神経メカニズムによって修正されるかについては明らかにされていない。

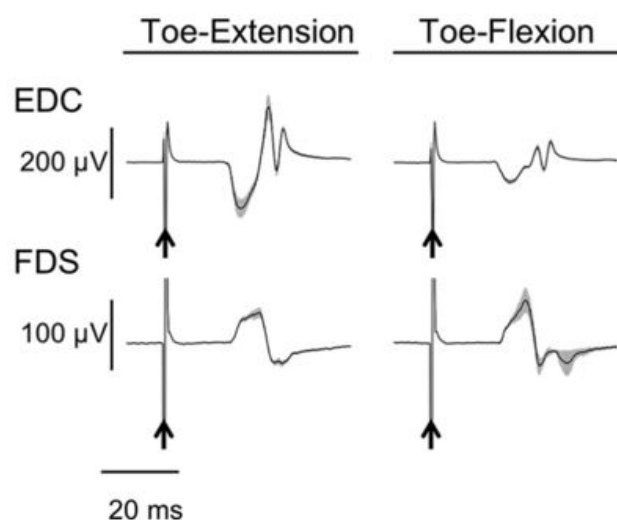


図1：安静にしている手指伸筋 (EDC) と手指屈筋 (FDS) から記録した皮質脊髄路興奮性の指標である運動誘発電位 (MEP; ↑での刺激後 20ms 以降に生じる波形振幅) は、足指伸展中には EDC の MEP が大きく、足指屈曲中には FDS の MEP が大きい (Muraoka et al., *Front Hum Neurosci*, 2015 より引用)

### 2. 研究の目的

本研究では、肢間神経回路を検討するため、片側または両側上肢に外乱を加えた時に左右上肢筋にどのような反射活動が生じるかを調べ、二肢協調動作遂行の際に生じる運動誤差を修正する神経メカニズムを明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 装置

本研究で共通して使用する実験装置は感覚・運動・認知機能評価装置 (KINARM, BKIN Tech. 社製) と表面筋電図測定装置である。感覚・運動・認知機能評価装置を用い、肢位の計測と肢への外乱付加を行う。被験者は卓上モニターに映される指先位置を示す点を見ることが出来るが、腕を見ることは出来ない。表面筋電図測定装置を用い、肩関節伸筋 (三角筋後部) と肩関節屈筋 (大胸筋) から表面筋電図を計測する。実験の運動課題に即したターゲットを卓上モニターに映し、そのターゲットに対して被験者は指先位置をコントロールすることで指示された運動課題を行う。

#### (2) 運動課題

本研究では、両側上肢での一定姿勢保持および片側上肢の到達運動/周期運動を最終的に運動課題として選択した。両側上肢での一定姿勢保持課題では、被験者は肩関節伸展あるいは肩関節屈曲の一定負荷 (1.5 Nm) を課された状態で姿勢を保持し、ランダムなタイミングで片側もし

くは両側に外乱として肩関節伸展あるいは肩関節屈曲のパルス負荷 (2 Nm, 95 ms) を加えた。片側上肢の到達運動課題では、肘関節角度 90 度、肩関節角度 60 度の位置と肘関節角度 90 度、肩関節角度 25 度の位置にターゲットを示し、被験者は肩関節動作のみによる肩関節伸展もしくは肩関節屈曲の到達運動課題を行った。到達運動途中の異なる 4 つのタイミングで外乱を加えた。外乱は肘関節と肩関節への伸展・屈曲トルクパルス負荷を組み合わせたもので、外乱付加開始から 50 ms 後に外乱を付加しない場合の手先軌道と比較して平行もしくは垂直に手先位置が一定距離 (約 1 cm) だけずれるように設定した。片側上肢の周期運動課題では、到達運動課題とほぼ同様の実験設定としたが、肩関節屈伸動作をよりスムーズに行えるよう、ターゲット位置を肘関節角度 90 度、肩関節角度 55 度の位置と肘関節角度 90 度、肩関節角度 30 度の位置とした。

