

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24年 5月25日現在

機関番号：13102
 研究種目：挑戦的萌芽研究
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21650051
 研究課題名（和文） NIRS脳計測は運動学習過程の脳活動モデルを構築できるか？
 研究課題名（英文） Can NIRS signals explain brain activities during motor learning ?
 研究代表者
 和田 安弘 (Wada Yasuhiro)
 長岡技術科学大学・工学部・教授
 研究者番号：70293248

研究成果の概要（和文）：
 本研究は、運動課題の繰り返しに伴って表れる脳活動の変化傾向に着目し、NIRS 計測による検討を行った。fMRI を用いた先行研究によれば、単純な運動または習熟した運動を繰り返し実行すると、慣れによる影響から脳活動(脳血流量)レベルが減少する。本研究では、単純な手指運動課題を複数セッションに渡って繰り返す実験を行い、NIRS により脳血流量変化を調べた。その結果から、運動関連領域において脳血流量の減少傾向が示された。

研究成果の概要（英文）：
 Recent fMRI studies of human motor function and learning have reported that the magnitude of brain activity involves a decreasing trend over repeated tasks in the absence of improvements in task performance, probably suggesting the effect of habituation. Here we show that similar effect can be detected by NIRS. In experiments, oxygenated hemoglobin (HbO) changes were monitored during a finger tapping task over repeated sessions. Results showed that task-related brain activity exhibited a decreasing trend on motor-related areas over the sessions. These suggest that measurements of NIRS may exhibit the brain-induced trends over repetition of simple motor tasks.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	0	1,700,000
2010年度	800,000	0	800,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	150,000	3,150,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：ニューラルネットワーク、学習、脳活動

1. 研究開始当初の背景

ヒトは練習することによって運動を獲得している。スポーツのような速くて正確な動作だけではなく、普段の生活における手を伸ばして物を掴んだり、あるいは、書字のような動作でも、全く初めての

文字であれば、手本をなぞる動作から、練習によって、手本を必要とせずに行けるようになる。特にスポーツのような動作では、『体が覚える』というような言葉で言い表されるように、自然に、いわば無意識的に同様の動作を繰り返すことが可

能になる。これは当然、体が覚えるのではなく、脳が学習し、例えば内部モデルのようなものを脳の中に作り出しているものと考えるのが妥当である。つまり、動作に対応した運動表現が脳内に出来上がってくるものと考えられる。従って、もし脳活動を計測することによって、運動獲得の習熟程度を定量化して推定出来るとしたら、リハビリテーションにおける回復程度の定量化、スポーツにおける『体が覚える』に至るまでの定量化や、学習・練習方法の良し悪しを定量化することで科学的で効率的なリハビリ方法や練習方法を考案することが期待できる。しかしながら、これまで運動中の脳活動(fMRI、脳波(EEG)等)の計測は、実質的には計測自体に非常に大きな困難があった。最近、近赤外光脳イメージング(NIRS)の発展によって、運動中の脳活動の計測も可能になってき、トレッドミルでの歩行中の脳活動計測などが報告されている。実際に我々も、NIRSによるブレイン・コンピューター・インターフェース(BCI)の研究において、指タッピングのような比較的単純と思えるような運動においても、運動に慣れるに従って、NIRS信号(脳血流)に変化が観測出来ることを確認している。一方、我々はこれまでヒト腕運動制御の研究を行ってきており、その中で軌道生成モデルを土台として、軌道パターンを模倣学習によって獲得するモデルの研究を行ってきた。我々の学習アルゴリズムの基本は強化学習に基づいており、報酬によって、書字運動のような複雑な軌道を生成するための運動表現を獲得することが可能である。本申請課題においては、NIRS信号を計算論的モデルによって解釈し、運動獲得習熟の程度を理解に向けて、NIRS信号による運動獲得習熟度合いの定量化の可能性を明らかにする。

2. 研究の目的

前述したように、もし学習過程の脳活動を計測することによって、運動獲得の習熟程度を定量化して推定出来るとしたら、科学的で効率的なリハビリ方法や練習方法を考案することが期待できる。

