

令和元年6月13日現在

機関番号：33938

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01480

研究課題名(和文) 健常人と腱移行術症例に対する前頭前野負荷と運動学習遅延に関する実証的研究

研究課題名(英文) An Empirical Study in the delay of the motor learning with the load of pre-frontal area for Healthy Subjects and Tendon Transfer Cases

研究代表者

飯塚 照史 (IITSUKA, TERUFUMI)

星城大学・リハビリテーション学部・准教授

研究者番号：50581667

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：リハビリテーション分野での応用を視野に、運動学習の過程における「認知段階」および「連合・自動段階」の客観的区別を可能とする方法および指標の提案を研究目的とした。予備的検討結果に基づき、特定の課題について事前に十分練習をした者は、当該課題を遂行中に前頭葉活動を賦活するための課題を同時に与えても、効率性良く筋出力を発揮するものと仮定し検証した。事前に練習しない者と比較した結果、一部は仮説を支持する傾向が認められた。一方で、健常被験者において生来持ち合わせている運動経験の影響も考えられるため、患者群への応用は限定的であるものと考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新しい運動を学習するときには、言語情報で理解して、身体が慣れていくという過程を通る。これを客観的に区別する指標があれば、その時点でどのくらい学習が進行しているか、あるいはどのような練習が学習を進行させるかが分かるための基礎となる。本研究から、認知的課題を同時に行ったときの筋肉の収縮状態を目安として判断できる可能性があった。今後さらに研究を進めることで、手術をしたあとのリハビリテーションや、スポーツなどでの応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to propose novel outcomes or methods that can objectively discriminate between cognitive and associate stages in the process of motor learning. The hypothesis that effective muscle contractions are observed in the pre-training group while conducting the motor tasks with the load of the pre-frontal area simultaneously was tested. As a result, effective muscle contractions were observed in some healthy subjects. Further studies are needed to apply the results in patients such as those who have undergone tendon or muscle transfer surgeries, although some results supports the hypothesis.

研究分野：手外科，リハビリテーション

キーワード：運動学習 脳機能 評価法

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

リハビリテーション分野における最大の関心事は機能低下を来した部位を元の機能に回復させることにあり、その過程は運動学習にほかならない。この運動学習には、必要な要素を意識的に制御する「認知段階」、筋収縮の効率性を高める「連合段階」、外的環境が変化してもエネルギー効率の高い運動が可能となる「自動段階」の3つがあるとされる(Wulf G, 2007)。とりわけリハビリテーション場面において新規的学習が必要となる場면을具体的に挙げるならば、筋や腱を本来とは異なる機能を持たせる手術(筋・腱移行術)がある。当該手術においては、これまでとは異なる動き(例えば、薬指を曲げようとするとき親指が曲がる、など)となることを言語的情報から理解し(認知段階)、次に筋電図等を用いて筋収縮を視覚化しながらその動きに必要な力の入れ方と同時に不要な筋収縮を起こさせないように練習し(連合段階)、日常生活や仕事に必要な動作等への汎化を促す(自動段階)という一連の流れで説明することが出来るが、その区別は容易ではない。

一方で、運動学習段階のうち、「認知段階」については前頭前野機能を反映し、運動学習と関連があることが報告されている(Shadmehr et al. 1997, Hatakenaka et al., 2007)。

以上を基に、“運動学習過程の「認知段階」にあるときは、前頭前野に負荷を与えると運動学習が遅延する”と仮説を立て近赤外線分光法(NIRS; Near-Infrared Spectroscopy)と筋電図の同期を用いた予備的実験により仮説を支持する結果を得た。つまり「認知段階」において過剰な前頭前野負荷は学習を遅延する方向に作用する一方で、逆説的に「連合・自動段階」における前頭前野負荷は運動学習への影響は少ないものと捉えられる。つまり、前頭前野負荷課題を与えた際の運動学習の成否が「認知段階」と「連合・自動段階」を区別するポイントである可能性が高いものと考えた。

2. 研究の目的

(1) 特定の運動課題(つまみ力一定把持・指タッピング)を実施すると同時に、前頭前野へ負荷を与えた場合の筋収縮および出力の変化から「認知段階」および「連合・自動段階」を区別できるか否かを検証する。

