

第15回 日本光脳機能イメージング研究会

【開催日時】 2012年7月28日(土) 10時00分～18時00分

【開催場所】 星陵会館(東京都千代田区永田町2-16-2) 地下鉄永田町駅 徒歩3分

<http://www.seiryokai.org/kaikan.html>

【研究会参加費】 : 一般 3,000円, 学生 2,000円.

【懇親会参加費】 : 1,000円

大会長 山田幸生

世話人

代表	渡辺英寿	自治医科大学
事務局長	酒谷 薫	日本大学医学部
	渥美義賢	国立特殊教育総合研究所
	岡田英史	慶應義塾大学理工学部
	加藤俊徳	(株)脳为学校 (KATOBRAIN Co., Ltd.)
	灰田宗孝	東海大学医学部
	福田正人	群馬大学医学部
	星 詳子	東京都精神医学総合研究所
	宮井一郎	森之宮病院
	山田幸生	電気通信大学

(五十音順)

事務局 日本大学医学部

後援 (株)日立メデイコ
(株)島津製作所

第 15 回 日本光脳機能イメージング研究会 プログラム

- 9:00 受付開始
- 10:00-10:05 開会挨拶 世話人代表 渡辺英寿 (自治医科大学)
- 10:05-10:40 大会長講演 座長 渡辺英寿
「光マッピング画像に及ぼす頭部構造の影響および拡散光トモグラフィーについて」
山田幸生 (電気通信大学)
- 10:40-12:00 教育講演 座長 星詳子
(1) 講演 1 「光脳機能イメージング法による前頭葉機能計測」
佐藤大樹 (日立製作所 中央研究所)
(2) 講演 2 「光脳機能イメージングに関する研究論文が採択されるために」
檀 一平太 (自治医科大学)
- 12:00-13:00 昼食
- 13:00-13:40 特別講演 1 座長 灰田宗孝
「NIRS による脳の機能的ネットワークのイメージング」
多賀 巖太郎 (東京大学)
- 13:40-14:20 特別講演 2 座長 酒谷薫
「NIRSの光と影 -NIRS信号の起源と応用への問題点 (第14回日本ヒト脳機能マッピング学会報告)」
星 詳子 (東京都医学総合研究所)
- 14:20-14:30 休憩
- 14:30-16:00 一般演題 (6題) 座長 加藤俊徳
(講演10分 質疑 5分) 別紙
- 16:00-16:05 閉会挨拶
- 16:20-17:00 ポスター 別紙
ポスター 1 (8題) (会場 3 A, 3 B) 座長 岡田英史
ポスター 2 (8題) (会場 4 A, 4 B) 座長 宮井一郎
ポスター前にて説明 3分, 質疑 2分, 計 5分 (1, 2同時進行)
- 18:00 ポスター撤収
- 17:15-19:30 懇親会 (星陵会館 4階 レストランにて立食形式)

(別紙)

14:30-16:00 一般演題 (6題)

座長 加藤俊徳

(講演10分, 質疑 5分)

- 1) 頭皮血流推定を組み込んだ拡散光トモグラフィー 2層ファントム実験による精度検証
下川丈明¹⁾, 小阪卓史¹⁾, 山下宙人¹⁾, 廣江総雄¹⁾, 網田孝司²⁾, 井上芳浩²⁾, 佐藤雅昭¹⁾
1) ATR 脳情報解析研究所, 2) (株)島津製作所 医用機器事業部技術部
- 2) 頭皮血流推定を組み込んだ拡散光トモグラフィー ヒト実験による精度検証
山下宙人¹⁾, 小阪卓史¹⁾, 下川丈明¹⁾, 網田孝司²⁾, 井上芳浩²⁾, 佐藤雅昭¹⁾
1) ATR 脳情報解析研究所, 2) (株)島津製作所 医用機器事業部技術部
- 3) 光マッピング画像におよぼす頭部構造の影響に関するファントム実験
大川晋平 (防衛医大), 鄭 楠 (電通大), 畑 裕喜 (電通大), 山田幸生 (電通大)
- 4) 光伝播モデルとしての3次元輻射輸送方程式と拡散近似の比較
藤原宏志 (京都大学大学院情報学研究科), 東森信就 (一橋大学大学院経済学研究科)
- 5) 注意欠陥/多動性障害における絵の短期記憶の戦略
實藤雅文^{1,2)}, 山下 洋²⁾, 鳥巢浩幸^{1,2)}, 山口 結¹⁾, 今永桐子²⁾, 松永真由美²⁾, 石崎義人^{1,2)}, 酒井康成^{1,2)}, 吉田敬子²⁾, 原 寿郎¹⁾
1)九州大学大学院 医学研究院 成長発達医学分野, 2)九州大学病院 子どものこころの診療部
- 6) fNIRSを用いたADHDの実行機能解析とMPHの薬理効果の検討
門田 行史^{1,4)}, 檀 はるか³⁾, 檀 一平太²⁾, 長嶋 雅子¹⁾, 續木大介²⁾, 久徳 康史²⁾, 山形 崇倫¹⁾, 郡司 勇治⁴⁾, 渡辺 英寿³⁾, 桃井真里子¹⁾
1)自治医科大学小児科, 2)自治医科大学先端医療技術開発センター 脳機能研究部門, 3)自治医科大学脳神経外科, 4)国際医療福祉大学病院小児科

16:20-17:00 ポスター (ポスター前にて説明 3分, 質疑 2分, 計 5分)

ポスター1 (会場3A, 3B)

座長 岡田英史

- P 1 1) 小型BCIシステムのための脳活動レベルの判定法の提案
若井 翔平 (日本大学大学院), 柳沢 一機 (日本大学大学院), 綱島 均 (日本大学)
- P 1 2) NIRSデータの非線形時系列解析
有吉 智貴 (奈良先端大), 小林 亮太, 北野 勝則 (立命館大)
- P 1 3) 重度障害者用意思伝達装置 (生体现象方式) の適合過程に関する検討
第1報 適合までの試行数分析
河合俊宏¹⁾, 市川忠²⁾
1)埼玉県総合リハビリテーションセンター 福祉工学)
2)埼玉県総合リハビリテーションセンター 神経内科
- P 1 4) 機能的NIRSを用いた時間産出課題における脳活動の検討
A study on brain activity during time production task using functional NIRS
森田 麻登 (国際基督教大学大学院アーツ・サイエンス研究科)
- P 1 5) 気分変化をもたらす回想法中の前頭前皮質における血流状態
小野亜美 (お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科 ライフサイエンス専攻)

P 1 6) 仮想切断面実形視テスト実施時の脳前頭前野の賦活

西原小百合, 西原一嘉
(大阪電気通信大学)

P 1 7) 手工芸実施前後における前頭前野背外側部の賦活の変化-言語流暢性課題を指標とした検討

藤岡 崇^{1,2)} 平野 大輔^{1,3)}, 関 優樹^{1,4)}, 谷口 敬道^{1,4)}

- 1) 国際医療福祉大学大学院医療福祉学研究科保健医療学専攻作業療法学分野作業活動分析学領域
- 2) 鹿沼病院, 3) 国際医療福祉大学小田原保健医療学部作業療法学科
- 4) 国際医療福祉大学保健医療学部作業療法学科

P 1 8) 習熟度の異なる課題遂行時の脳血流変化 -復唱課題と復唱記銘課題を用いて-

坂藤嘉晃¹⁾, 市川 忠²⁾

- 1) 埼玉県総合リハビリテーションセンター 言語聴覚科, 2) 同センター 神経内科

ポスター2 (会場 4 A, 4 B)

座長 宮井一郎

P 2 1) 健常人における情動語課題に対する脳血流動態の変化の検討

松原敏郎, 松尾幸治, 原田健一郎, 中島麻美, 中野雅之, 綿貫俊夫, 渡邊義文
(山口大学大学院医学系研究科高次脳機能病態学分野)

P 2 2) Induced body cooling effect on cerebral blood flow during finger tapping

Furusawa, (このコンマは削除) Adriane Akemi, Tsubaki Atsuhiko, Matsumoto Kayomi, Kojima Shou, Onishi Hideaki

(Niigata University of Health and Welfare, Depart. of Physical Therapy)

P 2 3) 指先の巧緻な動作を伴う作業の習熟過程における精神生理状態の定量的評価についての検討

-作業成績とNIRSによる脳血流を含む生体信号との関連性-

石井康晴, 上野敬介, 澤井浩子, 小山恵美

(京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科)

P 2 4) 認知課題を含む二重課題訓練が認知機能に与える影響

笠井健治, 西尾尚倫, 下池まゆみ, 市川忠

(埼玉県総合リハビリテーションセンター)

P 2 5) NIRS を用いた報酬課題は双極性障害の評価に有用か

-言語流暢性課題との比較-

小野靖樹, 広澤徹, 菊知充, 三邊義雄

(金沢大学附属病院神経科精神科)

P 2 6) 近赤外分光法を用いた運動情報のデコーディング: 成人と幼児を対象にした予備的検討

森口佑介 (上越教育大学・JST さきがけ), 金山範行 (日本学術振興会海外特別研究員・スイス連邦工科大学), 安村 明 (東京大学), 開一夫 (東京大学)

P 2 7) 人の甘味感度がfNIRS 応答と唾液分泌に及ぼす影響

大塚貴子¹⁾, 隅谷栄伸¹⁾, 井上正雄²⁾, 山口由衣²⁾

- 1) 公益財団法人東洋食品研究所, 2) 株式会社島津製作所

P 2 8) オプティカルフロー発生時の視覚野の反応についての一考察

赤間公一, 市川 忠

(埼玉県総合リハビリテーションセンター)

光マッピング画像に及ぼす頭部構造の影響および拡散光トモグラフィーについて

電気通信大学 山田幸生

1. 緒言

光マッピング（光トポグラフィー）は、頭部表面に装着した光照射および光検出ファイバーの複数の組み合わせで得られる検出光データから、ビア・ランバート則（正確には修正ビア・ランバート則）により脳内の血液動態を頭部表面に沿った2次元画像として表す技術である。照射点と検出点をバナナ状に結ぶ光伝播経路中の全体的な光吸収と光散乱の変化が検出光の変化として現れるため、脳内の血液動態が同じであっても頭部構造が異なったり皮膚の血液量が増加すると検出光データが変化し、脳内の血液動態変化を見誤ることとなる。本講演では、まず、光マッピング画像に及ぼす頭部構造の影響についてシミュレーションおよびファントム実験で得られた結果を説明する。次に、ビア・ランバート則に依存せず、光伝播経路全体の変化ではなく、局所の血液動態変化をイメージングすることが可能な拡散光トモグラフィーについて説明する。

2. 光マッピング画像に及ぼす頭部構造の影響

頭部は光学的に皮膚層、頭蓋骨層、脳脊髄液層、灰白質層、白質層の5層構造と考えることができる。光吸収・散乱が他の層に比べて非常に小さい脳脊髄液層は、光伝播経路に大きな影響を与えることが知られている。また、前頭部の近傍には脳脊髄液と同様に光吸収・散乱が非常に小さい眼球と前頭洞が存在している。脳活動により灰白質層内における血液動態が変化することを画像化する光マッピングにおいて、光吸収・散乱が非常に小さいこれらの組織が光マッピング画像に与える影響を、シミュレーションまたはファントム実験により明らかにした。脳脊髄液層の影響をシミュレーションにより調べた結果⁽¹⁾、脳脊髄液層が厚くなると光はより広く灰白質層に伝播するため、灰白質層における血液動態の変化に対して光マッピング画像はある脳脊髄液層厚さにおいて最大の感度を持つことが分かった。眼球と前頭洞の影響についてはファントム実験を行い⁽²⁾、その結果、前額部に装着されたプローブ群の下端が眼球よりも上部にあればマッピング画像に対する眼球の影響はほとんど無いこと、一方、プローブを前額部に装着した場合には前頭洞は前額部の位置にあるためマッピング画像に対して一定の影響を持つことが示された。

3. 拡散光トモグラフィー

拡散光トモグラフィーは、生体内の吸収および散乱に関する光学特性値を断層画像として描き出す技術⁽³⁾であり、ビア・ランバート則に全く依存せず、局所の吸収係数分布、ひいては局所の血液動態分布を画像化することができる。生体内光伝播を光拡散方程式により表し、光拡散方程式中の吸収係数を生体表面における光強度の測定値から、いわゆる逆問題法を用いて求める。光源に連続光、強度変調光、極短パルス光を用いる3つの手法が研究されている。極短パルス光を用いる時間分解計測法が最も多くの有効な測定データを与えることができるため、高画質の画像を再構成すると考えられており、各国で研究が進められている。ヒトの前腕⁽⁴⁾や乳児の頭部のように透過光が観測できる場合に実験が行われ、拡散光トモグラフィーの有用性が示されている。一方、成人の頭部は透過光を観測することができないが、反射型的时间分解計測により、断層画像が得られている⁽⁵⁾。また、反射型に関しては連続光を用いた手法が研究されており、光マッピング技術の弱点を補う可能性があると考えられる^(6,7)。

文献：(1) S. Wang, et al., *Optical Review*, Vol. 17 (2010) pp. 410 - 420. (2) 畑裕喜, 平成23年度電気通信大学卒業論文 (2012). (3) S. R. Arridge and J. C. Schotland, *Inverse Problems*, Vol. 25 (2009) 123010. (4) H. Zhao, et al., *Journal of Biomedical Optics*, Vol.12 (2007) 062107. (5) Y. Ueda, et al., *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 44 (2005) pp. L 1203 - L 1206. (6) B. W. Zeff, et al., *PNAS*, Vol. 104 (2007), pp. 12169 - 12174. (7) R. Endoh, et al., *Optical Review*, Vol. 15 (2008) pp. 51 - 56.

