

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 9 月 26 日現在

機関番号：22101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24700613

研究課題名(和文) 誤差情報の認知および修正運動の意図が随意運動学習に及ぼす影響

研究課題名(英文) The influences of cognition and intention of corrective movement for motor error on motor learning.

研究代表者

角 友起 (Yuki, Kaku)

茨城県立医療大学・保健医療学部・助教

研究者番号：50551363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：運動学習の成立には運動の誤差情報に基づく学習信号の生成とそれによる脳の可塑的变化が必要であるが、誤差情報がどのような情報処理を経て学習信号を生み出すかは不明である。本研究はサッケード運動および手指ピンチ運動の学習系を用いて、運動誤差の認知及び誤差修正運動の意図の形成と運動学習との関連を調べた。運動誤差を認知させる情報の感覚種の違いによって学習の成否が分かれること、特に運動目標と誤差それぞれを示す情報の感覚種の同一性が学習成立に重要であること、明確な誤差情報がなくとも誤差の修正運動の意図の形成により学習が成立することが示された。

研究成果の概要(英文)：Motor learning appears to be dependent on information about movement error. In the brain, the error information should be converted to the learning signal that induces a plastic change in a movement circuitry. However, this conversion process is still unclear. In the present study, we investigated the influences of the cognition of error information and that of the intention of corrective movements for movement error on motor learning using saccadic eye movements and pinching force control tasks. The results showed that 1) learning could be induced by the movement intention for error correction in the absence of explicit sensory input indicating error, 2) motor learning may require modal similarity between information about movement target and that about movement error.

研究分野：神経科学

キーワード：サッケード 運動学習 誤差

1. 研究開始当初の背景

我々が行う運動が正確さを保つためには、運動学習という脳可塑性の機構が不可欠である。運動学習の成立には、行われた運動の不正確さを示す誤差の感覚情報が必要となる。この感覚情報をもとに、運動をどのように変化させるべきかを指示する学習信号が脳内で生成され、運動制御回路に可塑的变化をもたらすと考えられる。しかし誤差情報がどのような情報処理過程を経て学習信号に変換されるのかについては、不明な点が多い。

随意運動学習のメカニズム解明の研究において、随意眼球運動であるサッケード眼球運動がモデルとしてよく用いられている。サッケードは網膜中心窩で視覚目標を捉えるための急速眼球運動である。これまでの研究により、小脳虫部皮質がサッケード運動学習の可塑性の座であることが明らかになっている。また近年、小脳虫部プルキンエ細胞の複雑スパイクが運動誤差の情報に関連した活動を示すことが報告されている。これらの研究より、サッケード運動の誤差の感覚情報が虫部皮質に可塑的变化をもたらす、運動学習が成立するという図式が提唱されてきた。

サッケード運動学習を誘発させる実験課題では、サッケード終了後に誤差を解消するための修正サッケードが起こる。修正サッケードの運動信号は誤差の感覚情報を基に作られ、修正運動のベクトルは誤差ベクトルに一致するため、修正運動信号も誤差情報を内包しているといえる。したがって、修正サッケード信号が学習信号として小脳に可塑性をもたらしている可能性が考えられる。研究代表者らは、サッケード運動信号の中樞である中脳上丘をサッケード終了直後に電気刺激することでサッケード運動学習が誘発され、運動終点が徐々にシフトすることを発見した。しかしサッケード運動そのものを誘発しない閾値下刺激でも学習が生じたため、学習信号は修正運動を直接引き起こすような運動指令信号ではなく、誤差に対する修正運動の意図を表象する神経信号ではないかと考えられた。また修正運動の意図の形成の前段階は誤差情報の認知プロセスがあり、誤差認知と運動学習との関連も不明な点が多く、解明の必要性があると考えられた。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本研究では誤差を示す情報の認知及び修正運動の意図の形成と随意運動学習との関連を明らかにし、誤差の感覚情報が学習信号を生み出すまでの脳内メカニズムの解明に迫ることを目的とした。