本申請課題では、近赤外光脳イメージング(NIRS)信号を計算論的モデルによって解釈し、運動獲得習熟の程度を理解し、定量化に向けての試みであり、まず、NIRS信号による運動獲得習熟度合いの定量化の可能性を明らかにする。

3. 研究の方法

平成21年度は、最初に複雑な運動の模倣・獲得実験の前に、基礎的な下記実験を実施した。

(1) 指タッピング運動とNIRS信号の変動

親指と他4本指を順番にタップする運動は比較的単純であるが、脳の賦活が大きく、NIRSを使った実験でよく使われる実験である。比較的単純ではあるが、速度をあげて運動するには練

習を必要とする。我々の事前実験での被験者に対するインタビューでも、数日間に渡る実験で、徐々に慣れてくることを実感すると答えている。同時に、NIRS信号の賦活レベルが低下するようなデータも確認している。本課題で定量的な議論を試みる。

(2) 新規道具獲得におけるNIRS信号の変動

新規の道具を使いこなすように学習獲得する過程をNIRS信号によって計測する。回転変換マウスを用いた軌道追従課題を行う。回転変換角度を変更した際の追従精度により運動の慣れを評価し、その過程におけるNIRS信号の変動を確認する。追従精度が上がったことを内部モデルが獲得されたとすれば、内部モデル獲得過程とNIRS信号の関係を定量化できる可能性が考えられる。

平成22年度は、基礎的な下記実験を継続するとともに、NIRSデータ解析のためのアルゴリズムの開発と運動獲得モデルの整備を行った。

(1) 比較的単純な運動とNIRS信号の変動

我々は、昨年度、親指と他4本指を順番にタップする運動と円運動実行中のNIRS信号の変化について検討を行った。しかしながら、NIRSプローブの位置を計測することが困難で、頭表上の計測部位を正確に特定することができなかったため、日をまたいだ長時間に渡る学習過程を解析することが難しかった。本年度は、NIRS計測の信頼性を上げるために、NIRSのプローブ位置を計測する3次元位置計測装置を導入し、頭表上の計測部位を正確に特定するようにし、脳表上の部位推定を可能とし、信頼性の高い推定を行った。

(2) 新規道具獲得におけるNIRS信号の変動

新規の道具を使いこなすように学習獲得する過程をNIRS信号によって計測する。回転変換マウスを用いた軌道追従課題を行う。昨年度は、1つの回転変換を用いたが、今年度は3つの回転変換をもちい、内部モデル獲得過程とNIRS信号の関係を定量化を試みた。

平成23年度は、下記研究を実施した。

(1) 新規道具獲得におけるNIRS信号の変動

新規の道具を使いこなすように学習獲得する過程をNIRS信号によって計測する。回転変換マウスの実験パラダイムを用いて、軌道追従課題を行う。引き続き今年度は複数の回転変換をもちい、内部モデル獲得過程とNIRS信号の関係を定量化を試みた。また、NIRS計測の信頼性を上げるために、NIRSのプローブ位置を計測する3次元位置計測装置により、頭表上の計測部位を正確に特定するようにし、脳表上の部位推定を可能とし、信頼性の高い推定を行うとともに、NIRS計測の信頼性向上のためにNIRS計測におけるArtifact(特に頭皮膚血流)の除去の検討を進めた。

(2) 運動獲得モデルによるNIRS信号の解釈

複雑な運動を行う際の NIRS 信号の計測を行い、学習過程の変化の解釈の可能性を検討した。

4. 研究成果

21年度の指タッピングの実験では、4人の被験者がそれぞれ20秒間のタッピング運動を12試行ないしは15試行を行い、その間のNIRS信号を測定した。さらに運動中の筋肉活動をEMGによって測定し、サイバークロップによって測定した指の速度を指タッピング運動の滑らかさを表す指標とした。実験結果から、この滑らかさは全被験者において向上する傾向が見られ、それと同時に脳内酸素化ヘモグロビン濃度は減少傾向を示した。さらにこれら2種類のデータにおける相関を調べた結果、前頭前野付近ならびに運動前野付近のチャンネルでは被験者4人中3人以上の測定結果で正の相関がみられた。