光脳機能イメージング法による前頭葉機能計測

佐藤 大樹 (日立製作所 中央研究所)

1. はじめに

近赤外分光法を利用した脳機能イメージング法(光脳機能イメージング法)は、脳活動に伴うヘモグロビン(Hb)信号を画像計測する技術である。被験者に対する拘束性が低く、また実験環境を限定しないため、簡便性・実用性に優れた特長を持つ。これまで、新生児—乳幼児を対象とした研究が注目されてきたが、近年、成人の前頭葉機能に着目した研究も増加しつつある。本発表では、光脳機能イメージング法を用いた前頭葉機能計測の例として、ワーキングメモリ(WM)課題に伴う前頭葉活動と気分状態の関係を検討した研究を紹介する。また、前頭葉計測の課題である皮膚血流変化の影響について議論する。

2. ワーキングメモリ課題に伴う前頭葉活動と気分の関係

WM課題の遂行に対する前頭前皮質(Prefrontal cortex: PFC)の関与は、多くの動物実験あるいは脳機能計測研究により明らかにされている[1-2]。光脳機能イメージング法を用いた研究でも、乳幼児[3]および成人[4-6]におけるPFC活動が報告されてきた。我々は、古典的なWM課題である遅延見本合わせ課題(言語性WMおよび空間性WM)に伴うHb信号変化を計測し、言語性WM課題に伴うHb信号変化が心理質問紙で測定した気分状態と相関することを明らかにした[5-6]。この結果は、WM課題に伴うHb信号変化の個人差が被験者の気分を反映していることを示唆しており、日常的な気分状態の評価法として応用できる可能性を示す。

3. 光脳機能イメージング法とfMRIの同時計測による皮膚血流変化の検討

光脳機能イメージング法で計測した前頭部のHb信号に関して、脳活動由来ではない生理信号の寄与が指摘されている[7-8]。そこで我々は、光脳機能イメージング法と機能的磁気共鳴画像法(functional magnetic resonance imaging: fMRI)の同時計測により、言語流暢性課題(verbal fluency task: VFT)に伴うHb信号変化の発生源を検討した[9]。その結果、VFTに伴うHb信号変化は、脳領域のBOLD信号と高い相関を示し、大脳皮質の血流変化を反映していることを示した。しかし、同時に、脳以外の領域でも高い相関を示す領域が見つかり、皮膚血流等の影響が示唆された。皮膚血流の影響は、被験者、計測部位および計測パラダイム等によって異なると考えられ、今後、その影響を体系的に検討する必要がある。また、マルチ照射—検出距離計測と独立成分分析(ICA)を利用した信号分離技術(MD-ICA法)[10]の適用により、深部(脳)信号を浅部(皮膚)信号から分離できる可能性を示した。

4. おわりに

光脳機能イメージング法は、日常環境下の脳機能を低コストで計測できる技術であり、その特長を生かした研究が進められている。特に、前頭葉は「人間らしい高次機能を司る領域」と考えられており、有望な研究対象である。今後、皮膚血流成分の除去など計測・解析技術の改良を進めることにより、更なる研究・応用の発展を期待したい。

謝辞： 紹介する研究の一部は、東大・松田良一先生、東大・笠井清登先生、群馬大・福田正人先生との共同研究によって実施されました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] K. Kubota and H. Niki, *J. Neurophysiol.* Vol.34, pp.337-347 (1971).
- [2] M. D'Esposito, *Phil. Trans. R. Soc. B.* Vol. 362, pp. 761-772 (2007).
- [3] S. Tsujimoto *et al.*, *Cereb. Cortex* Vol. 14, pp.703-712 (2004).
- [4] Y. Hoshi *et al.*, *Neuroimage.* Vol. 20, pp.1493-1504 (2003).
- [5] R. Aoki *et al.*, *Neurosci. Res.* Vol. 70, pp.189-196 (2011).
- [6] H. Sato *et al.*, *J. Biomed. Opt.* Vol. 16, pp.126007-1-7 (2011).
- [7] T. Takahashi *et al.* *Neuroimage* Vol. 57, pp.991-1002 (2011).
- [8] E. Kirilina *et al.*, *Neuroimage* Vol. 61, pp.70-81 (2012).
- [9] 佐藤 他, 第14回日本ヒト脳機能マッピング学会 プログラム・抄録集 P2A-10, p. 83 (2012).
- [10] 舟根 他, 電気学会 光・量子デバイス研究会資料 Vol. OQD-11 (30-37), pp.17-22 (2011).

光脳機能イメージングに関する研究論文が採択されるために

自治医科大学 医学部 先端医療技術開発センター 脳機能研究部門 准教授

檀 一平太

e-mail: dan@jichi.co.jp; web: <http://www.jichi.ac.jp/brainlab/>

fNIRSに関する英文原著論文は年々増加しているが、必ずしも、採択が容易になっているというわけではない。むしろ、研究の増加によって、低レベルの研究は発表が困難になっていくという側面もある。こういった状況の中、研究成果を英文原著論文として公表するには、どのような工夫が必要かを考えていきたい。なお、本発表内容は上記ウェブで公開するので、ご参考いただきたい。

まず、最も重要な点は、研究を始める前に論文投稿戦略を考慮することである。大きな成果を狙うのか、確実な論文文化を狙うのか、その成果はどのように利用するのか、そのためにどの程度のリスクを許容できるのか、論文投稿戦略におけるプロファイリングを練るのである。このプロセスを経験から習得するのは困難だが、株式等への投資を実践すると、コツがすぐに体得できる。短期的には、競馬、競艇、競輪などの体験も役に立つ。自分の人生を原資としての投資で傷つく前に、行動経済学的な疑似体験を通しての学習は有効である。

次に重要なのは、論文を書く前、願わくば研究を始める前に、関連論文を徹底的に検索し、知識を体系化することである。なるべく早期に基本論文原資として、約300報を仕入れる。さらに、研究課題に関連する論文約30報を選択し、これらを基に、いかなるストーリーが展開できるかを考える。このストーリーに沿って研究を実行する。つまり、アウトプットである論文の形をイメージしながら研究を行うわけである。極端な場合、研究が終わる前に、論文が仕上がっていてもよい。

そしていよいよ論文を書く段階になるが、ここでお勧めする方法は、お手本論文を3報ほど、定めておくことである。この構成を踏襲すると論文は格段に書きやすくなる。実際の執筆に際しては、アウトライン法が便利である。これは、ワープロ上で見出しやコンテンツを書けるところから書き殴り、順序の入れ替え、取捨選択を繰り返しながら、整形していく方法である。英語、日本語、原著論文からの借文などを混在させながら、手段を選ばずに最終産物である論文を仕上げていく。この方法の利点は、ライターズブロック(筆の停止)がないことである。また、ストーリーの流れを動的に検証することにより、論理構成は明確になる。

この段階で問題になるのは、英語である。しかし、「英語が書けない」と嘆く方のほとんどは、実は「日本語が書けない」。特に、論理構成を無視して、なんとなく行間を埋めている場合が多い。こういった問題への対策としては、やはりアウトライン法による論理の明確化が有用である。論理の整理された日本語さえ書けていれば、英語化については、金銭的な解決も可能である。

最後に、「誰に向けて論文を書くか?」という疑問を考える。その答えは「レビュワーに向けて」である。論文を審査するのは、若干名のレビュワーである。レビュワーの視点に立てば、審査しやすい論文はみずと見えてくる。彼らは、日常業務の傍ら、空き時間を強引に作り、ボランティアで査読を行う。彼らの疲れた頭に優しい論文を書けば、採択率は上がる。

このような工夫を重ねることによって、論文がホイホイ書けるようには、残念ながらならない。何報書いても、論文は難しい。しかし、単位時間辺りの生産性は、着実に上昇するであろう。

NIRS を用いた ADHD の実行機能解析と MPH の薬理効果の検討

門田 行史 1, 4)、檀 はるか 3)、檀 一平太 2)、長嶋 雅子 1)、續木大介 2)、久徳 康史 2)、山形 崇倫 1)、郡司 勇治 4)、渡辺 英寿 3)、桃井真里子 1)

- 1) 自治医科大学小児科
- 2) 自治医科大学先端医療技術開発センター 脳機能研究部門
- 3) 自治医科大学脳神経外科
- 4) 国際医療福祉大学病院小児科

AD/HD（注意欠陥多動性障害）は、5-7%の高頻度で認められる実行機能障害である。表現型は多様であることから、しばしば診断に難渋する。発症は就学前後（6歳前後）に多く、診断に至らず症状が遷延すると日常生活や就学後の学校生活において自尊感情の低下（二次障害）をきたすため、早期治療介入を要するが、客観的診断手法は確立されていない。近年、fMRI を用いた脳機能研究から、実行機能障害に関連する右前頭前野の活性低下が中間表現型として注目されている。我々は、体動や難解な課題が困難などの小児の持つ特徴に適応可能であり、再現性を持つ中間表現型を抽出するため、近赤外線スペクトロスコピー（fNIRS）を用いた解析系を作成した。

同意が得られた、16人の右利き、IQ>70を満たすADHD児（6~13歳）に対し、プラセボ二重盲検法を用いて、MPH服用前後におけるGo/NoGo課題遂行中の大脳皮質の酸素化Hb値の相対的変化をfNIRSにより計測した。また、16人の健常児については薬剤を介入せず1回のみ計測した。比較対象外であるが、3人のADHD児（IQ70未満の児1人、左利きの児2人）についても解析を実施した。

健常群に比して、薬剤服用前のADHD群の右前頭前野の活性は、抑制課題中に低下し、MPH内服後に改善した。プラセボ内服後には改善を認めなかった。19人のADHD児のうち、IQ<70であった1人以外は脳機能解析が可能であった。

作成したfNIRS解析は、精神遅滞のない6歳以上のADHD児に対応可能であり、前頭前野の機能不全が、MPHにより回復する過程を可視化した。この解析系を用いた中間表現型は、小児ADHDにおける早期診断や治療のための補助的手法として臨床の現場で貢献可能と考えられた。

NIRSによる脳の機能的ネットワークのイメージング

多賀巖太郎（東京大学大学院教育学研究科）

脳は安静時や睡眠時にも自発的な活動を生成している。NIRSで捉えられる脳血液の酸素化状態（酸素化ヘモグロビンや脱酸素化ヘモグロビンの変化）の局所的なゆらぎは、自発活動を反映していると考えられる。近年、fMRIやNIRS等を用いた安静時の脳の計測では、信号の時空間的なゆらぎの解析から、機能的ネットワークに関する情報が得られることが明らかにされている。こうした情報は、脳の発達、覚醒と睡眠、学習、発達障害、精神疾患等、広範な領域において有用であることが報告されている。

本講演では、多チャンネルNIRSによる、睡眠中の新生児・乳児の脳の自発活動の計測から得られた脳の機能的ネットワークの発達過程について述べ、知覚や認知に関わる脳のメカニズムの発達について議論する(1-3)。また、安静時の成人の脳のNIRS計測において、信号の時間周波数に応じて、異なる機能的ネットワークが見られることを示す(4)。さらに、安静時の成人の脳のNIRSとfMRIとの同時計測より、NIRS信号とBOLD信号との間で共通した機能的ネットワークが捉えられることを示す(5)。

参考文献

- 1) G. Taga, Y. Konishi, A. Maki, T. Tachibana, M. Fujiwara and H. Koizumi: Spontaneous oscillation of oxy- and deoxy- hemoglobin changes with a phase difference throughout the occipital cortex of newborn infants observed using non-invasive optical topography, *Neuroscience Letter* 282, 101-104, 2000
- 2) F. Homae, H. Watanabe, T. Otobe, T. Nakano, T. Go, Y. Konishi, G. Taga: Development of global cortical networks in early infancy. *Journal of Neuroscience* 30: 4877-4882, 2010
- 3) G. Taga, H. Watanabe, F. Homae: Spatiotemporal properties of cortical hemodynamic response to auditory stimuli in sleeping infants revealed by multi-channel NIRS. *Phil. Trans. R. Soc. A.* 369, 4495-4511, 2011
- 4) S. Sasai, F. Homae, H. Watanabe, G. Taga: Frequency-specific functional connectivity in the brain during resting state revealed by NIRS. *NeuroImage* 56, 252-257, 2011
- 5) S. Sasai, F. Homae, H. Watanabe, A.T. Sasaki, H. Tanabe, N. Sadato, G. Taga: A NIRS-fMRI study of resting state network. *NeuroImage* (in press)

NIRS の光と影

—NIRS 信号の起源と応用への問題点—

(第 14 回日本ヒト脳機能マッピング学会パネルディスカッション報告)

星 詳子

東京都医学総合研究所 ヒト統合脳機能プロジェクト

NIRS を用いた生体計測が Jöbsis によって紹介され、その研究開発が始められてから 35 年の歳月が過ぎた現在は、優れた装置が市販され、本法は神経機能イメージング法として、そして組織酸素モニタとして、医学のみならず工学・教育学など様々な領域で用いられ、その有用性が報告されている。しかし、開発当初から指摘されていた脳内に限局した Hb 変化を選択的かつ定量的に計測することは難しいという問題は、未だ解決されていない。