#### 4. 研究成果

##### (1) 両側上肢間の神経接続

一定姿勢を保持している時に片側の肩関節伸展あるいは肩関節屈曲の外乱を加えると、短潜時 (36-50 ms) および長潜時 (66-100 ms) の伸張反射が対側肩関節筋に生じた (図 2)。これまでの人を対象とした研究では、両下肢間では短潜時の伸張反射が生じることが示されていた (Stubbs and Mrachacz-Kersting, 2009; Stevenson et al., 2015) が、人の両上肢間で短潜時の伸張反射が生じることが報告されていなかった。本研究では従前の研究における試行回数 4-8 倍の 40-80 回の試行回数のデータを加算平均することで感度を高め、人の両上肢間で短潜時の伸張反射が生じることを示すことに初めて成功した。肢間伸張反射の短潜時成分と長潜時成分が逆 (興奮性, 抑制性) の作用となっていることについては、それぞれの反射が果たす機能 (姿勢の安定, 外部物体の制御, など) との関わりが考えられたが、これについてはさらなる検証が必要である。

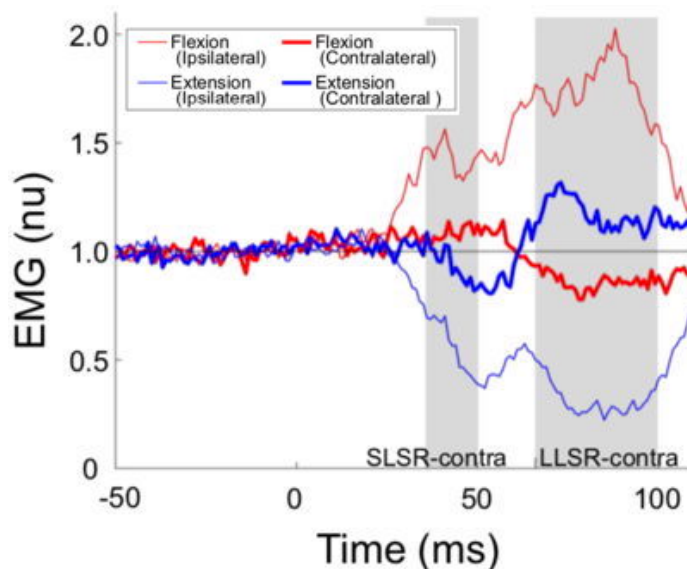


図 2 : 外乱を加えた肩関節伸展筋と加えていない対側肩関節伸展筋に生じた反応 (全波整流後全試行加算平均)

外乱を加えた肩関節では、伸張した筋の短・長潜時の伸張反射およびその拮抗筋の相反抑制がみられる。一方、外乱を直接加えていない対側肩関節においても、短潜時と長潜時の反応がみられた。

両側肩関節に同時に外乱を加えた時の反射成分の変化から、肢間短潜時伸張反射の神経回路を推定することができた。両側への同時外乱時の抑制性肢間伸張反射の大きさは、片側外乱時の肢内伸張反射の大きさと片側外乱時の肢間伸張反射の大きさの和であったことから、抑制性肢間伸張反射回路は肢内伸張反射回路とは独立していると考えられた。一方、興奮性肢間伸張反射はそのような関係ではなかったことから、興奮性肢間伸張反射回路は肢内伸張反射回路と共通の介在ニューロンに情報の収束があると考えられた。

これらの結果は、人の基本的な神経機構を明らかにしたという点で非常に価値がある。両手協調動作遂行においてこうした神経機構がどのような働きをしているかを明らかにすることが今後の課題である。

##### (2) 到達運動時の長潜時伸張反射の調節

本研究では、肩関節運動のみによる到達運動を運動課題とし、また、運動軌道に対して水平および垂直方向に一定距離の位置変化を生じさせる外乱を加えた (図 3)。これにより、到達運動の任

