

fNIRS による音楽聴取時の前頭前野における脳血液量の測定と考察*

三 角 真**
折 居 英 章***
Tanjina SHARMIN****
三 島 健 司****
西 原 宏*****

Measurement of Cerebral Blood Oxygenation during a Hearing Music Task by Means of fNIRS

Makoto MISUMI**, Hideaki ORII***, Tanjina SHARMIN****, Kenji MISHIMA****
and Ko NISHIHARA*****

Abstract

Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) was used to study changes in cerebral blood oxygenation during a hearing music task. Three right-handed male volunteers matched on demographic variables and hearing two kinds of music, which bring the emotion of relaxation or restlessness in the study. Subjects were performed the task of listening to two music during 4 minutes. Significant responses were observed in the right prefrontal cortex, superior frontal gyrus.

Key Words : Cerebral Blood Oxygenation, Measurement, Near-Infrared Spectroscopy, Verbal Fluency Task

1. はじめに

音楽が人間の心理に与える影響については、数多くの研究がある。感情などの高次元の脳活動に及ぼす因子の科学的な計測は、困難とされていた。近年、非侵襲にて脳活動を計測する技術が開発され、脳の前頭葉の活動を科学的に計測できる可能性が高まった。臨床や心理学的研究では、前頭葉機能検査の一つである音楽聴取課題が利用されている。音楽聴取課題の脳機能の科学的測定に関して十分なデータの蓄積がなく、脳機能を定量的に測定する技術の開発が望まれていた。

そこで本研究では、脳の前頭葉における血流量、血液中の酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビン濃度に

及ぼす音楽の効果を、光イメージング (fNIRS) を用いて測定した。前頭葉の血流量に影響を与える音楽としては、リラックス感を与えるものとしてゆっくりとした曲調のピアノとさざ波の音で構成された楽曲と、騒々しく感じるものとして西村朗作曲「秘儀Ⅲ 一旋回舞踊のためのヘテロフォニー」を選定した。

2. 実験方法

2.1 装置



図 1 自在調整局面ホルダ装着例

* 平成 27 年 10 月 31 日受付

** 電子情報工学科

*** 電気工学科

**** 化学システム工学科

***** 経済学部産業経済学科

本研究では、装置として、近赤外線分光吸光測定能を有する島津製作所社製の研究用光脳機能イメージング装置 FOIRE3000 を使用した。光脳機能イメージング装置は、光源として、次の3波長の近赤外半導体レーザを使用している。使用している3波長は、脱酸素化ヘモグロビンの吸収帯である 780nm、酸素化ヘモグロビンの吸収帯である 830nm、等吸収点である 805nm である。可視光 (400 ~ 700nm) では、ヘモグロビンや他の生体構成物質の光に対する吸収が大きく、生体内を光が進む距離が極めて小さい。これらの近赤外の波長では、光の強度が 1/10 に減衰するまでに 10mm 程度かかるので、これらの波長の近赤外線を用いることで、生体内の酸素と結合しているヘモグロビンと、酸素と結合していないヘモグロビンの濃度を動的に測定することができる。光脳機能イメージング装置では、図 1 に示す自在調整局面ホルダ (FLASH;Flexible Adjustable Surface Holder) を用いており、頭部に正確に照射用光ファイバ最大 16 本、検出用光ファイバ最大 16 本を設置することができる。照射用光ファイバと検出用光ファイバの設置位置は、自在調整局面ホルダの格子状に設定された 35 箇所のファイバホルダのいずれかに予め決めた位置で設定される。光源である近赤外半導体レーザからの光は、照射用光ファイバを通して、被験者の頭部に投射され、大脳皮質内で散乱する。散乱した光は、近接の検出用光ファイバで集光され、装置内の光電子増倍管 (ホトマルチプライヤ) にて高感度に検出される。研究用光脳機能イメージング装置 FOIRE3000 では、ヘモグロビンの近赤外光領域の吸光スペクトルと変形ベールランバート (Beer-Lambert) 則から、脱酸素化ヘモグロビン、酸素化ヘモグロビン、総ヘモグロビンそれぞれの初期値からの相対変化 deoxyHb, oxyHb, 総 Hb を算出している。総ヘモグロビン変化量、総 Hb は血液量を示しており、ヘマトクリットと脳灌流圧が一定であれば局所脳血流と関連する。