NIRS の臨床応用が進む中で、最近、言語流暢性課題 (VFT) 遂行中の前頭部における NIRS 信号には皮膚血流の変化が重畳し、その割合は無視できないとする研究結果が報告された。この報告は、上記問題について公の場できちんと話し合う必要があることを示唆しており、今年度の第 14 回日本ヒト脳機能マッピング学会でパネルディスカッションを設けた (7 月 6 日開催)。ここでは、NIRS が抱える問題点を整理し、臨床応用におけるその可能性と限界を明らかにすることを目的とした。

まず、7 人のパネリストに NIRS 信号の性質、臨床応用、そして他の計測技術との比較などについて述べていただいてから、フロアからの発言も交えて議論を進めた。NIRS 信号の起源については、(1) 皮膚血流はどの程度 NIRS 信号の中に含まれているのか？ (2) 皮膚血流の影響を取り除くことができるのか？ (3) 取り除くことができない場合、脳活動を評価できるのか？ということについて討論した。次に、応用での問題点については、先進医療として承認されている、VFT 遂行中の前頭部における NIRS 信号所見を用いた精神疾患の補助診断を例として話し合った。

結論としては、(1) NIRS 信号に皮膚血流が影響することは誰もが認めることであるが、皮膚血流変化についてのデータが極めて少なく、全信号に対するその割合を見積もることが難しいことから、それらを明らかにする基礎研究によるデータ蓄積が必要である、(2) 理論的に皮膚血流の影響を取り除く方法は幾つかあり、今後計測装置にそれらの方法を取り入れていくべきである、(3) 現状では、皮膚血流の影響の存在を常に念頭において、それを極力抑える実験デザインを組み、NIRS の限界をわきまえた応用をすべきである、とまとめることができるが、今後、NIRS community の中でより掘り下げた議論と、対策がなされるべきであると考えている。

「頭皮血流推定を組み込んだ拡散光トモグラフィ – 2層ファントム実験による精度検証 –」

下川丈明 1), 小阪卓史 1), 山下宙人 1), 廣江総雄 1), 網田孝司 2), 井上芳浩 2), 佐藤雅昭 1)

1) ATR 脳情報解析研究所, 2) (株)島津製作所 医用機器事業部技術部

E-mail: shimokawa@atr.jp

近赤外光イメージング装置を用いた脳機能計測の際に特に問題とされるのが頭皮血流である。頭皮は送受光プローブの直下にあるため、その血流変化が近赤外光計測に与える影響は大きい。また、頭皮血流の変化は実験課題と関連して変化する場合があるため[1,2]、脳活動のみを捉えたい場合には適切に取り除く必要がある。頭皮血流成分の除去法としては、独立成分分析(ICA)[2]や短距離チャンネルの観測値を参照したadaptive filtering[3]などが提案されているが、それでも完全に除去することは難しいとされている[4]。

そこで我々は、近年開発した3次元拡散光トモグラフィ法(※)を拡張し、脳血流変化と頭皮血流変化を同時推定する方法を開発した。このやり方であれば、チャンネル間距離に応じた光伝播過程を推定の際に情報として利用するため、より精度よく成分の分離が可能であると考えられる。さらに分離性能を上げるため、脳血流変化は局所的であり頭皮血流変化は広域的という性質を推定の際にベイズ事前情報に組み込んだ[5]。

この手法が実際に有効であるのかどうかを調べるために、ファントム水槽実験を行った(Fig.1)。その結果、「頭皮血流変化を模したシリコン板の入れ替え」と「脳活動を模した吸光体」の同時推定が可能であった。吸光体を2個に増やしても、深さ方向を含めた3次元推定が可能であった(Fig.2)。

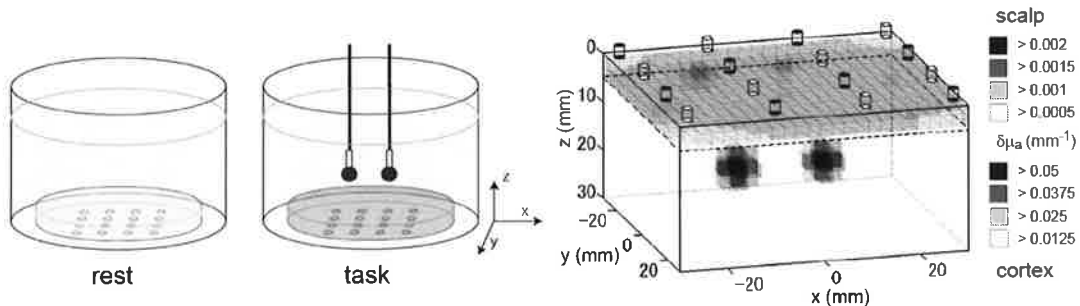


Fig.1 ファントム実験。安静時頭皮を模したシリコン板1(厚さ5mm)と脳活動時頭皮を模したシリコン板2(同5mm, 1よりも吸収係数を上げた)により頭皮血流変化を模し、吸光体により脳活動を模した。他は大脳皮質と同じ光学特性を持つ液体で満たす。底部より近赤外光を送光・受光し計測。

Fig.2 シリコン板入れ替えに加え、二つの吸光体をx方向に17.5mm離し、z=17.5mmの深さに置いたときの3次元推定結果。正しい位置に推定された(誤差1ボクセル未満)。黒・白の円柱は送・受光プローブの位置を表す。プローブ配置密度は18.4mmとした。座標系はFig.1と上下逆にしてある。

(※) 近年我々は、高密度プローブ配置を用いた近赤外光計測に階層ベイズ推定法を適用することで、プローブ間隔を超える空間分解能をもつ3次元拡散光トモグラフィを可能にした[6]。

[1] T. Takahashi et al., NeuroImage 57 (2011) 991–1002.

[2] S. Kohno et al., J. Biomed. Opt. 12 (2007) 062111.

[3] Q. Zhang et al., J. Biomed. Opt. 12 (2007) 064009. [4] Q. Zhang et al., NeuroImage 45 (2009) 788.

[5] 下川・小阪・山下・佐藤, 信学技報 110(461) (2011) 395-400. [6] T. Shimokawa et al., submitted.

本研究は情報通信研究機構の研究委託と文科省脳科学研究戦略推進プログラムにより実施された成果である。

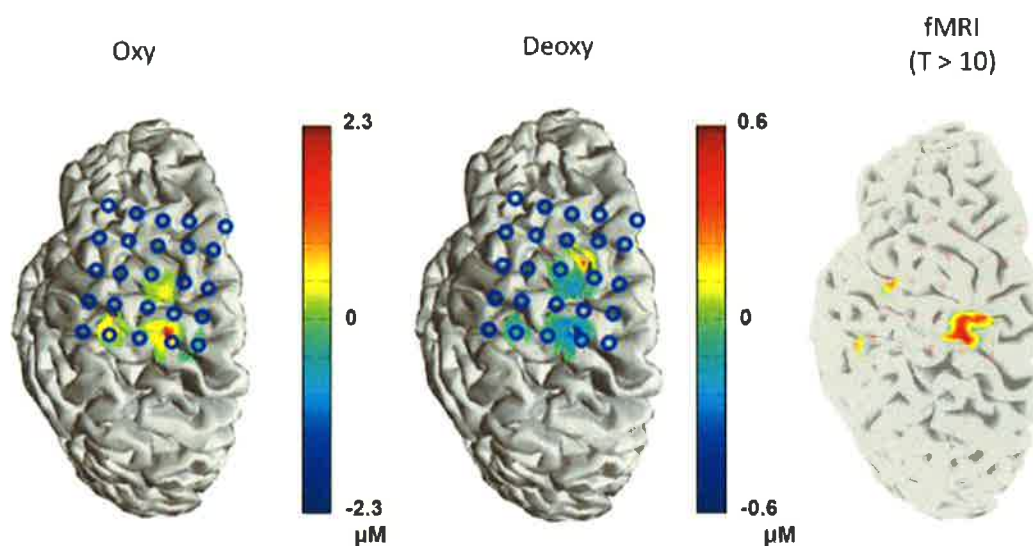
「頭皮血流推定を組み込んだ拡散光トモグラフィーヒト実験による精度検証」

演者名： 山下宙人 1), 下川丈明 1), 小阪卓史 1), 網田孝司 2), 井上芳浩 2), 佐藤雅昭 1)

1) ATR 脳情報解析研究所、2) (株)島津製作所 医用機器事業部技術部

E-mail: oyamashi@atr.jp

本発表では、当研究会で発表予定の下川らの研究に並行して、我々のグループが開発した「頭皮血流推定を組み込んだ拡散光トモグラフィ」をヒト実験データに適用した結果を示す。被験者は右人差し指伸展運動課題をブロックパラダイム(レスト 20 秒・タスク 15 秒)に従って行った。最短プローブ間隔 13mm、5x5 の正方配列を用いて被験者の左運動野をカバーするように近赤外分光計測を行った。また、結果検証のため別の日に fMRI 計測も行った。fMRI 計測を真の皮質活動の分布・時系列を表していると仮定し、拡散光トモグラフィ解析で再構成した脳皮質上のヘモグロビン濃度変化の空間分布・時系列と比較・精度検証を行った結果、ピーク位置の座標誤差は 0 ミリであった。推定された頭皮血流は、カバーする領域で全体的に似通った時系列であった。面白いことに、皮質の血流は酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンが逆相関を示したのに対して、頭皮血流は酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンが正の相関を示した。これは、皮質と頭皮の血流動態の違いを示すものと思われる。また、解析パラメータの再現性を調べるために、同一被験者の他の 3 日分の近赤外分光計測実験データに対して、同一の解析パラメータで拡散光トモグラフィを適用した。プローブ配列を運動野の上に配置された 2 セッションのデータにおいてはピーク位置誤差 8 ミリ程度であり、プローブ配列の設置位置が悪く運動野をカバーできなかった残り 1 セッションではピークを検出されなかった。これらのことから、提案手法はピーク位置の推定において正確さを有し、かつ解析パラメータに関するロバスト性をもつことが示唆された。



図：拡散光トモグラフィによる推定結果である酸素化・脱酸素化ヘモグロビン濃度変化の空間分布と fMRI の空間分布（ピーク座標 0 ミリのセッションの例）。

光マッピング画像におよぼす頭部構造の影響に関するファントム実験

大川晋平¹, 鄭 楠², 畑 裕喜², 山田幸生²

¹ 防衛医科大学校 医用工学講座 ² 電気通信大学大学院 知能機械工学専攻

okawa@ndmc.ac.jp, yamada@mce.uec.ac.jp

1. 諸言

近年, 近赤外光を用いる光マッピングは様々な分野の研究で使用されている. 光マッピングは, 脳の活動による血液状態の変化を近赤外光により計測する技術である. 光マッピングには被験者や計測部位間の構造の違いが影響する. 脳脊髄液(CSF)層の影響は以前に報告しており[1], 本研究では, 特に大脳表面に存在する血管や, 眼球などの頭部構造がマッピング画像に及ぼす影響を調べることを目的とした. 上矢状静脈等の太い血管が光を強く吸収することや, 眼球はほとんど光を散乱・吸収しないことが, 脳内における光の伝播経路に影響をもたらすと考えられる. これらが光マッピング画像にどのような影響を及ぼすかをファントム実験により調べた[2,3].

2. 光マッピングの原理

脳活動による皮質血流の変化に伴って, 吸光度(optical density : OD)にも変化が生じる. 拡張 Lambert-Beer 則により, 吸光度の変化(ΔOD) は以下の式で与えられる:

$$\Delta OD(\lambda) = -\log \frac{\Phi_a(\lambda)}{\Phi_n(\lambda)} \quad (1)$$

$$= \varepsilon_{HbO_2}(\lambda) \Delta C_{HbO_2} l + \varepsilon_{Hb}(\lambda) \Delta C_{Hb} l$$

ここで Φ_a は脳活動時の検出光強度, Φ_n は安静時の検出光強度, l は実効光路長[mm]である. また, $\varepsilon_{HbO_2}(\lambda)$, $\varepsilon_{Hb}(\lambda)$ は波長 λ での酸素化及び脱酸素化ヘモグロビンのモル吸光係数[mm⁻¹mM⁻¹], ΔC_{HbO_2} と ΔC_{Hb} は酸素化及び脱酸素化ヘモグロビンの濃度変化[mM]である.

3. 実験方法

皮膚, 頭蓋骨, CSF 層, 灰白質, 白質等を模擬したファントムを作製した. 灰白質層に高吸収領域を設け, 局所的な脳活性時を模擬した. ファントムには, エポキシ樹脂に散乱粒子(酸化チタン)と吸収色素(黒色インク)を調合し, 所望の光学特性値 (表 1) を得た. 測定には NIRStation (OMM-3000 : 島津製作所)を使用した.