3. 研究の方法

実験 修正運動の意図の形成と運動学習成立との関連

被験者にはコンピュータ画面上に表示される半径3度の円の中心(注視点から水平左右12度離れた位置に表示)に向けてサック

ード運動を行う課題を行わせた。円はサッケード開始と同時にサッケードと逆の方向に3度移動するため、被験者はサッケード終了後に(移動した)円の中心を捉えるべく再度サッケード(修正サッケード)を行うことが求められた。この実験では運動目標が円の中心という視覚的に不明確なものであり、運動誤差を示す明確な視覚情報も呈示されないが、修正運動を行うことは要求される。この課題を繰り返すことで、サッケードの終点が修正サッケードの方向にシフトする(振幅が短くなる)運動学習が起こるかどうかを調べた。また、円をサッケードと同方向に移動させる実験も別に行い、サッケードのサイズが増加する運動学習が誘発されるかどうか調べた(以下図1)。

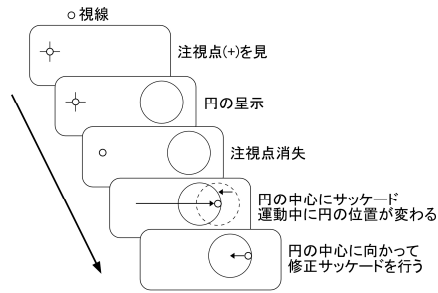


図1 サッケード実験の模式図

実験 運動誤差の感覚情報の認知過程と随意運動学習との関連

運動誤差に対する修正運動の意図の形成の前段階である、誤差認知の過程と運動学習との関連を調べるため、本実験ではサッケードと同様にオンライン制御の介在しない急速運動である手指ピンチ運動を用い、誤差を示す感覚情報の種類と運動学習との関連を調べた。母指および示指によるピンチ力を測定してコンピュータディスプレイに表示する実験環境において、視覚的に示される目標値に対してピンチ力を出力する課題を行わせた。コンピュータ操作により人工的に作成した運動誤差を視覚的あるいは聴覚的にフィードバックし、両群における運動学習の成立の差異を調べた(図2、図3)。

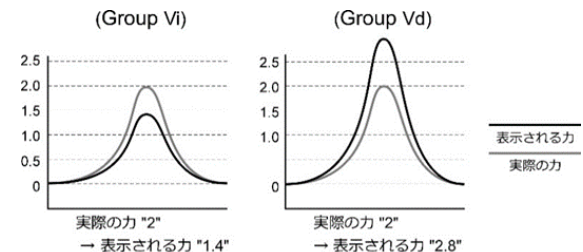


図2 視覚的誤差フィードバック実験

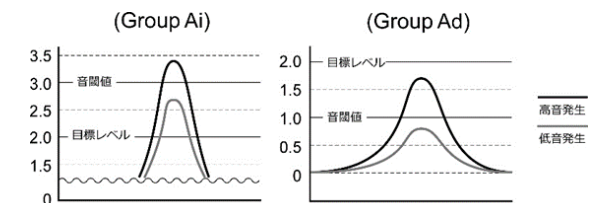


図3 聴覚的誤差フィードバック実験

#### 4. 研究成果

##### 実験

サッケードの目標となる円がサッケードの方向とは逆に移動する課題 (backward step 課題) において、課題を繰り返した後のサッケード運動の大きさは課題実施前に比べて明らかに減少した。右方向のサッケード運動において円移動を行った場合、円を移動させない左方向のサッケード運動では運動振幅の変化は見られなかった (図4)。サッケードの目標となる円がサッケードの方向と同じ方向に移動する課題 (forward step 課題) においては、課題を繰り返した後のサッケード振幅は課題実施前よりも大きくなった。Backward step 課題と同様に、円を移動させない方向のサッケード運動の大きさは変化しなかった (図5)。

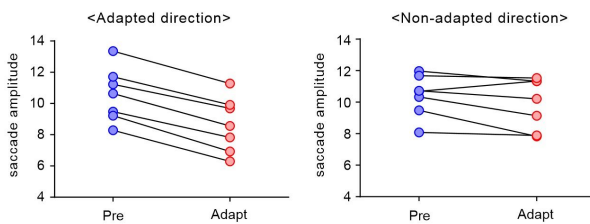


図4 Backward step 課題の結果

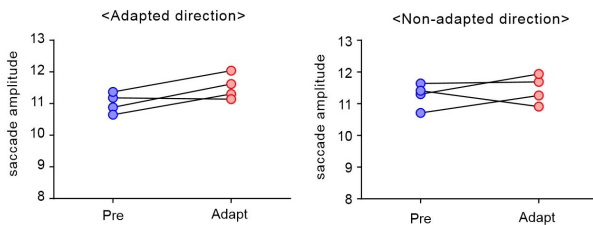


図5 Forward step 課題の結果

以上より、明確な視覚による誤差情報が呈示されなくとも、修正運動を実施する意図が形成されることでサッケード運動学習が成立しうることが示された。この結果は随意運動学習を促す学習信号が単なる誤差の情報ではなく、誤差を解消する運動の意図を表象する信号である可能性を示唆すると考えられる。