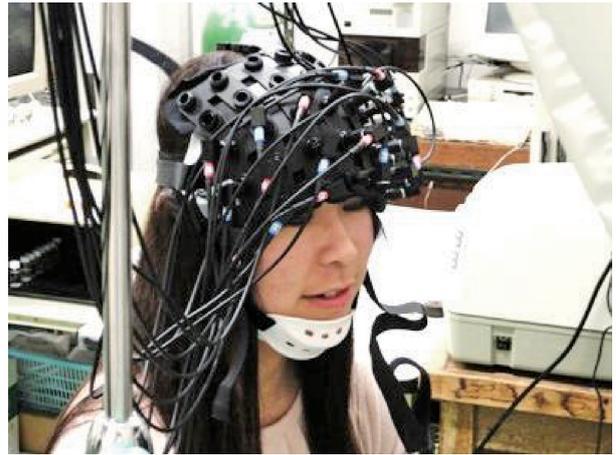


図 2 自在調整局面ホルダ固定例

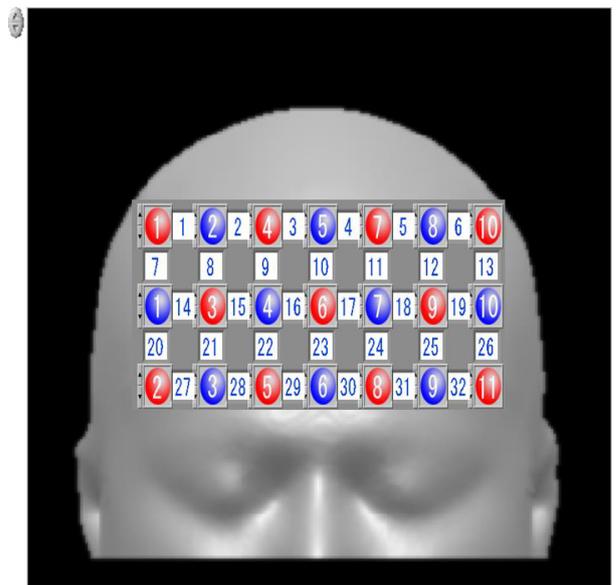


図 3 光ファイバの接続

2.2 測定方法

図 2 に示すように被験者の頭部に自在調整局面ホルダを固定する位置を決める。まず、被験者の後頭隆起から鼻根までの長さを頭部に沿って測定し、鼻根 - 後頭隆起間の中間点を決定する。同様に鼻根 - 後頭隆起間の中間点を經由した両外耳道間の頭部に沿った長さを測定し、被験者の後頭隆起から鼻根まで長さの半分の箇所を頭頂とする。鼻根から頭頂までの長さの 10% の位置を基準点である pfl とする。

本試験では、音楽聴取の前頭前野における脳血液量を測定するために、被験者の pfl を起点に自在調整局面ホルダを被験者の頭部に固定した後、図 3 に示すような構成にて照射用光ファイバと検出用光ファイバを自在調整局面ホルダに接続した。赤色および青色部分が照射用お

よび検出用ファイバの接続位置をそれぞれ示す。

2.3 音楽の聴取

fNIRS 測定には、タスクとして音楽の聴取を用いた。本研究では、音楽聴取のプロトコルとして、① 30 秒間のレスト (音楽を流さず安静な状態)、② 1 分間のタスク (ゆっくりとした音楽の聴取)、③ 60 秒間のレスト (音楽を流さず安静な状態)、④ 1 分間のタスク (騒々しい音楽の聴取)、⑤ 60 秒間のレスト (音楽を流さず安静な状態) からなるレストータスクーレストータスクーレストを 1 プロトコルとした。本測定は、被験者に装着した自在調整局面ホルダに光ファイバを接続し、数分間レスト状態にて deoxyHb, oxyHb, 総 Hb の測定値が安定したことを確認した後、プロトコルを開始した。