Table 1 ファントム各層の光学特性値(800nm)

Layer	μ_a (mm ⁻¹)	μ_s' (mm ⁻¹)
Skin	0.03	0.73
Skull	0.012	1.8
CSF layer	0.002	0.3
Gray matter	0.036	2.3
White matter	0.014	4.4
Active region	0.052	2.3

4. 脳表の血管の影響

脳表の血管がマッピング画像に及ぼす影響を調べた. 5層ファントムの CSF 層の一部に血管を模した領域を設けた. 血管の光学特性は $\mu_a=0.27$ mm⁻¹, $\mu_s'=3.69$ mm⁻¹ として, 血管と活動部位の位置が変化した場合に得られる ΔOD に関する光マッピング画像を Fig.1 に示す.

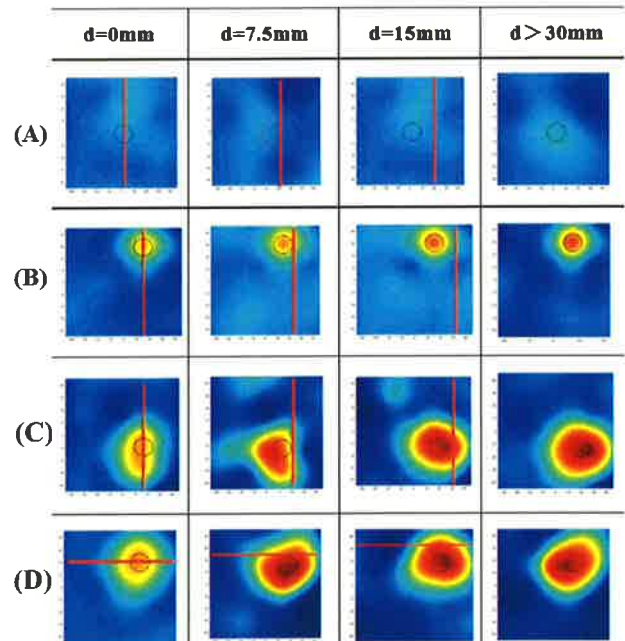


Fig. 1. 光マッピング画像に与える脳表血管の影響

Fig. 1 は活動部位 (丸印) が(A) 4つのデータ点の中央, (B) データ点直下, (C) 照射点直下, (D) 検出点直下に存在する場合である. 図中の d は血管 (直線) と活動部位の距離である. 活動部位が血管近づくほど吸光度変化は小さく見積もられ, その影響は血管と活動部位の距離が 15 mm 程度まで観察された. 特に活動部位がデータ点から外れている場合にはマッピング画像に現れる活動部位の形状に歪みが見られた.

5. 眼球の影響

半球状の均一な光学特性 ($\mu_a=0.031$ mm⁻¹, $\mu_s'=0.67$ mm⁻¹) をもつファントムの一部に眼球を模した透明な球体を設置し, 眼球の傍に活動部位 ($\mu_a=0.051$ mm⁻¹) がある場合のマッピング画像では, 透明な眼球付近で検出される光量が増加するために, 眼球から離れた場所に比べて吸光度差が大きく測定され, マッピング画像に現れる活動部位の形状に歪みを生じた.

6. 結論

光マッピング画像に頭部構造, プローブ配置などが複合的に影響することが本研究で示された. 光マッピングを診断等に用いる場合には頭部構造を考慮する必要がある.

参考文献

- [1] S. Wang, et al., Opt. Rev., 17, 410-420, 2010.
- [2] 鄭 楠, 電通大 平成23年度修士論文.
- [3] 畑裕喜, 電通大 平成23年度卒業論文.

光伝播モデルとしての3次元輻射輸送方程式と拡散近似の比較

○藤原宏志¹⁾, 東森信就²⁾

京都大学 情報学研究科¹⁾, 一橋大学 経済学研究科²⁾

1. 緒言

本研究では、高精度・高信頼な光トモグラフィの実現を目的として、3次元の時間依存の輻射輸送方程式の数値計算結果について論じる。特に、著者らが提案した安定性と収束性をもつ陽的数値計算スキームをもちいた数値シミュレーションをとおり、基礎理論の立場から、既存の拡散近似との比較をおこなう。

輻射輸送方程式(Radiative Transport Equation)は近赤外光の体内での伝播の数理モデルであり、その直接的な扱いは理論的にも数値的にも困難とされてきた。そのため RTE の拡散方程式による近似が提案され、その逆解析にもとづく拡散光トモグラフィが研究されている。しかしながら拡散近似では光ファイバの指向性や開口数を無視するもので、入出力の数理モデルを与えないなどの問題があり、高精度化は達成しえない。

本研究では近年の計算機の高速化によって RTE の直接的な数値計算が可能となったことに注目し、RTE と拡散近似の数値解を比較し、拡散光トモグラフィについての注意を与える。

2. 輻射輸送方程式とその拡散近似

輻射輸送方程式は時刻 t 、位置 x で速度方向 ξ の光子密度 $I(t, x, \xi)$ に関する次の微分積分方程式である。

$$\frac{1}{c} \frac{\partial I}{\partial t} = -\xi \cdot \nabla_x I - (\mu_a + \mu_s) I + \mu_s \int_{S^2} p(\xi, \xi') I(t, x, \xi') d\sigma_{\xi'}$$

これに対し、積分光強度 $\Phi(t, x) = \int_{S^2} I(t, x, \xi) d\sigma_{\xi}$ に着目して Fick の法則を仮定することで、拡散方程式

$$\frac{1}{c} \frac{\partial \Phi}{\partial t} = \nabla \cdot \kappa \nabla \Phi - \mu_a \Phi$$

を得る。RTE は光子の速度方向を変数に含む一方で、積分光強度には光子の速度方向が現れず、光ファイバの指向性をとりいれることはできない。

3. 数値計算結果

散乱核に前方散乱因子 $g = 0.968$ の Mie 核をもちいた 3 次元 RTE, およびその拡散近似の計算結果を比較したところ、両者の数値解に、伝播速度および定常状態における S^2 積分光強度に特徴的な差異が見られた。図に $t = 1[\text{ns}]$ における積分光強度を示す。空間方向の単位は mm である。詳細は講演時に述べる。

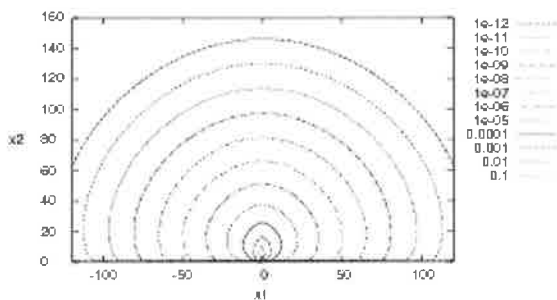


図 1 RTE の計算結果

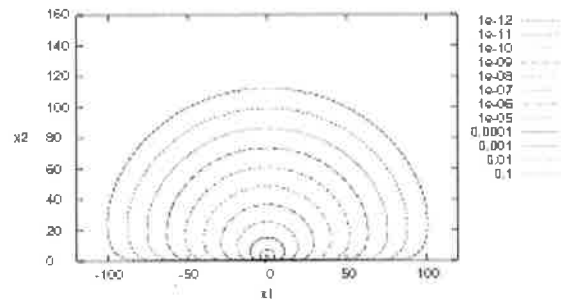


図 2 拡散近似の計算結果

参考文献

1) 東森信就, 藤原宏志: 数理解析研究所講究録, to appear.

注意欠如/多動性障害における絵の短期記憶の戦略

實藤雅文¹⁾²⁾、山下 洋²⁾、鳥巢浩幸¹⁾²⁾、山口 結¹⁾、今永桐子²⁾、松永真由美²⁾、石崎義人¹⁾²⁾、酒井康成¹⁾²⁾、吉田敬子²⁾、原 寿郎¹⁾

九州大学大学院 医学研究院 成長発達医学分野¹⁾、九州大学病院 子どものこころの診療部²⁾

【はじめに】注意欠如/多動性障害(ADHD)の児では、ワーキングメモリの障害が指摘され、中央実行系の機能不全がその主因と考えられている。最近、我々は、定型発達(TD)児において、言語性短期記憶能力が高い児ほど絵を記憶する時に音韻ループを使った戦略をとりやすいことを、左の腹外側前頭前皮質(VLPFC)の活動を測定することにより明らかにした(Sanefuji et al., Neuroimage, 2011)。今回我々は、ADHD の児を対象に、同じ課題を用いて近赤外線分光法(NIRS)にて脳活動を計測し、その特徴を検討した。

【対象と方法】6~12歳の右利きのADHD児10人(男児9人)を解析対象とした。中枢神経刺激薬(メチルフェニデート塩酸塩徐放錠)を内服している児については、1回目は内服なしで、2回目は内服後に計測した。記憶能力はWISC-IIIの数唱のスコアで評価した。3つの連続したitemを視覚または聴覚的に呈示し、6秒の保持の後に口頭で答えるように指示した。NIRSを用いて、itemを記録・保持する間の、両側のVLPFCと背外側前頭前皮質の血流変化を計測した。「子どもが視覚呈示時に再コードとリハーサルを行えば、リハーサルのみ聴覚呈示の場合よりも左VLPFCの血流変化が大きくなる」と予想し、両呈示間の血流変化の差と数唱スコアとの関係を検討し、TD児と比較した。また非内服時と内服時で、その血流変化の差を比較した。

【結果】左VLPFCにおける視覚と聴覚呈示の血流変化の差は、TD児では数唱スコアと有意な相関を認めていた($r = 0.721, p = 0.005$)が、内服なしのADHD児では認めなかった($r = -0.472, p = 0.168$)。このTD児とADHD児の相関係数を比較すると有意差を認めた($p = 0.004$)。またADHD児で、その血流変化の差は非内服時と比べて内服時のほうが有意に大きかった($p = 0.017$)。

【考察】ADHD児ではTD児と異なり、言語性短期記憶能力が高くても、絵の記憶時に音韻ループを使った戦略を選択する傾向がみられず、中央実行系がリハーサル機構をうまく制御できていないことが示唆された。また中枢神経刺激薬は、ADHD児の記憶戦略をTD児に近づける効果があると考えられた。この実験パラダイムは、ADHDと他の発達障害との鑑別や、メチルフェニデートが脳機能に与える効果の評価に役立つかもしれない。

小型 BCI システムのための脳活動レベルの判定法の提案

若井翔平⁽¹⁾ 柳沢一機⁽¹⁾ 網島均⁽²⁾

(1)日本大学大学院 (2)日本大学

【はじめに】 現在、ブレイン・コンピュータ・インターフェース (BCI: Brain Computer Interface) についての研究が盛んに行われている。BCI とは、計測される脳活動から使用者の意図を検出することで外部機器を制御するシステムである。このシステムを用いることで体を動かさない身体障害者に対する義手や義足、介護ロボットとしての応用が期待できる。しかし、現在の BCI システムにおいてはシステムが大型であるために汎用性の向上や、マルチチャンネルの NIRS においてニューラルネットワークを用いて 90%と高い識別精度を得ているが特徴量が多く計算時間が長い計算負荷の軽減などの課題が指摘されている。様々な分野への応用を実現するためには、システムの小型化とリアルタイムに脳活動の有無の判定を行うことが必要となる。小型 BCI システムを用いた脳活動の有無の判定を行った研究はほとんど行われていない。

そこで本研究では、小型の NIRS 装置において脳活動レベルの判定法を提案し、リアルタイムに脳活動レベルの判定を行うことが可能であるか検証を行った。

【小型 BCI システム】 図 1 に小型 NIRS を用いた BCI システムの概要を示す。システムは脳機能計測部、特徴抽出部・認識部、機器制御部から構成されている。脳機能計測部では、DynaSense 製、PocketNIRS を用いて使用者の oxy-Hb を測定する。特徴抽出・認識部では測定した oxy-Hb 信号を解析して使用者の脳活動のパターンを学習させる。特徴抽出・認識部で学習させたパターンにしたがい、oxy-Hb に対応して脳活動が見られた場合に、機器制御部に on 信号を送ることで、ELEKIT 製、MR-999 の関節部の回転運動を行うことができる。また、現在の脳の状態を、実験参加者自身に提示することで課題に反映させ、トレーニング効果を促すニューロフィードバックを行うため、自身の脳活動に応じて色と大きさを変化させるものを提示した。

【実験方法】 実験は 1 試行を前レスト 15 秒、タスク 30 秒、後レスト 15 秒とし、5 試行行う。はじめの 2 試行で、使用者の oxy-Hb とその微分値の変動パターンを学習させた。3 試行以降はニューラルネットワークにて学習したパターンに従い脳活動の有無の判定を行った。タスクは、画面の色を赤にするイメージ課題とし、oxy-Hb の情報を大きさで色でフィードバックを行った。レスト間は閉眼安静にしているように教示した。測定部位は、前頭葉の左右の 2ch とした。また、実験参加者には事前にインフォームドコンセントを行い、実験参加者の安全と人権保護に十分配慮した。

【判定結果】 ニューラルネットワークとは、生物の脳にある神経細胞のネットワークを模したモデルである。本研究では線形分離不可能な認識も行えるバックプロバケーション学習を利用した。提案された方法を用いることにより、平均 75%の識別率を得ることができた。ON/OFF 制御が可能となることが分かった。今後の課題として、小型の NIRS は 2ch 分の oxy-Hb とその微分値のみであり、特徴となる情報が少ないため、マルチチャンネルの NIRS を用いた結果と比較すると精度が高くなかったが、ニューロフィードバックトレーニングを行うことや deoxy-Hb などに注目することによりさらに高い識別率が期待できる。

