

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：13201

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011 ～ 2012

課題番号：23700597

研究課題名（和文） 高密度近赤外分光法を用いたリハビリテーション課題における脳機能ネットワーク解析

研究課題名（英文） Cerebral hemodynamic responses and brain network during rehabilitative performance revealed by near infrared spectroscopy (NIRS) with high resolution cap.

研究代表者

浦川 将（Urakawa Susumu）

富山大学・大学院医学薬学研究部（医学）・客員准教授

研究者番号：30445811

研究成果の概要（和文）：近赤外分光法は、非侵襲で身体拘束の少ない大脳皮質活動計測法である。本研究では、測定チャンネルを高密度に配置したヘッドキャップを開発し、リハビリテーション課題中の脳活動を計測した。手指の巧緻性課題を繰り返す行うことで動作獲得の学習効果が得られ、この学習効果と前頭前野各領域の活動上昇が相関することが明らかとなった。特に前頭極領域は、左右の運動前野や左運動野との相関があり、運動学習に重要な役割を担うことが示唆された。

研究成果の概要（英文）：The functional near infrared spectroscopy (NIRS) can non-invasively measure the hemodynamic responses based on local neuronal activities of the cerebral cortex without physical restraint. In the present study, we developed a new head cap equipped with high resolution channels. We measured hemodynamic responses while healthy subjects performed rehabilitative task. The increment rate of the hemodynamic responses in the prefrontal areas significantly correlated with the improvement rate of task performance across the repeated trials. Furthermore, hemodynamic responses in the frontal pole significantly and positively correlated with that in the left and right premotor region and left motor region. These data suggest that the improvement of rehabilitative task performance might be attributed to neuronal activation of prefrontal cortex including the frontal pole.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：リハビリテーション、近赤外分光法、運動学習

1. 研究開始当初の背景

(1) 脳血管障害による片麻痺は、急性期から回復期にかけて何らかの行動学的機能回

復がみられることが多い。現在のところ、この機能回復を促進する方法としては、脳損傷後早期に急性期治療を行い、損傷程度を最小

にするべく集中的治療を行うことと、リハビリテーションを可能な限り早期から十分にを行い、運動刺激・感覚刺激により機能回復を目指すことが基本戦略である。しかしながら、リハビリテーションにより行動学的機能回復の促進が見られることに関し、脳科学的見地からの解明は十分になされているとは言い難く、リハビリテーション遂行による中枢神経系可塑的変化の機序理解のために重要な課題である。

(2) リハビリテーションが中枢神経系に及ぼす効果を示唆する研究として、健常成人被験者を対象に同一課題を繰り返し遂行させることで、その行動学的指標が向上し、繰り返し試行に応じて脳の活動様式が変化すると報告がある。本研究では、リハビリテーション課題のうち手指の巧緻性動作であるペグを用いた動作を被験者に行わせ、動作の学習効果と関連づけられる脳領域を検証する。

(3) 近赤外分光法 (NIRS) は、近赤外光を頭皮から照射し組織中の酸素化・脱酸素化ヘモグロビンの濃度変化に起因する吸収変化を検出することで、脳組織内の血液量や酸素代謝を測定する方法である。脳の神経活動が賦活した部位では、脳組織の血行動態に変化が生じ、酸素化・脱酸素化ヘモグロビン濃度が増加している。これにより頭皮から脳組織へ向けて入射した近赤外光と、頭皮上より検出された近赤外光を分析し、ヘモグロビン濃度変化を測定することで、脳機能の賦活状態を間接的に知ることが可能となる。実際の測定では、頭皮上に多数の入射・検出用の光ファイバ対を配置することで多点における脳機能の同時計測を行い、広い範囲の脳機能画像を取得することが出来る。NIRS を用いた脳機能計測は、fMRI や PET と比較すると装置が簡便で特別な設備を必要としないことや身体拘束が少ない状態で測定が可能であることが利点である。これらの特徴を生かし、リハビリテーションを行っている時の脳機能計測に利用されている。

2. 研究の目的

NIRS を用いた脳活動計測には、入射光用のプローブと検出光用プローブ間の距離を 3 cm と設定するのが最適条件とされ、当研究室で使用している近赤外分光法測定装置 (島津製作所社製、NIRStation OMM-3000) では、この 3 cm 間隔で脳の広い範囲をカバーする合計 64 本 (入射光用 32 本、検出光用 32 本) の光ファイバを用いており、この二種のプローブ間の反応を測定する想定上のチャンネルは、110 CH となる。現行モデルでは、すべてのプローブ間を 3 cm 間隔に設定し、専用のヘッドキャップにより広い脳の領域を測定することができる。この方法では、隣り