(2)(1)にて見出される特徴的な変化が、新規的運動を学習すると捉えられる患者(筋・腱移行術後)においても同様に見られるか否かについて検証する。

3. 研究の方法

(1) 対象および群分け

健常若年者14名(平均年齢:21歳)を対象とした。動員された対象者については、事前練習群と非事前練習群として任意の群に分けた。

(2) 実験プロトコル

2016年度および2017年度においては、実験課題前にTask B(後述)について十分な練習を行った群を事前練習群、練習を行わない群を非事前練習群とした。2017年度以降については、事前練習群はベースラインでの計測ののち、1週間毎日10分程度Task B(後述)の練習を実施した。非事前練習群においては、これを行わなかった。

(3) 実験課題

課題はいずれもrest(20秒)-task(20秒)を1セットとして繰り返すブロックデザインとし、Task Aとして2-backテスト、Task Bとしてピンチ力一定把持あるいは指タッピング動作、Task Cとして“Task A + B”の3課題についてそれぞれ実施した。

Task A: 2-backテスト

ランダムに提示される 1桁の数字のうち2つ前と同じ数字であれば反応するという課題であり、本研究では「はい」と返事することとした。なお、本テストは前頭前野への負荷課題として難易度が適切であることが報告されている (Yokota et al. 2015) (図 1)。

Task B (2016~2017 年度): ピンチ力一定把持課題 (図 1)

あらかじめ測定した最大ピンチ力の 3 割を設定値としてこれを 20 秒間 (task) 維持することとし、10 セット実施した。

Task B (2017~2018 年度): 指タッピング課題

メトロノームの合図に合わせて 1 秒間に 1 回のペースでの人差し指によるタッピング動作を Task B とし、3 セット実施した (図 2)。



図 1. 実験課題

(4) 実験装置

NIRS (near-infrared spectroscopy ; 近赤外線分光法)

脳活動の計測には、NIRS (OEG-16, 株式会社スペクトラテック社, 東京) を用い 12 個のプローブを 3 cm 間隔で格子状に配置し、全 16 チャンネルにて計測した。脳活動状態については NIRS にて計測される酸素化ヘモグロビン (Oxy-Hb) をデータとした。なお、本研究においては、同時注意課題で特異的に賦活されるとされる ch1~5, ch11, 13~16 を興味関心領域として特定し、検討した。

筋電図

筋活動の計測には、表面筋電計 (Myoresearch, Noraxon 社製) を用いた。被検筋として、ピンチ力一定把持課題については、手関節を固定する橈側手根伸筋 (ECR) およびピンチ力発揮に関する主動筋として第 1 背側骨間筋 (FDI) を、指タッピング課題については、主動筋として、第 1 背側骨間筋 (FDI) および固有示指伸筋 (EIP) とした。

つまみ力測定

筋電図に同期してデジタルピンチ力計 (ピンチセンサー, 酒井医療) を接続し PC 上にて同期, モニターした。

二次元動作解析器

指タッピング課題においては、人差し指先端、親指先端およびこれらが交わる点にシールを貼付したうえで、二次元動作解析器 (タブレットトラッカー, 株式会社ライブラリー)

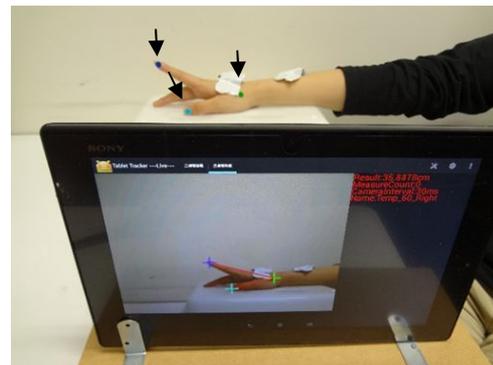


図 2. 指タッピング課題

二次元動作解析器 (写真手前) により、人差し指、親指とこれに交わる点に貼付したシール (矢印) が自動的に追跡される。

にて記録した。当該解析器においては、それぞれのシールを自動で追跡し、タッピングの速さ、親指と人差し指の角度についてリアルタイムで記録され、これをデータとした（図2）。