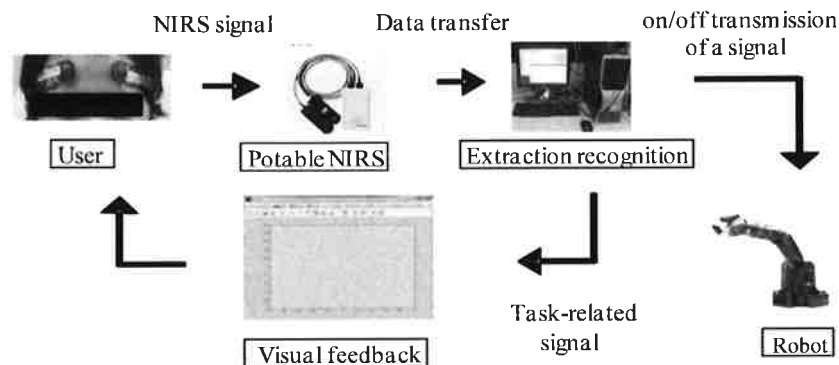


図 1 小型 BCI システム

NIRS データの非線形時系列解析

有吉 智貴¹ 小林 亮太² 北野 勝則²

1. 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
2. 立命館大学 情報理工学部 知能情報学科

脳活動がカオス的であるかどうかは、長年の間論争になっているテーマの一つである。本研究では、近赤外分光計測法 (Near infrared spectroscopy: NIRS) を用いて脳活動のカオス性について調べた。安静状態 (開眼, 閉眼) で脳活動を計測した。計測された NIRS 時系列データから埋め込みベクトルを構成し、相関次元と最大リアプノフ指数を推定した。ほとんどの NIRS データは高い相関次元を持つこと、計測部位によっては NIRS データは正のリアプノフ指数を持つ、すなわちカオス的であることが認められた。これらの結果から、脳部位によっては NIRS データは高次元カオス的であることが示唆された。

重度障害者用意思伝達装置（生体现象方式）の適合過程に関する検討

第1報 適合までの試行数分析

河合俊宏¹⁾、市川 忠²⁾

埼玉県総合リハビリテーションセンター 1) 福祉工学 2) 神経内科

はじめに

重度な肢体不自由者の中でも、筋萎縮性側索硬化症（Amyotrophic Lateral Sclerosis, 以下 ALS）は、運動神経が阻害されるために、四肢の運動・嚥下機能・呼吸機能の低下が避けられない。

障害者自立支援法に基づいた制度の一つで、重度障害者用意思伝達装置が、病気の進行に合わせて持続的に対応することが可能になった。

コミュニケーション支援として、光トポグラフィ技術を応用した「心語り」を導入した患者での試行過程を、試行数によって分析したので、報告する。

重度障害者用意思伝達装置の法的位置づけ

公的な制度として、運動を伴わない生体信号を基にした機器が継続的に支援されるようになったのは、平成 18 年 10 月からの障害者自立支援法の二次施行に伴った、重度障害者用意思伝達装置の日常生活用具から補装具制度への移行によるものである。具体的に想定されている機器は、脳波を利用する「MCTOS（マクトス）」シリーズと、脳血流を利用する「心語り」である。¹⁾

「心語り」

エクセル・オブ・メカトロニクス株式会社より「脳血流変化による Yes/No 検出装置」として平成 17 年末に市販化された機器である。

計測には近赤外光を用いており、Yes/No のそれぞれのモデルデータと、判定データとを統計的に比較し、Yes/No の判別をして、Yes/No の音声出力が可能となっている。

つまり周囲の介護者からの質問の Yes/No それぞれに特有の血流変化を検知しているわけでは

なく、質問によらない一定の思考をすることで、質問の回答と判断する必要がある。

初期設定である Yes/No のモデルデータの正確さと、質問によらない一定の思考をすることが、対象となる ALS 患者に要求される。

対象患者

脳波・脳血流を利用した機器支援は、平成 9 年から対応してきており、脳波は 8 名のうち実用と判断され、公費対応できたのは 1 名である。

脳血流は 2 名のうち 1 名が実用と判断され、公費対応を 1 名がしている。

脳波に関しては先行研究で、39%の試用で実用となった根拠としている。²⁾

脳血流に関しては、公費支給されるまでの 341 日間の試用日は 93%であり、ほぼ毎日 1 年以上試行することで、質問によらない一定の思考をすることが示唆された。

まとめ

補装具となった重度障害者用意思伝達装置の試行過程を、試行数で評価した。信号の中身の精査や、ALS 対象患者が、何を思考することで、一定の反応を引き出しているのかを検証する必要は、残された課題である。

参考文献

- 1) 井村保・河合俊宏・畠中規、他：「重度障害者用意思伝達装置」導入ガイドラインの検討，第 23 回リハ工学カンファレンス講演論文集，71-75，2008
- 2) 河合俊宏：筋萎縮性側索硬化症患者に対する、脳波スイッチ支援の実態と効果に関する検討，第 11 回埼玉県健康福祉研究発表会抄録集，109-110，2010

機能的 NIRS を用いた時間産出課題における脳活動の検討

A study on brain activity during time production task using functional NIRS

国際基督教大学大学院アーツ・サイエンス研究科

森田 麻登

背景

近年、時間知覚における前頭前野の活動の重要性が指摘されている。しかしながら、前頭葉は記憶や注意のような他の高次認知機能をも担っており、時間知覚の処理が行われている特定の部位や機能を解明することは難しい。本研究の目的は、NIRS を用いて、時間産出に関わる脳活動の部位を特定し、時間知覚における前頭前野の活動とワーキングメモリ (WM) の成績と関連を検討することである。

方法

参加者

29 名の実験参加者 (男性=8 名, 女性 21 名, 平均年齢=20.62 歳, SD=1.92) が分析対象であった。

手続き

時間産出課題, コントロール課題としてボタン押し課題の 2 種類を行い, NIRS によって課題遂行中の脳血流変化量を測定した。測定後, 各個人の WM 能力を測定するために数唱課題を行った。時間産出課題とは, 提示された 5 つの時間間隔について主観的に等しい時間を産出させるものであった。また, ボタン押し課題は, 実験参加者のタイミングでランダムにボタンを押させるものであった。

データ分析

NIRS データ分析には oxy-Hb を使用した。前処理を行い, 時間産出課題とボタン押し課題についてそれぞれ 3 回の課題の加算平均を行い, 緩やかな変化をする変動成分を差し引き, 各課題に関連した反応を抽出した。

行動指標として, 実験参加者が課題遂行時に作成した平均産出時間を比率に直した指標, 作成指示時間からのずれを示す指標を産出した。脳活動の指標として, NIRS16 チャンネルを 5 部位に区切り, 部位ごとに時間産出課題とボタン押し課題の平均脳活動を産出した。時間産出課題中の脳活動部位を特定するため, 5 つの部位ごとに, 時間産出課題の脳活動とボタン押し課題間で対応のある t 検定を実施した。また, 各個人の WM 能力, 作成時間の平均値, NIRS の結果についてスピアマンの順位相関係数を求めた。

結果と考察

被験者が各時間条件で産出した平均時間は, 指示された時間間隔に近似しており, 主観的な時間は正確であった。

まず, 時間産出課題の成績と WM 能力との間に正の相関関係が見られ, 産出された時間の大きさと個人の WM の能力には関連があると考えられた。WM 能力の高い被験者ほど over estimate, 言い換えれば時間をゆっくり感じる傾向があり, WM 能力の低い被験者ほど under estimate, 言い換えれば時間を早く感じている傾向があると言える。つまり, 時間知覚に WM が深く関わっていることが指摘されているように, WM 能力と時間の早さや長短と関係があることが示唆された。

次に, 主観的な時間評価に関わっている脳部位をつきとめるため, 時間産出課題中の oxyHb 量とボタン押し課題中の oxy-Hb 量の 2 者の間で平均値の差の検討を行った。その結果, 時間産出には右の前頭葉外側部が関わっていることが明らかとなった。このことは, 時間感覚は右脳で処理されているという先行研究を支持するものであった。

さらに, NIRS の各部位と WM 能力との間の関連を検討したところ, 有意な正の相関が認められた部分は, 左前頭葉であった。WM 容量の多いほど, この部分の脳血流変化量が大きいことを意味している。本研究で WM 課題として用いた digit span は, WM の下位システムの一部である音韻ループの役割が大きいことが指摘されている。また, 音韻ループは, 言語能力を司っている左前頭葉と深く関わっている。つまり, 各被験者が時間作成の際に音韻ループを用いて復唱した程度が, 脳の賦活や WM の相関として表れた可能性がある。以上, 前頭葉は時間知覚において重要な部位であり, WM 能力との関連も大きいと思われた。

気分変化をもたらす回想法中の前頭前皮質における血流状態

小野亜美

お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科 ライフサイエンス専攻

はじめに

昔の出来事を思い出すこと―「回想」することは時に心地よい体験をもたらす。「回想法」は1963年にアメリカの精神科医 R. Butler によって提唱された心理療法のひとつであり、高齢者が過去の思い出を語ることでうつ病の予防・改善に効果があるとされる療法である。回想法は1対1、あるいは数人のグループで行われる。また、回想のきっかけ（刺激）として写真や昔使っていた道具などがよく用いられる。Butler の提唱以来、多くの心理学あるいは精神、医療分野の研究を通じて、患者の行動観察を中心とする研究が行なわれ、その効果が認められている。加えて、近年の研究は、回想法はうつ病だけでなく認知症の改善効果もあること、また、健康な人に対しても精神的安定などの効果を有することを示している。

目的

ネガティブな気分を解消することはうつ病や認知症の改善・予防において有効である。うつ病や認知症の改善・予防に関するこれまでの心理療法研究は、「前頭葉、特に前頭前皮質の活性化、つまり血流の増加が有効である」という前提のもとで行なわれてきた。回想法においても、血流増加がネガティブな気分を解消すると考えられている。しかし、この前提は検証されていない。すなわち、療法中の前頭前皮質の血流状態がネガティブな気分の解消にどのような関係があるのかは不明である。

また、これまでの回想法研究における問題点のひとつに「回想」という行為自体の定義が無いことが挙げられる。回想の概念を整理し、回想のタイプの分類を試みた研究は少なからず報告されているものの、依然、その概念は曖昧である。そのため、回想法の臨床技術においても課題が生じることになる。具体的にはいつごろのことを回想し語ることが有効なのか、もしくは過去の出来事であれば何でもよいのかどうか、などについては結論は出ていない。

以上を踏まえ、本研究では、回想中における前頭前皮質の血流分布と治療効果の関係を fNIRS による計測結果、ネガティブな気分を測定する POMS テストによりまず明らかにする。次に回想法においていつ時点の記憶を想起することがより大きな治療効果をもたらすのかを、指標として発話量を加えさらに検証する。

仮想切断面実形視テスト実施時の脳前頭前野の賦活

大阪電気通信大学 西原 小百合、西原 一嘉

概要:これまでの研究により、島津製作所製の機能的近赤外分光分析装置(fNIRS)によるMCT(Mental Cutting Test, 仮想切断面実形視テスト)の結果、脳前頭前野表面上に限られるものの、脳の賦活域が脳前頭前野左上隅および脳前頭前野右前下部であることを明らかにした。本論文ではさらに空間認知の際の脳賦活域を特定するために新たな測定を行い、MCTの各問題と解答時の脳賦活域との間に一定の強い関連のあることを見いだすことができた。

1. はじめに

鈴木らはMCTの問題をパターン判別問題と量判別問題に分類している。斎藤らは低難度問題と高難度問題に分類している。本研究ではfNIRSを用いてMCT問題解答時の脳の脳前頭前野における賦活域の特定を行った結果について報告する。また、MCT問題の特徴と脳の賦活状態の関係を調査し脳が活発に活動するMCT問題の特徴も明らかにする。

2. 実験装置および方法

2.1. 実験装置

本実験には、(株)島津製作所製の機能的近赤外分光分析装置(fNIRS)FOIRE-3000を使用する。今回は被験者を2名増やし、ファイバ数を42チャンネルに増やした。

2.2. 実験方法

MCTの問題を解かせることをタスクとして設定した。前回の測定では被験者4名について、解答時間30秒、解答の前後に待機時間を各5秒設けたが、今回は被験者2名について待機時間30秒設けた。

3. 実測結果と考察

3.1. MCT各問題と脳賦活域の関係

(1)トレンド解析

被験者Iのトレンド解析の結果、MCTの問題とともにOxyHbの増加するパターンから下記のように似たCHのグループに分けられる。

- 問題と共にOxyHbがほとんど変化しないグループ
- OxyHbが急激に増加し、DeOxyHbが急激に減少するグループ(ch2,ch3,ch11)
- OxyHbがほぼ直線的に増大するグループ(ch26,Ch35,ch36,ch26)
- OxyHbがMCT20番以降低下するグループ(Ch6,Ch7,Ch15)
- OxyHbが増大し、途中で飽和するグループ

(ch16,ch24,ch25,ch32,ch42,ch40,Ch41)