また、追加で行った円描画タスクの実験ではスタイラスペンを使用し、被験者前方の机の上に示される円をラインに沿ってきれいに描くように指示した。実験では6人の被験者で30秒間の課題を4試行を行い、その際のNIRS信号を測定した。また、運動中の筋肉活動をEMGによって測定し、三次元位置計測装置であるOPTOTRAKによってペン先と目標円との差をエラーとして測定した。円描画実験の結果、全被験者においてエラーが減少する傾向を示し、同時に脳内酸素化ヘモグロビン濃度に減少傾向がみられた。さらに、酸素化ヘモグロビン濃度と運動精度について相関を調べたところ、前頭前野付近と一次運動野付近のチャンネルにおいて被験者6人中5人以上の測定結果で正の相関がみられた。これらの結果は、NIRSを用いることでこれらの運動課題における学習傾向を評価できる可能性を示唆している。

22年度では、NIRSによる運動および運動の慣れに関わる脳機能評価を主な目的として、指タッピング運動を繰り返すタスクを用いてその時の脳血流動態(NIRS信号)、筋電位(EMG信号)の変化をそれぞれ測定した。実験には、事前に参加同意を得た健常な成人男性4名(全員右利き)が被験者として参加し、右手による指タッピング運動を行った。実験は1日で実施され、20秒間のタスク、40秒間のレストを1試行として合計48試行行われた。NIRSの測定チャンネルは、国際10-20法に従って頭頂部Czを基準に前運動野・補足運動野をカバーするように51チャンネルがセットされた。運動中の脳活動を評価する指標として、各計測チャンネルから得たヘモグロビン濃度長変化(oxy-Hb変化, deoxy-Hb変化)ならびにSpatial Parametric Mapping; (SPM)による賦活領域の統計検定マップを用いて解析が行われた。また、筋活動の変化から運動パフォーマンスを推定するために、NIRS測定と同時に右腕部のEMG

信号が計測され、運動試行の繰り返しによる筋電位の平均値、分散値の変化傾向を調べた。

本実験結果から、全ての被験者で課題遂行中に前運動野・補足運動野や一次運動野などの運動野周辺における強い脳活動がみられた。また、実験前半と実験後半の脳活動領域をSPM解析結果から比較した結果、運動中の賦活領域に異なる傾向が見られた。さらに、実験前半と実験後半におけるEMG信号では、分散値が減少する傾向が示された。これらの結果はいずれの変化もタスクを繰り返し行うことによる変化を反映したものだと考えられる。これらのことから、NIRSで測定したデータから運動を繰り返し行ったことによる脳活動の変化を観測できる可能性が示唆された。

平成23年度は、新規の道具を使いこなすように学習獲得する過程をNIRS信号によって計測し解析を行った。回転変換マウスの実験パラダイムを用いて、軌道追従課題を行った。今年度は複数の回転変換をもちい、内部モデル獲得過程とNIRS信号の関係の定量化を検討した。また、NIRS計測の信頼性を上げるために、NIRSのプローブ位置を計測する三次元位置計測装置により、頭表上の計測部位を正確に特定するようにし、脳表上の部位推定を可能とし、信頼性の高い推定を行うとともに、NIRS計測の信頼性向上のためにNIRS計測におけるArtifact(特に頭皮血流)の除去の検討を進めた。

タスク中の前頭葉付近のチャンネルの酸素化ヘモグロビン(HbO)の変化の傾向を調べ、学習進捗との関係を推定した。トラッキングエラーは、回転変換タスクにおいて、試行回数が増えると減少傾向にあった。回転変換20~30回目のデータと無回転のデータを用いてt検定を行った結果、両者に有意差はなく、学習が完了していた。結果、明確ではないが、学習中期にHbOの上昇が見られ、その後減少していくという傾向が見られたため、学習の進捗とHbOに何らかの関係がある可能性が示唆された。本研究では、HbOとの相関は明確ではないが、回転変換タスクで、HbOの増加、減少の傾向が認められ、今後学習過程との対応が明らかにできるようにタスク等の改善を検討する。

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)

[雑誌論文] (計2件)

1. 松崎 周一, 山田 太郎, 和田 安弘, “単純な運動課題の繰り返しに伴う脳活動変化の検討 — 近赤外分光法による検討 —,” 電気学会論文誌 C, 査読有, vol. 131, no. 12, pp. 2222-2223, 2011.

