

三角格子オプトード配置の機能的近赤外分光法による運動関連領域の高空間密度計測



川口拓之^{1,2}, 山本哲², 山田亨^{1,2}, 池田重之^{2,3}, 川口文男^{2,3}, 大橋三男^{2,3}, 河野豊²



1. 産業技術総合研究所, 2. 茨城県立医療大学, 3. 株式会社スペクトラテック



1. はじめに

機能的近赤外分光法(functional near-infrared spectroscopy; fNIRS)は、装置が小型で低拘束な計測が可能のため、脳卒中後の運動機能リハビリテーションにおいて訓練中の脳活動モニタリングでの応用が期待されている。ただし、従来の照射専用・検出専用オプトードによる正方格子配置では空間計測密度が低く、局所的な脳活動を見逃す危険性がある[1]。

本研究では、照射・検出兼用オプトードを三角格子状に高空間密度で配置できるウェアラブルfNIRS装置OEG-1000を開発し、運動関連領域計測の実行可能性を検証した。

2. 方法

三角格子配置は、従来の正方格子配置よりも2.3倍高い空間密度で計測可能である(図1)[2]。健康成人被験者(40代男性)のT1強調MR画像を参照し(図2)、脳の解剖学的構造と国際10-20法の特徴点に基づいて一次運動野の手および足領域の直上を含む範囲にオプトード15本を装着した(図3)。運動課題(左右交互手指把握(10試行)、同足関節底屈・背屈(20試行))中の信号を計測した。

fNIRSデータは、多項式フィッティングによるベースライン補正、バンドパスフィルタ、血流動態分離法による皮膚血流由来ノイズ除去[3]を行った。また、頭部およびオプトードを3Dスキャナで撮像しT1強調画像と重畳して(図4)、脳活動のトポグラフィック動画像を作成した。

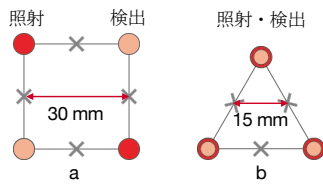


図1. 正方格子配置(従来法: a)と三角格子配置(提案法: b)

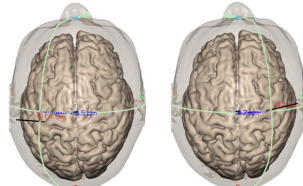


図2. MR画像と国際10-20法によるプローブ装着位置の同定



図3. OEG-1000と装着の様子

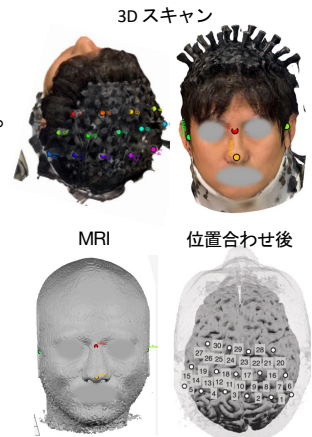


図4. オプトード位置とMRIの重畳

3. 結果

手指把握課題では、左手運動時・右手運動時ともに、対側半球の一次運動野のHand knob 直上のチャンネルに局限して、酸素化ヘモグロビンの増加および脱酸素化ヘモグロビンの減少からなる典型的な波形を観測した。

足関節底屈・背屈課題では、手指把握課題よりも内側のチャンネルおよびその前方のチャンネルで典型的な波形が観測された。また、手指運動時に比べて片側性が乏しかった。

これらの結果は、足首運動時には手指運動と比較して補足運動野(SMA proper)の反応が大きく、片側性が乏しいとするBOLD-fMRIによる先行研究[4]と同様であった。

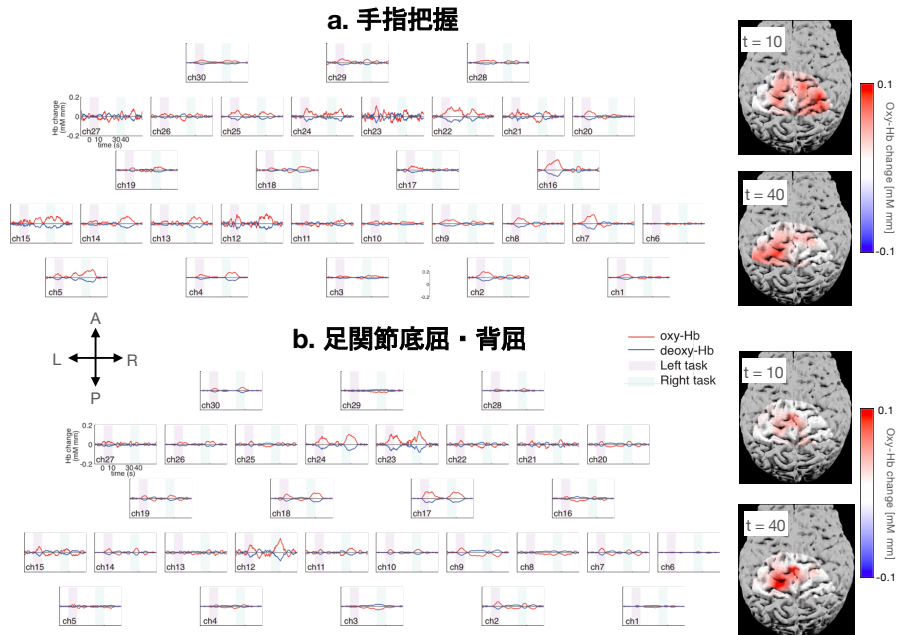


図5. 運動課題中の酸素化・脱酸素化ヘモグロビンの全チャンネルの時間波形とトポグラフィック画像

4. おわりに

三角格子オプトード配置のfNIRS装置OEG-1000を用いて、健康成人の手指把握課題および足関節底屈・背屈課題時に運動関連領域を計測した。何れの課題でも典型的なfNIRS波形が解剖学的に妥当なチャンネルで計測され、BOLD-fMRIによる先行研究と整合した。OEG-1000を用いた運動リハビリテーション中の脳活動モニタリングへの展開が期待できる。

参考文献 [1] Kawaguchi et al., Appl Opt (2007), [2] Yamada et al., Proc SPIE, (2022), [3] Yamada et al., Plos One (2012), [4] Kapreli et al., NeuroImage (2006),

謝辞: 本研究の一部はJSPS科研費23K10456および東京都中小企業振興公社 医療機器産業参入促進助成事業助成金の助成を受けたものです。