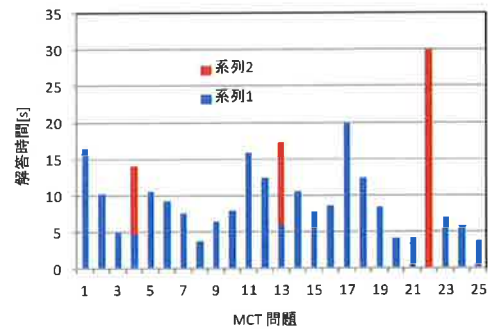


図1 MCT各問題と解答の実時間との関係

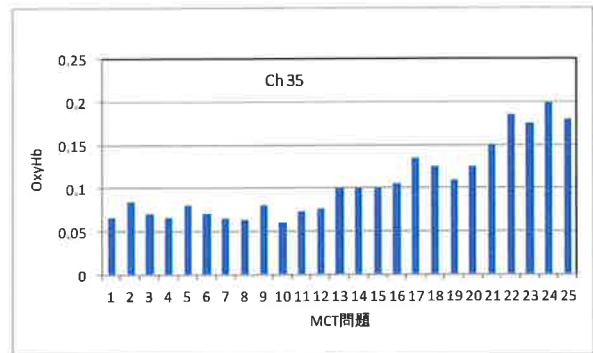


図2 チャンネルに於けるMCTの各問題とOxyHbとの関係

図1にMCTの各問題と実際の解答時間との関係を示す。この図で赤の棒は高難度の量判別問題に対応しており、パターン判別では解答時間は短いが高難度問題では解答時間が長くなる傾向が認められる。

図2にはチャンネル35における酸素化ヘモグロビン濃度を示す。これより脳の賦活はパターン判別問題では小さく、量判別問題では大きいことが認められる。

(2)マッピング解析

次にMCT各問題解答時の酸素化ヘモグロビン濃度のマッピング解析の結果、賦活部位が各問題毎に推移していることがわかった。

4. まとめ

- トレンド解析の結果、MCT問題のパターン判別問題と量判別問題と脳の賦活量との間に関係を見いだした。
- マッピング解析の結果MCTの各問題に対する賦活チャンネルの推移について興味ある結果を得た。

手工芸実施前後における前頭前野背外側部の賦活の変化—言語流暢性課題を指標とした検討—

藤岡崇^{1,2)}, 平野大輔^{1,3)}, 関優樹^{1,4)}, 谷口敬道^{1,4)}

1) 国際医療福祉大学大学院医療福祉学研究科保健医療学専攻作業療法学分野作業活動分析学領域, 2) 鹿沼病院, 3) 国際医療福祉大学小田原保健医療学部作業療法学科, 4) 国際医療福祉大学保健医療学部作業療法学科

【研究の背景と目的】

手工芸は、作業療法における介入手段の一つとして用いられている。手順を考えることや作り方を記憶しながら上肢を動作させる、複数のことに注意を向けるなど多くの要素が含まれ、遂行機能を多く用いる活動である。これらの要素より前頭前野を広く賦活させると考えられる。中でも前頭前野背外側部は、注意やプランニングなどの遂行機能と関連が深いとされている。本研究の目的は、手工芸実施前後における前頭前野背外側部の賦活の変化を観察し、手工芸実施の影響を脳賦活の視点より明らかにして、手工芸を用いた介入をする際に得られる効果や有用性の知見を得ることとした。

【方法】

被検者は、マクラメによる手工芸実施を行う群（実施群）10名と対照群10名の健常成人とした。計測課題は、遂行機能の検査である言語流暢性課題を指標として、手工芸実施前後で比較した。実施群の計測は、言語流暢性課題（実施前）—10分間の手工芸実施—言語流暢性課題（実施後）の順序で行った。対照群は、同様の時間設定で手工芸実施の代わりに安静を指示した。fNIRS計測は、日立メディコ製ETG-4000を用いて前頭部13チャンネルの計測を行った。計測プローブは、Fpzを基準に下列がT3-Fpz-T4の曲線と等距離になるように配置した。また、バーチャルレジストレーション法による推定をおこない、前頭前野背外側部にあたる左右2チャンネルずつを分析対象とした。fNIRSデータ分析は、 $\Delta[\text{Oxy-Hb}]$ を分析対象とし、トレンド成分の除去と5秒間の移動平均処理を行った。実施群と対照群それぞれにおいて、計測チャンネルの課題区間中の $\Delta[\text{Oxy-Hb}]$ の積分値をWilcoxonの符号付き順位検定にて比較した。有意水準については、Bonferroni法による補正を行った。倫理的配慮として、口頭と文書にて研究の目的や方法などを十分に説明し、書面にて同意を得た。なお、本研究は国際医療福祉大学倫理審査委員会にて承認を得た（承認番号09-44）。

【結果】

対照群において、安静条件前後それぞれの課題区間60秒間の $\Delta[\text{Oxy-Hb}]$ の積分値の平均は、前頭前野背外側部に位置する4チャンネル全てにおいて有意な差は認められなかった ($p>0.0125$)。実施群の手工芸実施前後それぞれの課題区間60秒間の $\Delta[\text{Oxy-Hb}]$ の積分値の平均においては、3チャンネルに有意な減少が認められた ($p<0.0125$)。言語流暢性課題において生成された単語数は、各群において有意差は認められなかった ($F(3, 36)=1.63, p>0.05$)。

【考察】

言語流暢性課題は、Konoら(2007)によって4回の計測において統計的な有意差はないが、試行回数を重ねるごとに波形が小さくなる傾向が報告されている。課題期間は異なるが、本研究の対照群においても有意差はないが賦活量が減少する傾向が確認された。実施群の前頭前野背外側部においては、 $\Delta[\text{Oxy-Hb}]$ の積分値は有意に減少した。この結果は先行研究と一致せず、手工芸実施の影響が示唆された。Raichleら(1994)は、動詞想起課題において、練習により課題遂行が習熟してくると前頭前野などの賦活が減少すると報告している。手工芸は、遂行機能に働きかけることにより、前頭前野背外側部において機能の習熟に伴う脳賦活パターンの変化と同様の脳賦活パターンの変化を促進して、課題中の賦活量に変化を与えたと考えられる。これらのことより、手工芸の遂行機能に働きかける介入手段としての可能性が示された。

習熟度の異なる課題遂行時の脳血流変化

— 復唱課題と復唱記銘課題を用いて —

坂藤嘉晃 埼玉県総合リハビリテーションセンター 言語聴覚科
市川 忠 埼玉県総合リハビリテーションセンター 神経内科

【はじめに】言語聴覚士が実施するリハビリテーションの中で、高次脳機能障害に対するアプローチは長期化することが少なくない。そこで訓練内容や用いる教材を様々に工夫することが必要になる。同じ訓練方法で、使用する教材を変更することも日常的に行われるが、教材の種類や量も限られている。訓練を受ける側が教材や訓練方法に慣れてしまっている場合、脳の賦活にどのような影響を及ぼす可能性があるのかを、今回は課題の習熟度と作動記憶という観点から検討を試みた。

【方法と手続き】聴覚的に呈示された文を復唱する課題（以下、単純復唱課題）と復唱しながら文を覚え、後にその内容についての質問に答える復唱と記銘を要求する言語性作動記憶課題（以下、復唱記銘課題）を実施した。対象は、年齢20代から40代の健常者9名（男性5名、女性4名）。提示された文は3～4文節文¹⁾。単純復唱課題は実験者が読み上げた文を被験者は1文毎に復唱した。復唱記銘課題は単純復唱課題を3文実施した直後にその内容について、それぞれ質問し口頭で答えてもらった。課題で使用する文をどの程度知っているかで、3つのグループ（とても良く知っている:H群、半分程度知っている:M群、全く知らない:L群）に分けた。被験者はH群が3名、M群が3名、L群が6名であり、一部2群に重複する被験者が含まれている。測定の流れは、単純復唱課題60秒とレスト70秒の安静、連続して90秒の復唱記銘課題とレスト100秒の安静までを1セットとするブロックデザインとし、3セットを実施した。測定には近赤外線分光法による光トポグラフィー装置（ETG-7100, (株)日立メディコ製）を用いて、酸化ヘモグロビン値（oxy-Hb）の変化量を計測した。プローブの装着については国際10-20法を参考に、水平方向に3×5のプローブホルダ2つ（左右それぞれ22チャンネル（ch））を両側の前頭部を覆うように配置させ装着した。プローブ間距離は3センチとし

た。測定は、当センター倫理委員会規約に基づき実施した。

【解析方法】タスク前の5秒間とタスク後45-50秒の区間を安静区間（ベース区間）として1次補正処理を行い、3回のタスクの加算平均処理を実施した。

【結果】単純復唱課題に比し、復唱記銘課題（作動記憶課題）において各群ともoxy-Hbの増加がみられた。H群では右側で22ch中13chで、左側で22ch中14chで増加が見られ（ $p<0.05$ ）、M群では左右それぞれ22ch中11chで増加がみられた（ $p<0.05$ ）。L群では、左右それぞれで22ch中6chに増加がみられたが、他の2群ほど顕著な増加ではなかった（ $p<0.05$ ）。また、増加を示したchは、L群では両側の前頭前野外側付近を含む領域と思われた。H群、M群では、正中から外側にかけての広範囲に増加がみられた。

【考察】今回の結果より、課題内容に習熟していても、作動記憶課題として用いる場合はoxy-Hbの増加がみられ、脳の賦活が得られる可能性があることが示唆された。一方、習熟度が低く、課題の手続きや内容が被験者にとって未経験であり、課題遂行時の負担が大きいと思われる場合は、脳血流の増加量が少なくなる場合があることが確認された。

脳血流の増加を脳の賦活と考え、そこにリハビリテーションの効果を期待するのであれば、今回のような作動記憶課題では、同じ手続きで、ある程度限られた範囲での教材を用いて反復実施することが、脳血流の増加を促す方法のひとつと考えることができる。

今後は、反復実施の回数や動機づけとの関係についても検討していきたい。

1) 西尾正輝:スピーチリハビリテーション2,インテルナ出版,2000. から一部引用

近赤外分光法を用いた運動情報のデコーディング：

成人と幼児を対象にした予備的検討

森口佑介¹²・金山範行³⁴・安村 明⁵・開一夫⁵

1 上越教育大学 2JST さきがけ 3 日本学術振興会 4 スイス工科大学 5 東京大学

問題・目的

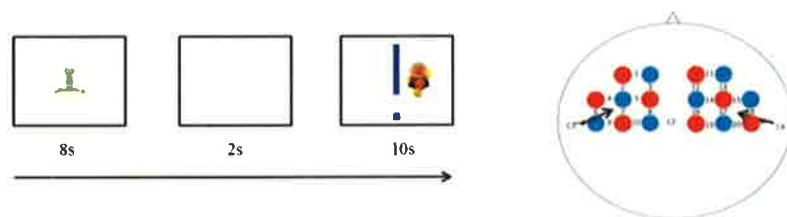
脳情報デコーディングとは、脳活動を計測・解析することにより、脳情報からそれに対応する心の状態を推定する技術のことを指す。これまで、成人を対象に、fMRIや近赤外分光装置(NIRS)などの非侵襲的方法を用いて、運動情報や好み、視覚的注意などに関するデコーディング技術が開発されてきた(Birbaumer et al., 1999; Luu & Chau, 2010)。また、運動機能に困難を抱える人々の意志伝達手段としての応用もなされてきている。しかしながら、乳幼児を対象にした技術は国内外ともに、ほとんど開発されていないのが現状である。意思伝達能力が成人と比べて著しく劣る乳幼児を対象にしたデコーディング技術が開発できれば、彼らの心の発達の理解に大きく寄与することとなる。本研究では、その第一歩として、NIRSを用いて、幼児を対象にした運動情報デコーディングが可能であるかを検討した。

方法

実験参加者は成人5名、幼児5名。NIRSを用いたデコーディングの研究は指タッピングを用いたものが多いため、本研究でもSitram et al (2007)のタッピングを幼児向けにカスタマイズした。NIRSは、島津社製のFOIRE-3000で、C3/C4を含む左右の運動野にプローブを配置した。実験手続きは、10秒間のレストと10秒間の手のタッピングを1試行として、左手のタッピングおよび右手のタッピングをそれぞれ10試行、計20試行×2ブロック実施した(下図参照)。

解析および結果

解析はサポートベクターマシンを用いて左右のタッピングをデコードできるか否かを検討した。トレーニング32試行・テスト8試行として、5回のクロスバリデーションを実施した。その結果、成人のデコーディングの精度でも6割程度であった。幼児は5名中3名が実験を完遂できなかったため、2名のみ解析した。二人の参加者のデコーディングの精度は全チャンネルを用いてデコードを実施した場合52.5%と57.5%であり、チャンスレベルとほぼ同じであった。今後は方法論を工夫するなどして精度を高めていく予定である。



左図は、実験で用いた刺激。右図はプローブの配置。

Induced body cooling effect on cerebral blood flow during finger tapping

Adriane A. Furusawa, Atsuhiko Tsubaki, Kayomi Matsumoto, Kojima Shou, Hideaki Onishi
Niigata University of Health and Welfare Depart. of Physical Therapy

Mild hypothermia as a treatment of brain injury has been a major area of research during the last decade. Studies have shown that induced body cooling act via metabolic and biochemical process. Such mechanisms include temperature-dependent reduction of cerebral metabolic rate of oxygen decrease of free radical production, limitation of blood-brain barrier disruption and brain edema, etc.