[学会発表] (計13件)

1. S. Matsuzaki, M. Morihito, T. Tsubone, Y. Wada, "Task-related brain activation during finger tapping and circle drawing monitored by fNIRS," Computational Neuroscience2010 (BMC Neuroscience), no. 11, p. 87, 2010.
2. M. Morihito, T. Tsubone, Y. Wada, "Relation between NIRS signal and motor capability," presented at the 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society: Engineering the Future of Biomedicine, EMBC 2009, 2009, pp. 3991-3994.
3. S. Matsuzaki, M. Morihito, T. Tsubone, Y. Wada, "Brain activation during finger tapping and circle-drawing tasks measured by functional near-infrared spectroscopy (fNIRS)," NEURO2010, 2010.
4. 森 廣 雅 道, 坪根 正, 松崎 周一, 和田 安弘, "タッピング課題と円描画課題における運動学習過程の脳活動計測:近赤外線分光法による検討," 知能システムシンポジウム, vol. 37, pp. 225-230, Mar. 2010.
5. 仲本 芳, 松崎 周一, 坪根 正, 和田 安弘, "回転変換ジョイスティックを用いた軌道追従課題中の脳活動変化:NIRSを用いた脳機能計測," 知能システムシンポジウム, vol. 37, pp. 221-224, Mar. 2010.
6. 今井 貴弘, 穂刈 治英, 松崎 周一, 和田 安弘, "fNIRS による回転変換運動学習過程の考察," presented at the 電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, 2011, pp. 134(8C-1).
7. 今井 貴弘, 松崎 周一, 和田 安弘, "fNIRS によるヒト腕円運動に関する考察," 電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, pp. 105(7A-2), Oct. 2010.
8. 山田 太郎, 松崎 周一, 和田 安弘, "近赤外分光法を用いた指タッピング運動時の脳活動計測," 電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, pp. 132(8B-5), Oct. 2010.
9. 山田 太郎, 石井 大樹, 坪根 正, 和田 安弘, "NIRS 信号を利用した腕の力方向推定の基礎検討," 日本神経回路学会全国大会講演論文集, vol. 19, pp. 158-159, Sep. 2009.
10. 本間 和弘, 坪根 正, 和田 安弘, "粒子群最適化によるヒト腕最適軌道生成に関する一考察," 日本神経回路学会全国大会講演論文集, vol. 19, pp. 160-161, Sep. 2009.
11. 森 廣 雅 道, 坪根 正, 松崎 周一, 和田 安弘, "タッピングタスクにおける運動能力と NIRS 信号の関係," 電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, pp. 155(8D-5), 2009.
12. 仲本 芳, 坪根 正, 松崎 周一, 和田 安弘, "NIRS 信号による回転変換運動学習中の脳活動変化の検討," 電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, pp. 151(8D-1), 2009.
13. 本間 和弘, 坪根 正, 和田 安弘, "粒子群最適化を用いた経由点を含むヒト腕最適軌道生成,"

電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, pp. 138(8A-3), 2009.

[図書] (計 件)

[産業財産権]
○出願状況 (計 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計◇件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

和田 安弘 (WADA YASUHIRO)
長岡技術科学大学・工学部・教授
研究者番号 : 70293248

(2) 研究分担者

大石 潔 (OHISHI KIYOSHI)
長岡技術科学大学・工学部・教授
研究者番号 : 40185187

坪根 正 (TSUBONE TADASHI)
長岡技術科学大学・工学部・准教授
研究者番号 : 50334694

松崎 周一 (MATSUZAKI SHUICHI)
長岡技術科学大学・工学部・助教
研究者番号 : 60455706

(3) 連携研究者 ()

研究者番号 :