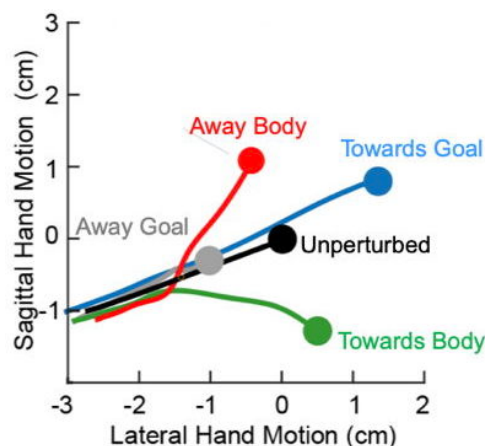


図 3 : 外乱後 50ms の手先位置

外乱の無い試行 (黒) に対し、運動軌道に水平・垂直に一定距離の場所に手先位置が移動する外乱が付加されている。

意の位相で同一の外乱による反射様相を観察することが可能となった。

到達運動の主働筋の長潜時伸張反射は到達目標に近づくほど大きくなり(図4), 平面フィッティングでの分析結果から, 到達目標に近づくほど反射ゲインが増大することが示された。最適フィードバック制御(OFC)に基づくモデリングの結果も同様の反射ゲインの調節を示したことから, 到達運動時の長潜時伸張反射の変動はOFCで説明可能であることが示唆された。この研究成果は, 両側上肢協調周期運動の制御機構を調べるための第一歩として重要な情報を提供したと言える。

片側肩関節到達運動課題の遂行時, 対側肩関節筋の長潜時伸張反射は到達目標に近づくほど減少した。しかし, 一定姿勢を保持するはずの対側肩関節が到達運動の動きに対応して変位してしまい, 得られた結果が肢間の影響を示しているのか, 意図しない変位によるものなのかを明らかにすることが出来なかった。今後の研究では, 体幹や肩関節の固定に工夫をこらして実験を実施する必要があると考えられた。

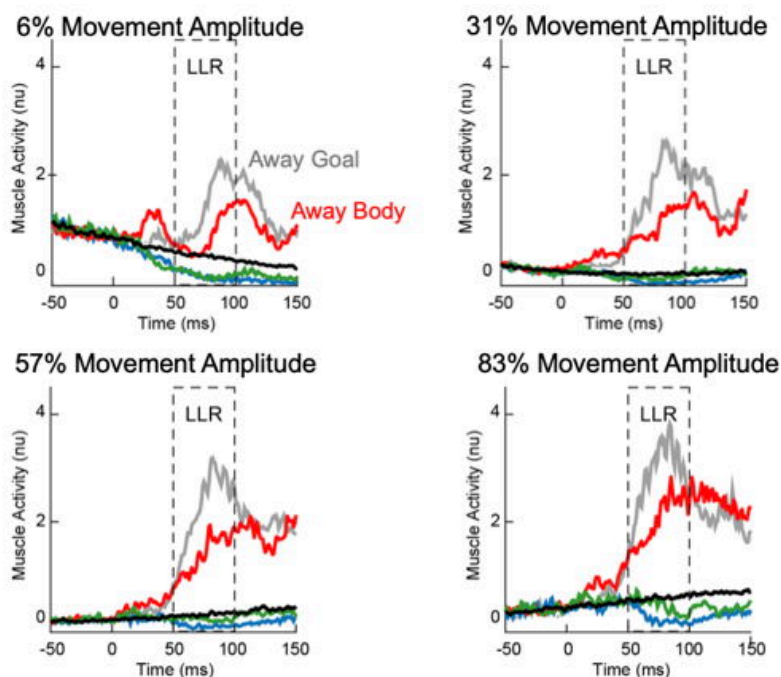


図4：到達運動中の主働筋活動

主働筋の長潜時伸張反射(50-100 ms)は, 2方向の外乱に対して到達目標に近づくほど大きな反射活動を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Muraoka Tetsuro, Kurtzer Isaac	4. 巻 431
2. 論文標題 Spinal Circuits Mediate a Stretch Reflex Between the Upper Limbs in Humans	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroscience	6. 最初と最後の頁 115 ~ 127
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neuroscience.2020.02.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 村岡哲郎
2. 発表標題 視覚運動情報が到達運動課題時の長潜時伸張反射に及ぼす影響
3. 学会等名 第27回日本運動生理学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村岡哲郎, Isaac Kurtzer
2. 発表標題 ヒト上肢間における短潜時および長潜時伸長反射
3. 学会等名 第41回日本神経科学大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	ニューヨーク工科大学			