

CG-004 オドボール課題時の脳内血流の変化と P300 との関連性に関する研究

A study on the relationship between P300 and changes in cerebral blood flow during the

oddball task.

田邊 柸磨

Toma Tanabe

1 まえがき

P300 とは、人体が低頻度の刺激を受けたとき、その刺激から約 300[ms]後に脳波に誘発される陽性成分で、事象関連電位の一つである^[1]。

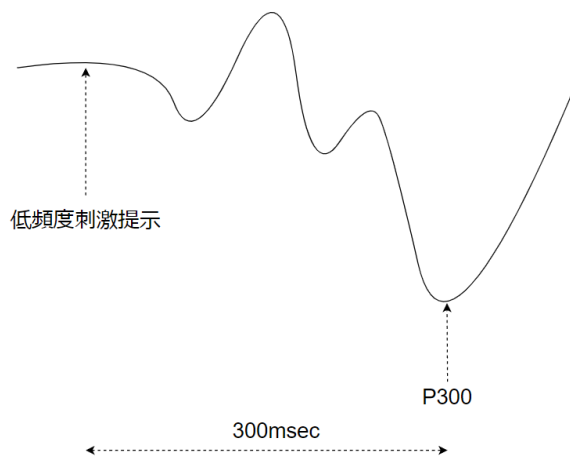


図 1 脳波における P300

従来、脳波にしか不随しないものとされてきたが、脳内血流から P300 に付随した現象を確認することを目的として、オドボール課題時の脳内血流を評価し、P300 との関連性を確かめる。

脳内血流にも P300 が付随すると確認できれば、機能的役割や発生源など未知な部分が多い P300 における、新たな情報の 1 つとなる。また P300 は現在、注意配分量の推定や隠蔽情報検査、ブレイン-コンピュータインタフェースなどに応用されている^[2]。そのため、脳波の他に脳内血流という新たな指標が増え、P300 応用の精度向上につながる。

さらに今回、オドボール課題により得られた脳内血流のデータから高次脳機能が判定できるのかを読み取る。高次脳機能とは認知のことで、知覚、記憶、学習、思考、判断などの認知過程と行為の感情を含めた精神機能を総称する。従来、脳に関する測定情報から高次脳機能に関する情報を得る、という研究は脳波などで盛んに行われてきた。これを脳内血流で行うことに、本研究の新規性はある。

脳の活動に伴う脳内血流の変化は僅かであり、急激に大きな変化が起こりにくい。だが、本研究で脳内血流の計測に使う光トポグラフィは、酸素化・脱酸素化ヘモグロビン濃度変化量が測定

可能という長所があり、本研究のテーマに適している。

2 実験方法

2.1 オドボール課題

P300 を誘発するためにオドボール課題を用いる。頻度の異なる刺激が繰り返し提示される中で、低頻度の刺激に意識を向ける課題である。

本実験では、丸の図形を 3 秒間隔で 40 回表示し、そのうち 3~6 回が赤い丸、他がすべて緑色の丸となるようなオドボール課題を実装した。赤い丸が低頻度刺激となる。

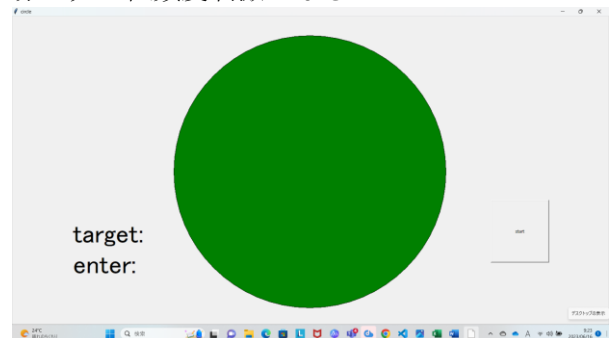


図 2 高頻度刺激



図 3 低頻度刺激(ターゲット)

P300 は 10~20%の低頻度刺激に付随することから、低頻度刺激を 3~6 回としている^[1]。以下本研究では、低頻度刺激である赤い丸をターゲットと呼ぶ。

なお、最初 30 回の刺激提示のうち、1~3 回は必ず緑色の丸を表示する。これは、被験者に緑色の丸が高頻度刺激であることを認識させるためである。

刺激の提示時間は 300[ms]に設定しており、被験者には、ターゲットが表示されている間に PC の Enter キーを押下するよう指示する。これにより、ターゲットに意識を向けてもらう。