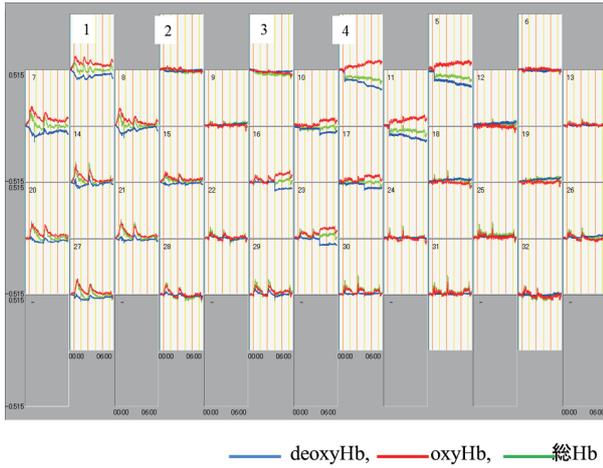


図 4 前頭前野の測定結果

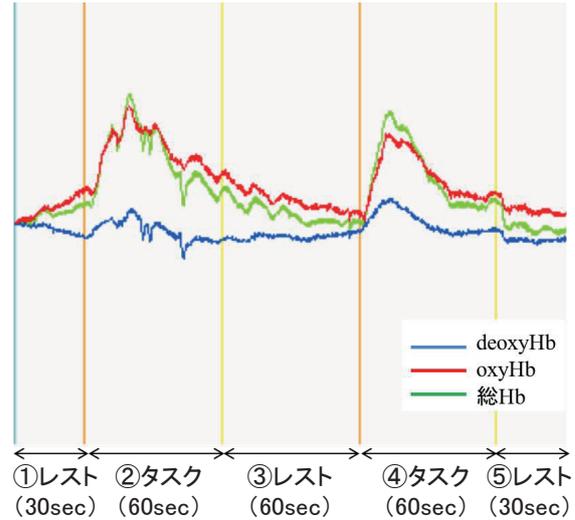


図 5 前頭前野測定結果 (14 チャンネル)

3. 実験結果

fNIRS による音楽聴取時の前頭前野における脳血液量の全チャンネルの測定結果を図 4 に示す. 各チャンネル(測定点)において, 音楽聴取時に oxyHb, deoxyHb および 総 Hb の値がそれぞれ変化しており, 前頭前野において, 血流量に変化が起きていることがわかる. 特に, 14 チャンネルの測定結果の拡大図を図 5 に示す. oxyHb およ

び 総 Hb の相対値は両音楽の聴取タスクの開始とともに増加し, 徐々に減少している. つまり, 前頭前野の脳活動が音楽の聴取によって一旦は活性化した後, 抑制されている状態である. 亀井らの先行研究⁶⁾では, 打楽器音楽聴取時の感性評価別に oxyHb 変化をモデル化しているが, 感性評価が「生き生きした」と「明るい」の楽曲において, 本実験と同様に前頭前野の脳活動が一端活性