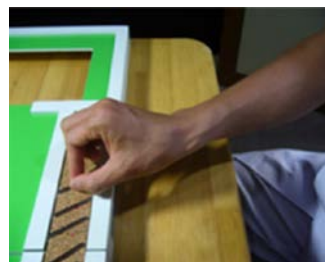
合うチャンネル間も 3 cm 間隔になってしまうため、実際の大脳皮質上にチャンネル位置を投影してみると、運動野や前運動野などの各脳領域に配置されているチャンネル数は 2 チャンネル程度であり、十分な空間分解能があるとはいえない。島津製作所では、この問題を解決するため高密度にプローブを配置する開発を行い、技術的にはこれまでの半分の 1.5 cm 間隔でプローブを配置することができるようになった。これまでと同様に測定は 3 cm 離れたプローブ間で計測するが、このように高密度で配置することで、空間分解能が約 2 倍に上昇する。この特注高密度プローブ配置型ヘッドキャップを使用すれば、脳の機能局在が詳細に分析可能となる。全体で使用出来る光ファイバの数に制限があるため、高密度プローブ配置型では、前頭葉の機能に局限して解析を行う。

本研究では、高密度プローブ配置型ヘッドキャップの作成と、それを使用した NIRS による脳機能測定により、リハビリテーション課題遂行中の脳活動を計測することを目的とする。

3. 研究の方法

前頭葉領域に測定チャンネルを集約させた高密度プローブ配置型ヘッドキャップを作成する。入射光用プローブ 31 か所、検出用プローブ 31 か所設置したヘッドキャップを作成し、高密度測定チャンネルを 94ch 配置した。脳機能測定後に、3次元位置解析装置デジタイザを用いて計測チャンネルの空間位置情報を取得しておき、NIRS-SPM 解析ソフトを用いて計測チャンネルの解剖学的位置を推定した。

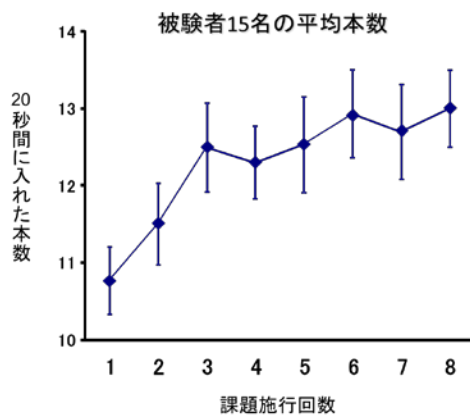
リハビリテーション課題として、臨床で用いられるペグ動作課題を被験者に行わせた。



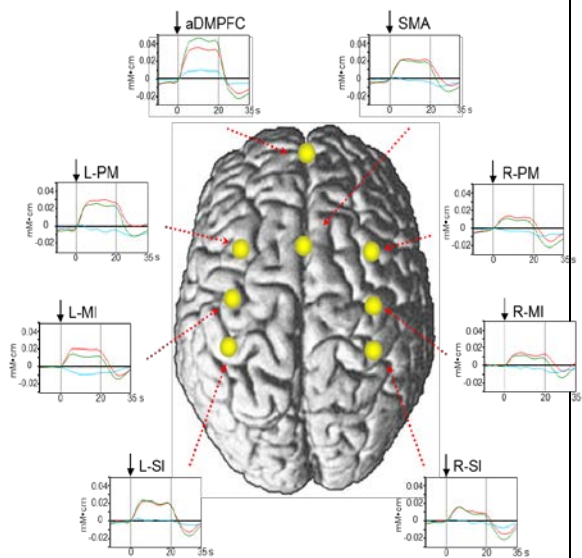
手前にある細い金属棒を手で摘み、小さい穴に挿し込む動作を20秒間行い、なるべく多くの本数を挿し込むように被験者に努力することを教示する。安静を挟んで20秒間のペグ動作を合計8回繰り返す。このペグ動作課題中の酸素化・脱酸素化ヘモグロビン変化を高密度プローブ配置型ヘッドキャップによるNIRSを用いて測定した。