2.2 脳内血流の計測

脳内血流の計測には、多チャンネル型のウェアラブル光トポグラフィ (NIRS) を用いる。NIRS と呼ばれる原理を用いたもので、人体の頭部に近赤外線を照射し、受光センサで体外に現れた光を検出し、それを解析してヘモグロビン濃度変化を求めるものである^[3]。近赤外線の吸収される程度がHbの酸素化状態によって変化することを利用しており、非侵襲的かつ簡易な測定が可能である。サンプリング周期は 200[ms]である。

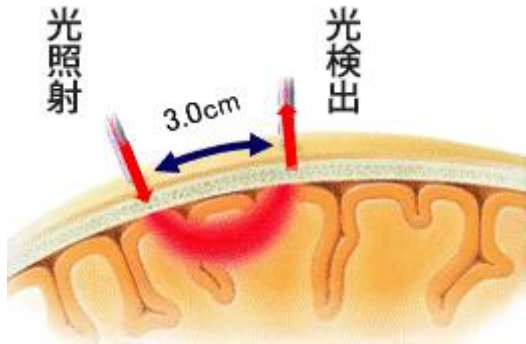


図 4 光トポグラフィによる脳内血流量変化計測の様子^[4]



図 5 光トポグラフィ装置

2.3 近赤外線 LED を利用した同期方法

光トポグラフィによる脳内血流の計測を開始し、その後オドボール課題を始めても、データ上ではどのタイミングでオドボール課題が始まったのかが不明である。更に、光トポグラフィのサンプリング周期は 200[ms]と長く、オドボール課題開始のタイミングはサンプリング点とずれが生じると考えられる。

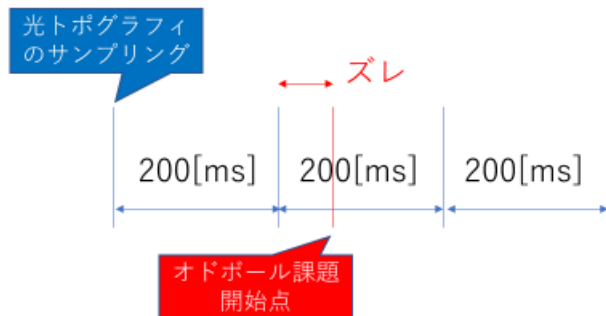


図 光トポグラフィのサンプリング点とオドボール課題開始点のズレ

そこで本研究では近赤外線 LED を用い、データ上でオドボール課題の開始点を算出する方法を採用した。

光トポグラフィの受光素子の近傍で近赤外線 LED を光らせると、前述した光トポグラフィの原理上、その時のデータは極端に大きく振れる。これを利用する。実験の際、光トポグラフィの計測を開始し、オドボール課題を始める前に、受光素子の近くに固定した近赤外線 LED を 210[ms] 点灯させ 200[ms] 消灯するという動作を 20 回繰り返すようプログラムしておく。光トポグラフィのサンプリング点と近赤外線 LED の関係を図 3 に示す。

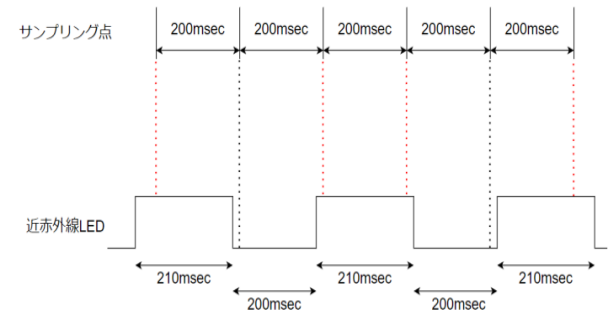


図 6 光トポグラフィのサンプリング点と近赤外線 LED の関係

光トポグラフィのサンプリング周期は前述したように 200[ms]のため、脳内血流量変化のデータは基本的に、極端な値とそうでない値を繰り返す。しかしその中で、極端な値が 2 回連続している場合がある。図 3 における真ん中 2 つのサンプリング点である。これは、LED が 210msec 光っている間に 2 回光トポグラフィがサンプリングしたということである。これがデータの同期を取るための指標となる。