（5）統計学的解析

NIRS: Oxy-Hb データについては、rest および task での 10 セット分の加算平均値を算出し、rest と task の間で対応のない t 検定を行い、有意水準を 5% として有意差を認める部位を特定した。

筋電図およびつまみ力データ：筋電図は、task 20 秒間のうち中央の 10 秒間のデータを抽出したうえで、当該時間におけるピンチ力データで除した値 (kgf / μ V) を運動習熟値として算出した。なお、先行研究において運動が習熟するにつれて振幅が漸減する事が報告されているため、単位力当たりの筋電図振幅を示す運動習熟値については値が大きくなるほど運動が習熟しているものと操作的に定義した。この際、1 セット目を基準として以降の施行において運動習熟値が増加するか否かを検討した。解析には Dunnet 検定を適用した。

筋電図および指タッピング課題：筋電図データについては、前述の如く task 中央 10 秒間のデータを抽出し、予め測定していた最大筋力発揮時に対する相対値 (%MVC: %Maximum Voluntary Contraction) を算出し、データとした。指タッピング課題については、親指と人差し指、および交わる点の成す角度、さらにタッピング速度について各セットにおける変動係数 (標準偏差/平均) を算出し、ベースラインと最終評価および練習群、非練習群を t 検定を用いて比較した。なお、変動係数が減少するものを運動学習の効果と定義した。

4. 研究成果

NIRS

事前練習群、非事前練習群ともに一部を除いて Task A, B よりも Task C の活動領域が多くなる傾向にあった。したがって、認知的活動と運動を強いる Task C については両群とも前頭前野への負荷となっているものと考えられた（図3）。

筋電図およびつまみ力データ（ピンチ力一定把持課題：2016～2017 年度）

事前練習群においては、Task B における ECR で運動習熟値が有意に増加していた。Task C においても一部を除いて ECR の運動習熟値が有意に増加していた。一方で、非事前練習群においては、Task B, C いずれについても一部を除いて運動習熟値は減少する傾向であった。以上から、事前練習の有無、すなわち運動の習熟についてつまみ力発揮時の手関節固定筋の筋収縮の漸減によって判断できる可能性があった（図4）。

指タッピング課題および筋電図データ（2017～2018 年度）

ベースラインと最終評価の比較では、事前練習群の Task



図3. 典型例におけるNIRSデータ

※数字はNIRSのチャンネル、塗りつぶし部分はrest-task間で有意差のあったチャンネルを示す。事前練習群(a)、非事前練習群ともにTask A, Bよりも、Task Cにおいて広範囲に賦活されている。

B タッピング角度, Task C タッピング速度で有意に変動係数が大きくなっていった。一方, 指タッピング課題における筋電図データについては, 事前練習群で FDI, EIP とともに有意に減少していた(図 5)。よって, 事前練習の有無, すなわち運動の習熟について, 指タッピング動作における角度・速度では判断できない。一方で, 当該動作における筋収縮の漸減によって運動の習熟状態の判断ができる可能性が考えられた。

【総括】

運動学習における「認知段階」と「連合・自動段階」を区別するにあつては, 前頭前野へ負荷をかけ, さらに同時並行的に運動を実施した際の, 筋収縮の減少, 増加によって判断できることが示唆された。しかし, つまみ力を一定保持する静的動作については傾向が一定せず研究期間の途中からより動的な動作としての指つまみ動作を採用した。当該動作については, 筋電

図において運動習熟前後で, 筋収縮が漸減するという普遍的な傾向が見出された。一方で, 動作そのものの変化(タッピング速度・角度)は確認できなかった。これについては, 非事前練習群でも習熟傾向があることから, 指タッピング動作そのものが即座に習熟できる程度の過度に簡単な動作であることが一因と推測された。今後は, タッピングのリズムを変化させるなど, より複雑な動作を課題とする必要があるものと考えられた。また, これを通じて健常人における普遍性を確認したうえで臨床応用に向けて患者による検証が必要と考えられる。