Most of the hypothermia studies have reported the effects of therapeutic hypothermia on outcome of traumatic brain injury (TBI), as well as its secondary injury mechanisms and complications after TBI. However, even knowing about the good effect that hypothermia can present, any neuroimaging study has focus in investigate the effect of hypothermia response after permanent ischemia have during a motor activity.

The purpose of the present study is to investigate and clarify how the brain activities respond to the mild hypothermia during a simple motor task.

Sex healthy volunteers (2male and 4 female, aged 20.5 ± 0.84 years) right-handed healthy volunteers participated in this study. The subjects were laid in a comfortable chair with the elbow flexed at 90° and with the forearm rest in a desk and then were asked to perform a right finger tapping with and without decrease of the core temperature (5 and 10 min icing using icing bottles or packs in right and left side of axilla, knee and inguinal region, neck, back and feet). Temperature sensors (LT-8series) were setting in right and left side of axilla, knee and feet and also in a neck and forehead regions. We measured the regional cerebral hemodynamics using 44-channel (34ch with 30 mm distance for deep-penetration and 9ch, with 1.5 mm for shallow-penetration). Beat-to-beat mean arterial pressure (MAP) was recorded by volume clamping the finger pulse with a Finometer (Finapres Medical Systems BV) on the left side. A height reference sensor was used to remove confounds related to arm position. Skin blood flow changes were measured at the forehead by a laser Doppler blood flow meter (Omegaflow FLO-CI, Omegawave, Inc).

The result demonstrated that tasks performed with decrease of core temperature showed a stronger Δ oxyHb signal then the task without. Futures studies about effect of hypothermia on clinical outcome will need to be more investigated; however this preliminary study indicating that the use of hypothermia could become a potential treatment to TBI patients.

指先の巧緻な動作を伴う作業の習熟過程における精神生理状態の定量的評価についての検討 —作業成績とNIRSによる脳血流を含む生体信号との関連性—

石井 康晴 上野 敬介 澤井 浩子 小山 恵美

京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科

1. 研究背景と目的

習熟に関する研究において精神生理的指標を用いて習熟過程を定量的に評価した研究は多くはみられない。本研究では、指先の巧緻な動作を伴う作業として「組み紐結び」を取り上げ、課題に初めて取り組む状態から作業精度の向上が現れる習熟初期段階に着目し、習熟過程における精神生理状態を定量的に評価することを目的とした。そして習熟過程を、手順を間違えずに完成させることができるようになるまでの「手順の習熟」と、見本に近い形状を完成させることができるようになるまでの「作業精度の習熟」に分け、作業成績とNIRSによる脳血流を含む生体信号との関連性に着目して各段階の精神生理状態を評価・検討した。

2. 実験方法

健康成人男性7名を対象とし、本計測を4日間、1日おきに実施した。作業課題は「組み紐結び」とし、計測前に40秒間の安静時間を設け、1セットを20秒間の課題前安静、45秒間の作業、20秒間の課題後安静の反復5回とし、主観評価の記入を挟んで3セット実施した。また、本計測期間の実験のない日は、組み紐結び10回の練習を課した。

計測項目は脳波、心電図、額皮膚血流、脳血流(NIRS;FOIRE-3000 島津製作所社製)などの生理指標、活動量(両手首)、主観評価である。

NIRSは、前頭部(前頭から頭頂にかけて)5×5(40ch)、後頭部2×3(7ch)にプローブを配置した(サンプリング10Hz)。NIRSによって得られた脳血流データは酸素化ヘモグロビン濃度(oxyHb)を標準得点(Z値)に変換して解析に用いた。後頭部の計測データにはアーチファクトが多く確認されたため、解析対象から除外した。

「手順の習熟」を評価するため、作業時間内に課題が完成した群(完成群)と未完成であった群(未完成群)における生理指標、手首活動量、主観評価の群間比較、および未完成群内における作業成績と各指標との相関解析をおこなった。また「作業精度の習熟」を評価するため、完成群内において、課題がより見本に近い形状であった高成績群とそうでなかった低成績群における生理指標、手首活動量、主観評価の群間比較、および完成群内における作業成績と各指標との相関解析をおこなった。

3. 結果と考察

作業成績結果から、個人差はあるものの作業成績の向上がみられ、実験期間中の習熟が確認できた。

まず、「手順の習熟」段階では、完成群・未完成群の群間比較から、完成群の方が有意に作業中の手首活動量が少なく、作業中の運動野付近の脳血流量が多く、前頭前野付近の脳血流量が少なかった(図1a)。主観評価は、完成群の方が有意に作業後の「リラックス感」が高く、作業後の「目覚め感」が低いなど作業後における緊張的覚醒が低い傾向がみられた。また未完成群内において、作業成績が良いほど前頭部中央付近の脳血流量が少ない傾向であった。

次に、「作業精度の習熟」段階では、高成績群・低成績群の群間比較から、高成績群の方が有意に作業中の手首活動量が少なく、作業中の運動野付近の脳血流量が多かった。しかし、前頭前野付近の脳血流に有意な差はみられなかった(図1b)。主観評価は、作業前の「やる気」が高く、作業後の「目覚め感」が高いなど作業前後のエネルギー的覚醒が高い傾向がみられた。また完成群内において、作業成績が良いほど心拍数、手首活動量が少なく、前頭部中央付近の脳血流量が少なかった。

また、「手順の習熟」、「作業精度の習熟」の両段階において、前頭部中央付近で脳血流が減少傾向にあるほど主観的な課題に対する難易度の低下がみられた。なお、先行研究^[1]にてNIRSによる脳血流の計測データについて皮膚血流の影響が懸念されているが、本研究では脳血流と額皮膚血流との間に一貫した相関傾向はみられなかった。

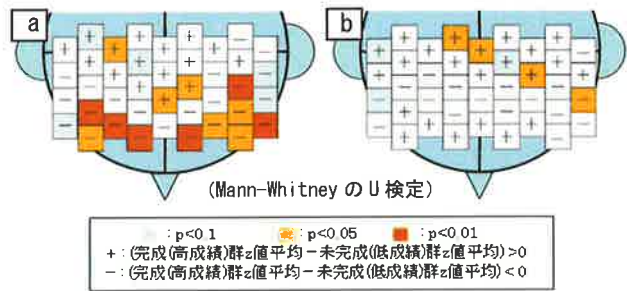


図1 前頭部脳血流の群間比較
(a: 完成群-未完成群, b: 高成績群-低成績群)

4. まとめ

作業成績とNIRSを含む生体信号との関連性から精神生理状態を評価・検討した。その結果、「手順の習熟」、「作業精度の習熟」のどちらの段階においても、作業成績の良かった群(完成群/高成績群)で作業中の手首活動量が少なく、作業成績が良いほど前頭部中央付近の脳血流量が少なかった。この背景として、習熟にともない無駄な動きが減少したことや、課題に対する主観的難易度が減少し、前頭前野周辺の脳活動を増大させる必要がなくなった可能性が考えられる。しかし、前頭部脳血流の群間比較(図1)の結果から、「手順の習熟」段階では、群間の差が顕著にみられたが、「作業精度の習熟」段階では群間の差は明確にならなかった。今後は被験者数を増やし、習熟の進行速度によって被験者を分類するなど被験者間の個人差を軽減した上で、さらに検討をおこなう必要がある。

参考文献

- [1]Toshimitsu Takahashi et al: Influence of skin blood flow on near-infrared spectroscopy signals measured on the forehead during a verbal fluency task, NeuroImage. 2011; 57: 991-1002

本研究の一部は平成23年度科学研究費補助金(基礎研究(B)), 課題番号23300037によりおこなわれた。

認知課題を含む二重課題訓練が認知機能に与える影響
—脳血流量変化を用いた検討—

埼玉県総合リハビリテーションセンター

理学療法科 笠井健治 西尾尚倫 下池まゆみ
神経内科 市川忠

I. はじめに

認知課題と立位課題を用いた二重課題訓練後は立位バランスの改善が得られることが報告されている。一方で二重課題訓練が認知機能に与える影響の報告は少ない。本研究では二重課題訓練が認知機能に与える影響を脳血流量の変化を用いて検討した。

II. 対象

健康な男性 12 名を二重課題群（以下 DT 群）6 名 36.5 ± 9.4 歳と認知課題のみを行う単純課題群（以下 ST 群）6 名 35.8 ± 10.2 歳に分類した。

III. 方法

本研究は当センター倫理委員会規約に則り行った。

1. 訓練課題設定

立位課題はバランスパッド上での片脚立位保持、認知課題はストループテストとした。DT 群は 2 課題を同時に行い、ST 群は安楽立位で認知課題のみを行った。両群とも 30 秒間の訓練と 40 秒の休息を繰り返し 3 セット行った。

2. 認知機能評価

両群とも二重課題訓練の効果判定として訓練前に安楽立位での色玉読み 30 秒とストループテスト 30 秒を 40 秒間の休息を挟みながら 3 セット行い、ストループテストの正答数（以下 Score）を計測した。訓練後にも同様のテストと計測を行った。

3. 脳血流量変化計測

日立メディコ社製光トポグラフィ ETG-7100 と 4×4 のプローブセットを 2 セット用いた。国際 10-20 電極配置法における T7 と送光プローブ 23、T8 と受光プローブ 14 が一致し、プローブ内縁が平行になるよう配置した。訓練課題遂行時および認知機能評価時の Oxy-Hb 変化量（以下 Δ Oxy-Hb、単位 mMmm）を計測した。解析はベースライン補正処理後、3 回実施した課題の加算平均処理を行った。

IV. 結果

1. 認知機能評価

Score は DT 群で訓練前 47.9 ± 33.6 訓練後 52.5 ± 74.3 、ST 群で訓練前 47.4 ± 277.4 訓練後 52.0 ± 264.4 であり、両群とも訓練後で有意に増加した

($p < 0.05$)。増加数は 2 群間で有意な差はなかった。

2. 脳血流量変化

ストループテスト実施中における計測領域全体の Δ Oxy-Hb の平均は DT 群で訓練前 0.13 ± 0.002 、DT 訓練時 0.17 ± 0.006 、訓練後 0.05 ± 0.002 であり、訓練前後および DT 訓練時と訓練後の間で有意な差を認めた。ST 群は訓練前 0.12 ± 0.009 、ST 訓練時 0.08 ± 0.007 訓練後 0.03 ± 0.009 であり全ての間で有意な差を認めた（図 1）。訓練前後での Δ Oxy-Hb の差は DT 群 0.08 ± 0.003 、ST 群 0.10 ± 0.003 であり、両群とも訓練後で低下したが有意な差はなかった。各チャンネルでの比較では訓練前後で DT 群では 15 か所、ST 群では 5 か所のチャンネルで有意に Δ Oxy-Hb が減少した（図 2）。

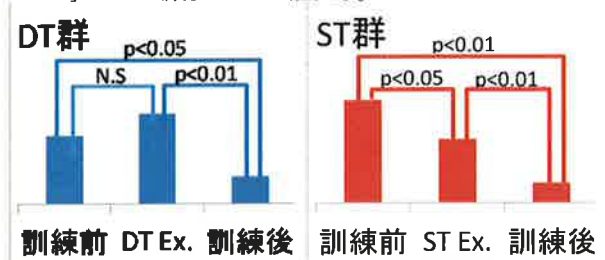


図 1 ストループ課題中の Δ Oxy-Hb 変化量の差

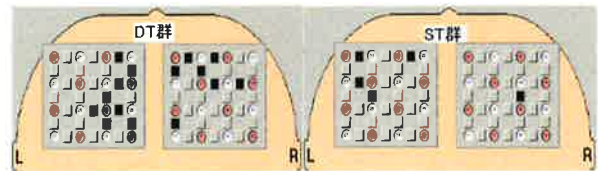


図 2 訓練後に有意な Δ Oxy-Hb 減少を認めた Ch

V. 考察

訓練前後の比較では両群ともに訓練後で Score は増加し Δ Oxy-Hb は減少した。これは学習による影響と考えた。2 群間の比較では DT 群で ST 群よりも多くの領域で Δ Oxy-Hb が減少した。先行研究ではストループテストや運動負荷時に左前頭前野外側の賦活が報告されているが、本研究では主に他の部位で Δ Oxy-Hb が減少した。これは課題遂行に不必要な脳活動が減少し効率化が進んだためと考えた。以上より Score に差はなかったが、脳血流動態からは二重課題訓練が単純課題訓練より認知機能訓練として効果的である可能性が示唆された。

NIRS を用いた報酬課題は双極性障害の評価に有用か；言語流暢性課題との比較

金沢大学附属病院神経科精神科

小野靖樹、広澤徹、菊知充、三邊義雄

【目的】

精神疾患は従来から精神症状とその持続期間を元に診断がなされており、その客観性をいかに確立するかが懸案となっている。採血や種々の画像手段を用いたバイオマーカーの手法が検討され、NIRS もその1つとして脚光を浴びた。特に言語流暢性課題は単純で、かつ血流変化を見やすい課題であり、精神科領域でも疾患鑑別の補助として普及した課題であったが、双極性障害については十分な知見が得られていなかった。ところでIOWA ギャンブル課題(IGT)はワーキングメモリが関与して背外側前頭前野が活動するほか、カードの選択の判断に腹側前頭前野の活動も観察されている。IGT の双極性障害の評価における有効性を従来の言語流暢性課題と比較検討した。