4. 研究成果

被験者15名に対し、20秒間のペグ動作課題を繰り返し実施させたところ、繰り返しの後半にかけて本数が増加し、ペグ動作の向上がみられた(下図)。



この巧緻性動作向上がみられたペグ動作課題中にどのような脳活動があったか調べたところ、前頭前野の各領域の活動上昇(酸素化ヘモグロビン変化上昇、典型例下図)がみられた。興味深いことに、各被験者におけるペグ動作の向上率と、その被験者における前頭前野領域の活動上昇率が相関することが分かった。すなわち、前頭極、補足運動野、運動前野などの各前頭前野領域の活動上昇率が大きい被験者ほど、ペグ動作の向上(入れた本数)が著しい結果となった。



前頭極(図中ではaDMPFC)の活動上昇率(前半から後半にかけてどれだけ活動が上昇していったかを示す)は、左右の運動前野(PM)、左運動野(MI)、左右の感覚野(SI)と正の相関を示し、機能的な関係性が示唆された。

高密度プローブ配置型ヘッドキャップを用いたNIRSによる脳機能測定は、空間分解能を高めることが可能であり、NIRSの利点である低拘束性を生かしたリハビリテーション動作中の計測時に、より詳細な脳各部位の機能変化を解析することが出来る。本研究課題により開発した高密度近赤外分光法を利用して、今後さらなるリハビリテーションの脳科学研究に活用していく。

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10件)

- ①石黒幸治、浦川 将、高本考一、堀 悦郎、石川亮宏、小野武年、西条寿夫、運動学習における前頭前野(前頭極)の役割、第48回日本理学療法学会、2013年5月24-26日、名古屋
- ②中田健史、浦川 将、高本考一、石黒幸治、福田紗恵子、堀 悦郎、石川亮宏、小西秀男、小野武年、西条寿夫、口唇閉鎖運動が口輪筋の運動機能ならびに前頭前野の活動性に及ぼす影響、第48回日本理学療法学会、2013年5月24-26日、名古屋
- ③浦川 将、高本考一、堀 悦郎、石川亮宏、小野武年、西条寿夫、乳児のアイコンタクトによる前頭極特異的な脳活動上昇、第2回日本情動学会、2012年12月22日、東京
- ④浦川 将、高本考一、堀 悦郎、石川亮宏、小野武年、西条寿夫、アイコンタクトによる赤ちゃんの前頭前野脳活動、第30回日本感覚統合学会研究大会、2012年12月8日、京都
- ⑤Urakawa S, Takamoto K, Hori E, Sakai N, Ishikawa A, Ono T, Nishijo H. Eye contact-dependent hemodynamic responses in the prefrontal pole of infants: A near-infrared spectroscopic study. Neuroscience 2012, 2012年10月13-17日、New Orleans, USA
- ⑥浦川 将、坂井奈津子、高本考一、堀 悦郎、石川亮宏、小野武年、西条寿夫、乳児の認知機能発達: 目と目を合わせることの重要性を脳科学により検証する、第27回東海北陸理学療法学会、2011年10月29日、富山
- ⑦石黒幸治、浦川 将、高本孝一、堀 悦郎、石川亮宏、河野 理、川合 宏、小野武年、

西条寿夫、異なる巧緻性課題遂行中の脳機能イメージング、第27回東海北陸理学療法学会大会、2011年10月29日、富山

⑧中田健史、浦川 将、高本考一、堀 悦郎、石川亮宏、金川善洋、小西秀男、小野武年、西条寿夫、健常人における口唇閉鎖運動が口輪筋の運動機能ならびに前頭前野の活動性に及ぼす影響、第27回東海北陸理学療法学会大会、2011年10月29日、富山

⑨福田紗恵子、高本考一、浦川 将、石黒幸治、中田健史、堀 悦郎、小野武年、西条寿夫、トリガーポイント圧迫による痛み軽減と自律神経機能および脳血行動態の変化、第27回東海北陸理学療法学会大会、2011年10月29日、富山

⑩松井一訓、浦川 将、西野大助、野上静恵、石黒幸治、石川亮宏、小野武年、西条寿夫、巧緻性課題遂行中の声かけ効果検討、第27回東海北陸理学療法学会大会、2011年10月29日、富山

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浦川 将 (Urakawa Susumu)

富山大学・大学院医学薬学研究部・客員准教授

研究者番号：30445811