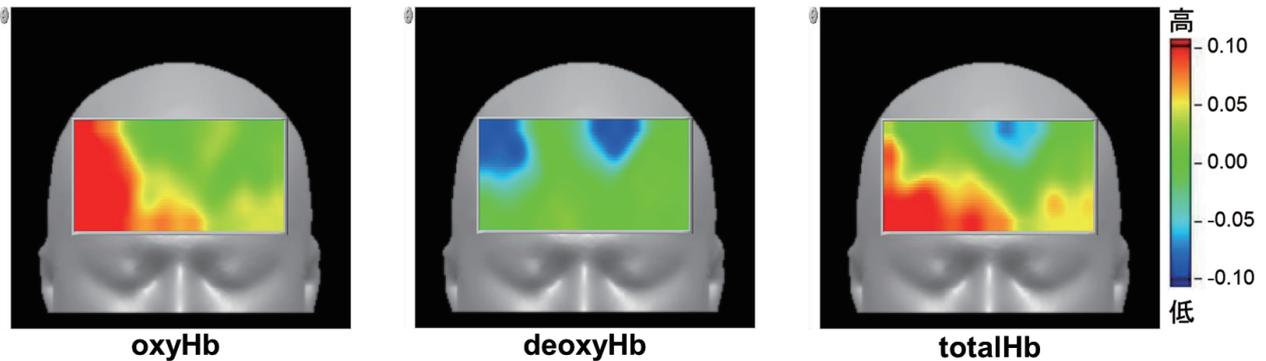


図 6 リラックスする音楽聴取時の前頭前野全体の血流量マッピング

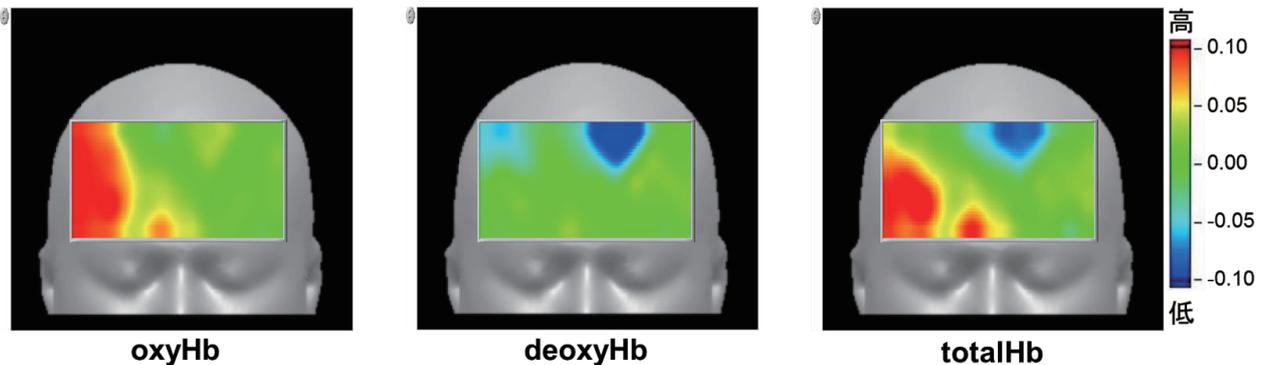


図 7 騒々しい音楽聴取時の前頭葉全体の血流量マッピング

化した後抑制されている。また、deoxyHbの相対値は、oxyHbおよび総Hbの相対値に比べ、ほとんど変化していないことがわかった。脳内の血流の一部は、脳で酸素が消費されると毛細血管の拡張等が起こり、その部位における酸素化ヘモグロビンが大量に増加する。これにより、脳が酸素欠乏に陥るのを防いでおり、この調節の一部にはグリア細胞(アストロサイト)が関わっていることが知られている³⁾。今回のタスクにより音楽の聴取において、前頭前野のoxyHbと総Hb量が上昇した一方で、deoxyHbは有意に上昇していない。脳中の酸素が消費されたにもかかわらず、deoxyHbの上昇が検出されなかったのは、測定値が総Hb量に対するdeoxyHbをあらわしているため、脳内で起こる毛細血管の拡張等に伴う大量のoxyHbの増加により、deoxyHbの変化量をマスクしてしまったためと考えられる。この現象は脳機能特有の現象で、筋肉組織等においては見られない現象である。筋肉組織等において、酸素が消費された場合は、脳のグリア細胞などによる血流調節機構がないため、酸素消費後のdeoxyHbは有意に上昇することが知られている。これらのことから、本グラフは脳における特徴的なoxyHb・deoxyHbの動きをあらわしていると考えられる。

さらに、リラックスする音楽聴取時と騒々しい音楽聴取時の、全チャンネルの測定結果より決定した前頭前野全体の血液量のマッピング結果をそれぞれ図6と図7に示す。図6と図7のoxyHbに注目すると、音楽の聴取時に前頭前野正中部において脳血流の低下が見られる。片寄らの先行研究⁴⁾では、音楽に没入するほど前頭前野正中部の血液量低下し、また、聴取者が好む楽曲であるほど音楽に没入しやすい傾向があることが述べられている。本実験で用いた2つの曲は、曲調は異なるものの、どちらも被験者が好む楽曲を用いており、被験者が楽曲に没入して聴取していることが計測出来た。

4. おわりに

fNIRSを用い音楽聴取時の前頭前野における脳血液量の測定を試みた。酸素化ヘモグロビンおよび総ヘモグロビンの相対値は、音楽聴取タスクの開始とともに一旦増加しその後、減少することがわかった。また、楽曲に没入し聴取すると前頭前野の活動が抑制されることがまた、脱酸素化ヘモグロビンは、ほとんど変化しないことがわかった。

謝辞

この研究の一部は、公益財団法人日本食品化学研究振興財団の研究助成金(2015年度)ならびに、文部科学省の科研費基盤(C)(研究課題番号26420770)の補助を受けた。

参考文献

- 1) Shub, Denis; Kunik, Mark E (April 16, 2009). "Psychiatric Comorbidity in Persons With Dementia: Assessment and Treatment Strategies". *Psychiatric Times* 26 (4).
- 2) Azuma T: Working memory and perseveration in verbal fluency. *Neuropsychology* 2004, 18:69-77
- 3) Olaf B Paulson, Steen G Hasselbalch, Egill Rostrup, Gitte Moos Knudsen, Dale Pelligrino : Cerebral blood flow response to functional activation. *J Cereb Blood Flow Metab* 2009, 9: 1-13 4)
- 4) 片寄 晴弘, 奥平 啓太, 橋田 光代: 音楽における没入感に関する検討 - 技能の拡張と身体性の視点から -, 2004, エンタテインメントコンピューティング
- 5) 須田 一哉, 森 悠太, 山岡 晶, 八田原 慎吾, 片寄 晴弘; f-NIRSによる音楽聴取時の没入感に関する検討, 情報処理学会研究報告音楽情報科学(MUS), 一般社団法人情報処理学会, 2006, 19, 41-46
- 6) 亀井 且有, 青山 美由夏, 木下雄一郎, クーパー エリック, 星野 孝総 打楽器音楽の感性評価における近赤外分光法による酸素化ヘモグロビン変化の定性的モデル アート・リサーチ 13462601 立命館大学 2007-03 7 61-69