##### 実験

視覚性フィードバック群において、Vi 群 (ピンチ力が目標より小さかったという負の誤差を提示する群) ではフィードバックを与える学習課題の最後および学習後 (ポストテスト) の値はプレテストの値に比べて明らかに大きくなっており、視覚の誤差フィードバックによってピンチ力が増加したことが示された。Vd 群 (ピンチ力が目標より大きかったという正の誤差を提示する群) においては、学習課題の最後およびポストテストの成績はプレテストに比較してより有意に低値となっており、ピンチ力の減少が示された (図6)。

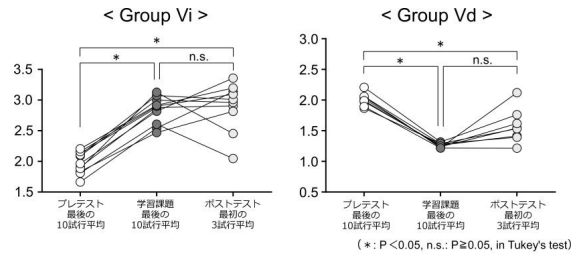


図6 視覚性誤差フィードバックの結果

聴覚性フィードバック群 Ai 群 (ピンチ力が目標より小さかったという負の誤差を提示する群) において、フィードバックを与える学習課題の最後の値およびポストテストの値はプレテストにおける最後の値に比べて明らかに大きくなった。同じく Ad 群 (ピンチ力が目標より大きかったという正の誤差を提示する群) でも学習課題における最後は明確に小さな値を示した。しかしポストテストではその値が大きく減少 (Ai 群) あるいは増加 (Ad 群) しており、プレテスト - ポストテスト間では優位な差がなかった (図7)。

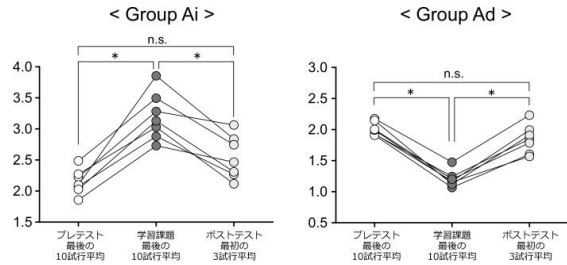


図7 聴覚性フィードバック実験の結果

以上の結果より、随意運動の誤差を示す情報を認知させる感覚種の違いにより運動学習成立の可否に差異が生じること、誤差情報の感覚種と運動の目標を示す情報の感覚種の同一性が運動学習に重要であることが示唆された。

#### 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)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

角 友起、高松 克守、桑名 俊一、誤差フィードバックのモダリティの違いによる運動学習効果の差異、植草学園大学研究紀要、第 8 巻、2016 年、129-135

角 友起、岩本 義輝、視覚機能とリハビリテーション 眼球運動システムからみた半側空間無視、作業療法ジャーナル、第 47 巻第 6 号、2013 年、502-506

〔学会発表〕(計 3 件)

Y Kaku, Learning in saccadic eye movement without explicit error signal, The 38<sup>th</sup> Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, 2015

Y Kaku, K Takamatsu, S Kuwana,  
The influence of feedback modality of  
error information on motor learning,  
The 37<sup>th</sup> Annual Meeting of the  
Japan Neuroscience Society, 2014  
角 友起、KR モダリティの違いが視覚誘  
導性の随意運動に及ぼす影響、第 21 回脳  
機能とリハビリテーション研究会学術集  
会、2014

6 . 研究組織

(1)研究代表者

角 友起 (KAKU, Yuki)

茨城県立医療大学 保健医療学部 医科学  
センター 助教

研究者番号 : 50551363