【方法】

対象は、右利き健常成人15人(男性8名、女性7名、年齢32.9歳)、右利き双極Ⅱ型障害13人(男性6人、女性7人、年齢38.4歳)。近赤外スペクトロスコーピーは日立メディコ社製ETG-4000の46-channel(12x2, 22x1)を用いた。言語流暢性課題は80秒間『はい』を繰り返すコントロール課題と、『て』、『い』、『し』のつく言葉を、それぞれ60秒間言う課題を交互に繰り返した。一方 IGT ではカードが4つに分けられており、そこから任意のカードを100枚選ぶ課題である。あらかじめお金が与えられており、カードを選ぶごとにお金が増減した。なお4つに分けられたカードは各群でリスクが高いものの報酬の高いもの、逆にリスクは低く報酬も少ない傾向のものがある。タスク期間の60秒間にカードを選び、コントロール課題では単にマウスのクリックを60秒間施行した。この操作を5回交互に繰り返した。うつ状態はハミルトンうつ病スケール(HAM-D)、躁状態はヤング躁状態スケール(YMRS)にて評価した。また実行機能の評価に遂行機能障害症候群の行動評価(BADS: Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome)を用いた。また予測IQをJART(the Japanese version of the National Adult Reading Test)にてあらかじめ評価した。

【結果・考察】

言語流暢性課題では、両群とも有意な差は認められなかったが、IGT では双極性障害群で右の背外側前頭前野、腹外側前頭前野において有意な血流低下を認めた。IGT は当初、リスクを伴う判断の評価に用いられていたが、健常者においても低得点を示すものもあり、判断のほかに、実行機能やワーキングメモリの関与も大きいと推測されている。今回言語流暢性課題では十分区別できなかったものの、IGT にて健常者と双極性障害に反応性の違いを検出することができた。適切な課題を選択することで、双極性障害の診断の補助に NIRS が有用であることが示唆された。

健常人における情動語課題に対する脳血流動態の変化の検討

松原敏郎, 松尾幸治, 原田健一郎, 中島麻美, 中野雅之, 綿貫俊夫, 渡邊義文

【はじめに】

日常用いている言葉には、言外に情動的な意味が含まれている。情動には喜び、恐怖、悲しみなど様々なものが含まれ、それらの情動語刺激が脳の言語的な処理過程にどう影響しているかは大きな関心事である。今回われわれは、情動語刺激を用いて、健常人において脳血流動態変化を測定した。

【対象と方法】

健常人 30 名（男性 15 名、年齢 35.4 ± 8.0 歳、女性 15 名、年齢 35.3 ± 7.8 歳）を対象とした。対象者全員にスクリーニング面接および採血などの精神医学的・身体的評価を行った。本研究は山口大学医学部附属病院 Institutional Review Board の承認を得ており、対象者全員に対し研究参加前に文書、口頭にて十分に説明し、文書により同意を得た。

脳血流の測定には、近赤外線スペクトロスコピー (near-infrared spectroscopy: NIRS) ETG-4000 を用い、国際 10 - 20 法に従ってプローブをセットした。課題には happy, sad, threat の 3 情動を用いた emotional Stroop task の変法を情動語刺激として使用した。両側の前頭前皮質と頭頂皮質表面の全 46 チャンネルにおける課題中の Oxy-Hb 濃度 ([oxy-Hb]) 変化を測定し、その変化を男女間および情動語間で比較検定した。

【結果】

Emotional Stroop task の課題成績（正答率および反応時間）においては、男女間および情動語間での有意な差は認めなかった。男性は女性と比べ、Happy 情動課題中は、右側背外側前頭前皮質、右側眼窩前頭皮質が、sad 情動課題中は左上側頭回が有意に [oxy-Hb] 変化が大きく、threat 情動課題中は両側背外側前頭前皮質および両側 Broca area で有意に [oxy-Hb] 変化が小さかった。

情動語間の [oxy-Hb] 変化は左側 Broca area、一次体性感覚野などで認められた。

【考察】

今回の結果は性別や情動語内容で関与する脳領域が異なることを示唆している。当日は情動語処理過程にこれらの脳領域がどう関わっているかを若干の考察を加えながら発表したい。

人の甘味感度がfNIRS応答と唾液分泌に及ぼす影響

大塚貴子*1, 隅谷栄伸*1, 井上正雄*2, 山口由衣*2

(*1(公財)東洋食品研究所, *2(株)島津製作所)

【目的】 食品の風味評価には、ヒトの感覚を用いた官能評価が主に用いられている。官能評価はヒトの嗜好を加味して食品を評価できる優れた方法であるが、人材の確保と育成が課題である。官能評価法を補完する方法として、機能的近赤外分光 (fNIRS) を利用した食品の風味評価の可能性を検討している。昨年の本研究会では、砂糖入り紅茶の呈味試験において、甘味感度の高い被験者の方が甘味感度の低い被験者より oxy-Hb 濃度長変化が大きい傾向が見られ、甘味感度の高い被験者には、砂糖添加量と oxy-Hb 濃度長変化の間に正の相関が見られたことを報告した。今回は、甘味の影響を明確にするため、砂糖水の呈示試験における oxy-Hb 濃度長変化を調べた。また、砂糖水と唾液分泌量との関係も検討した。被験者の甘味感度が、oxy-Hb 濃度長変化と唾液分泌量に及ぼす影響について得た知見を報告する。

【方法】 同意を得た 26~60 歳の健常成人男女 24 名 (当所員: 男性 16 名, 女性 8 名) を対象に官能評価試験を行い、甘味感度が高い被験者 (4 名) と、低い被験者 (5 名) を選抜し、官能評価中の oxy-Hb 濃度長変化を調べた。官能評価パネルの選定は、5 味識別テスト及び濃度差識別テストにて行った。実験 30 分前から、水以外の飲食・喫煙を禁止した。課題は「試料を味わう事」とし、砂糖を 0%, 1%, 3%, 6% 添加した砂糖水を試料に、試飲時の順序効果を考慮し、砂糖添加量を段階的に増加させた場合と、一定濃度の試料を呈示した場合、段階的に減少させた場合について試験を行った。試験中は閉眼とし、安静 30 秒・課題 15 秒・安静 30 秒を 1 セットとして 8 セットを連続して行った。8 セットのうち 4 セットを水、4 セットを砂糖水とし、水と砂糖水を交互に提示した。試料温度は室温とし、提示はストロー付きシリンジにて行い、課題後に吐き出し、すすぎを行い、甘味、好みについての評価をフリースケールにて求めた。fNIRS (島津製作所製 FOIRE3000) を用い、oxy-Hb の濃度長変化を計測した。計測部位は前頭葉腹側部及び側頭葉とし、国際式 10-20 法に準拠し T3, T4 を受光プローブ R14, R3 にあわせた。左右両側に 3×5 のプローブを配置し、44ch を同時計測した。データ解析にあたっては、課題開始点にて 0 点補正を行った後、水を評価した 4 回の平均値を用いてバックグラウンド補正を行い、各試料における oxy-Hb 濃度長変化を算出した。

被験者の甘味感度と唾液分泌量の関係を調べるため、水および 6% 砂糖水を比較試料として、唾液分泌量を調べた。試飲カップに入った試料 10g を 15 秒間口に含み、飲み込まずに味わった後、元の容器に吐出し、口に含む前後の重量変化を味刺激における唾液分泌量とした。水 5 回、6% 砂糖水 5 回をランダムに提示し、唾液分泌量の平均を算出した。

【結果と考察】 砂糖水の呈示試験では、前回の砂糖入り紅茶の呈示試験同様、甘味感度の高い被験者の方が甘味感度の低い被験者より oxy-Hb 濃度長変化が大きい可能性が示唆された。なお、砂糖水の呈示試験では、砂糖添加量と oxy-Hb 濃度長変化に正の相関は認められなかった。砂糖水を呈示した時の唾液分泌量を計測したところ、甘味感度の高い被験者の方が甘味感度の低い被験者より多かったことから、人の唾液分泌量と甘味感度に相関がある可能性が示唆された。fNIRS 計測で味の刺激量を定量することは難しい。しかし、先行研究*にあるように oxy-Hb 濃度長変化が唾液腺活動の影響を受けていると仮定すると、oxy-Hb 濃度長変化によってヒトの味覚感度を判定できる可能性がある。

(文献) *Sato, H., Obata, A. N., Moda, I., Ozaki, K., Yasuhara, T., Yamamoto, Y., Kiguchi, M., Maki, A., Kubota, K. and Koizumi, H., Application of near-infrared spectroscopy to measurement of hemodynamic signals accompanying stimulated saliva secretion, *Journal of Biomedical Optics*, 16, 047002 (2011).

オプティカルフロー発生時の視覚野の反応についての一考察

埼玉県総合リハビリテーションセンター
作業療法科 赤間 公一 神経内科 市川 忠

【目的】

広域視野に発生するオプティカルフローは中心視奥行知覚に影響を与える（渡邊 洋 2001）空間認知を形成するために必要な視覚情報に、オプティカルフローによって発生する動的成分が利用されていると仮定した場合、意図的なオプティカルフローの増減によって視知覚能力に影響を与える事ができる可能性がある。本実験では最終的にオプティカルフローにより半側空間無視を呈する症例の視覚性探索能力に影響を与えられるかどうかを検証したい。今回は予備実験として健常者のオプティカルフロー発生時の視覚野の Oxy-Hb 賦活量を NIRS で測定した。

【測定環境】

NIRS は日立メディコ社製 ETG-7100 を使用し、HMD は VUZIX 社製 Wrap1200VR（視野角 35 度）および専用遮光シールドを使用した。

プローブは 4×4 を後頭部一か所に使用した。プローブは 10-20 法に基づきプローブの下端が Inion を基準とした位置から V1 の目安である OZ が（図 1）の位置となるよう調節し、プローブの中心が CZ と Inion の正中線に沿うように設置した。

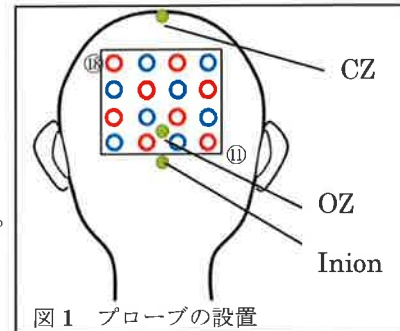


図 1 プローブの設置

【測定方法】

測定は 6 名の健常者で行った。被験者は HMD を装着し、タスクに基づいて構成された映像を端座位で視聴する。

測定は当センター倫理委員会規約に基づき実施した。

【タスクデザイン】

タスク時間は 15 秒とし、被験者は HMD に表示される複数の自分に向って動いてくる白点の映像を見る（図 2）。

レスト時間は 25 秒とし、被験者は HMD に表示される複数の停止した白点を見る。被験者はこのタスク時間とレスト時間の映像を 10 回繰り返して視聴する（図 3）。

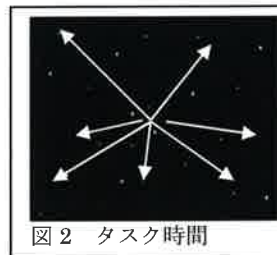


図 2 タスク時間



図 3 レスト時間

【解析方法】

各被験者のデータに対して、安定したベースラインを得るために各タスク開始直前の 5 秒、タスク終了後 15 秒からの 5 秒を使って一次補正処理を実施する。ベースラインの補正処理後、平均的な反応を算出する為 10 回実施したタスクの加算平均処理を実施する。

加算平均処理された被験者 6 名の Oxy-Hb 賦活量の平均値を、ROI 解析 ($r=0.65$) によりタスクに対して関連性の高いチャンネル（以下 Ch）を求めることとした。

【測定結果】

被験者 6 名の各 Ch ごとの Oxy-Hb 賦活量の平均値と、ROI 解析によりタスクとの関連を示唆する Ch は（図 4）の通りであった。

数値は各 Ch ごとの平均値を示し、反転セルは ROI 解析により関連性を示唆された Ch である。

関連を示唆された Ch の Oxy-Hb 賦活量の平均値は 0.014mM・mm であった。

⑩	0.010	⑩	0.011	⑰	0.015	⑰
0.008		0.014		0.015		0.013
⑯	0.016	⑯	0.015	⑮	0.013	⑮
0.017		0.016		0.020		0.003
⑭	0.008	⑭	0.014	⑬	0.001	⑬
0.008		0.010		0.010		0.005
⑫	0.013	⑫	0.012	⑪	0.010	⑪

図 4 測定結果

【考察】

NIRS を用いてオプティカルフロー発生時の視覚野の Oxy-Hb 賦活量を測定した。今回の予備実験ではオプティカルフロー発生時の視覚情報は、ROI 解析により後頭極から後頭頂葉皮質にかけて広い範囲で反応している可能性が示唆された。これらの領域には、視覚刺激の方向や速度等各入力特性に対してチューニングされたニューロンが存在している。今回の測定結果は広範囲で反応していることから、これらの部位の組織的な活動を反映している可能性があると思われる。しかし、ROI 解析により関連性を示唆されたチャンネルの中には Oxy-Hb 賦活量が低く平均値以下のものも存在した。これらのチャンネルの有効性について疑問が残るが、賦活量が低くても重要な処理を行っている可能性もあり、同タスクにおける反応を蓄積しながら再考していきたい。今後は半側空間無視を呈する症例に対しても同測定を行い、健常者との比較を行い今後の課題としたい。