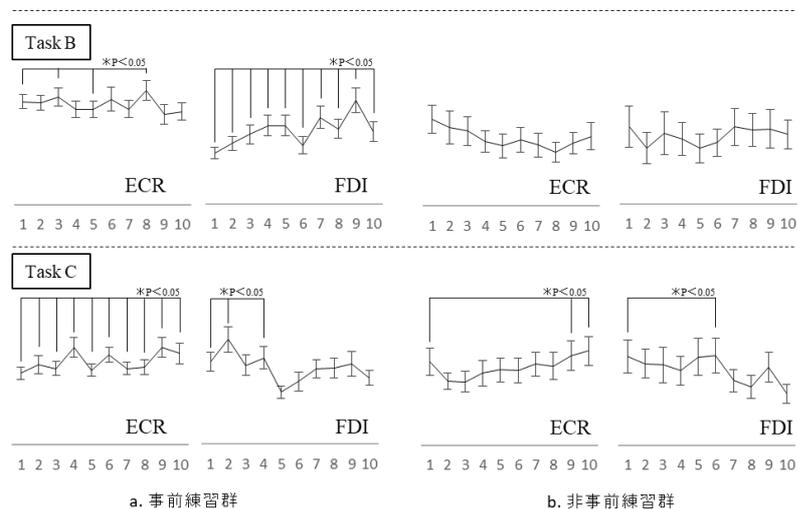


図4. 典型例における運動習熟値の変化

※縦軸は運動習熟値(kgf/μV), 横軸はセット数を示す。

事前練習群(a)は, 運動習熟値が増加する傾向にある一方で, 非事前練習群(b)では総じて減少傾向である。

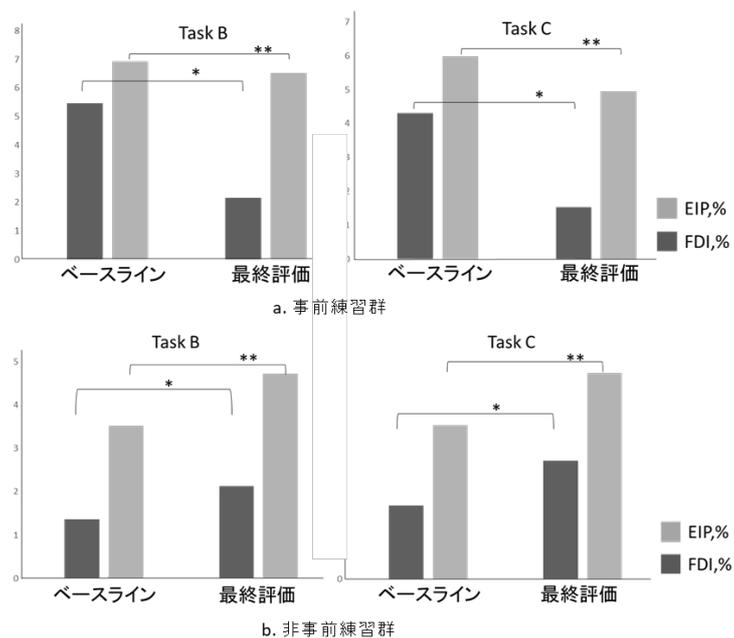


図5. 指タッピング動作における筋電図データのベースライン, 最終評価の比較(典型例)

※縦軸は最大収縮に対する相対値(%MVC), 横軸は計測時期を示す。

事前練習群(a)は, Task B, Cともに筋収縮が漸減しているが, 非事前練習群(b)では増加している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 1件)

Iitsuka T., Iwatsuki K., Hirata H.: The effect of mixed tasks on pretraining for grasping tasks with a fixed gripping power: A preliminary study. 5th congress of the Asia Pacific Federation for Societies for Hand Therapy. 2017.11.7-10. (Cebu, Philippines)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 岩月克之

ローマ字氏名: IWATSUKI KATSUYUKI

所属研究機関名: 名古屋大学

部局名: 医学部附属病院

職名: 講師

研究者番号(8桁): 90635567

(2)研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。