実際に近赤外線 LED を光トポグラフィの受光素子近傍で光らせた際のデータを示す。

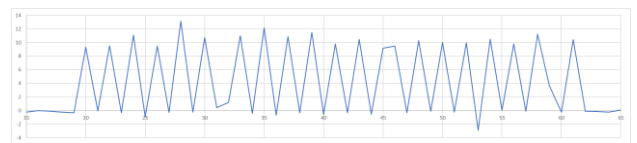


図 7 近赤外線 LED による外乱が与えられた波形

基本的には 1 データ毎に大きい値と小さい値を繰り返すが、定期的に値が連続する点が存在する。この点が、赤外線 LED の 210[ms] の点灯と光トポグラフィのサンプリングが揃った点である。ここを基準に計算することで、オドボール課題がいつ始まったが明確になる。サンプリング点からどれほどズレているかまで求められるため、精度の高い同期加算処理が可能となる。

2.4 脳波の計測

本実験のオドボール課題によって、P300 が実際に誘発されているかどうかを確かめるため、脳波計を用いてオドボール課題時の脳波を測定する。本研究では、生体信号収録装置 Polymate II を利用し、脳に生じる電気活動を、頭皮上に装着した電極で直接測定する。サンプリング周期は 25[ms] である。

アース電極は左耳たぶ、システムリファレンス電極は耳裏、汎用電極は前頭葉に取り付け、付属のソフトウェアを使いリアルタイムモニタリングを行いながら計測する。



図 8 Polymate II

2.5 補間

脳内血流や脳波は、測定時は離散的なデータである。連続的なデータとして扱うため、本研究では解析時に補間を用いる。様々な補間法を試し、適した補間法を選出する必要がある。

現在は秋間補間という補間法を用いている⁵⁾。突発的な変化になめらかに対応でき、ブレも少ないという特徴がある。

3 実験結果

2人の被験者の、オドボール課題時におけるターゲット付近の脳波と脳内血流を示す。なお、脳波と脳内血流は、同時に測っている。

ターゲット付近の波形の加算処理回数は被験者 A が 38 回、被験者 B が 47 回である。各図において、0[s] がターゲット提示のタイミングである。脳内血流の図において、縦軸は酸素化ヘモグロビン濃度である。また、脳波の図において、縦軸は下方向を正に取っている。

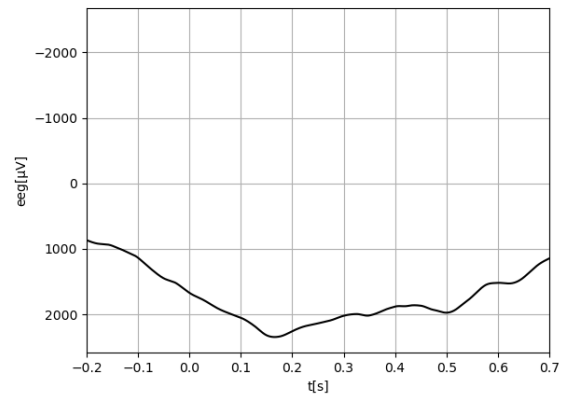


図 9 被験者 A の脳波

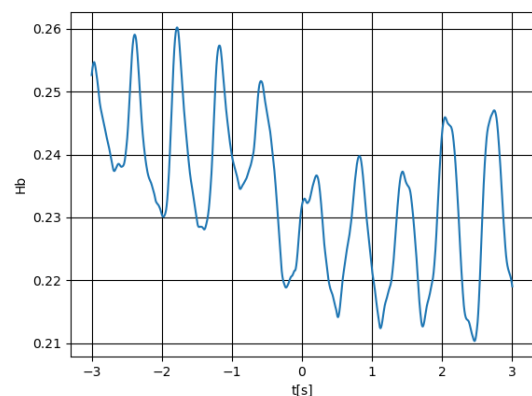


図 10 被験者 A の脳内血流

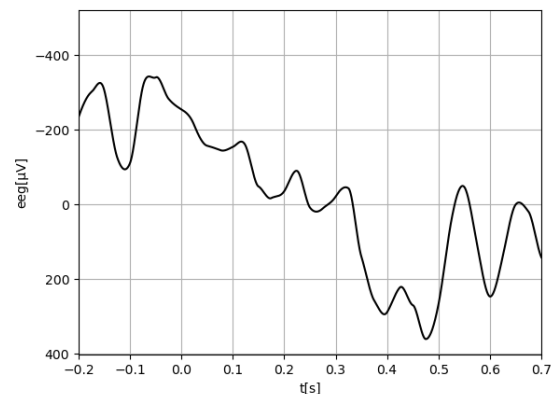


図 11 被験者 B の脳波

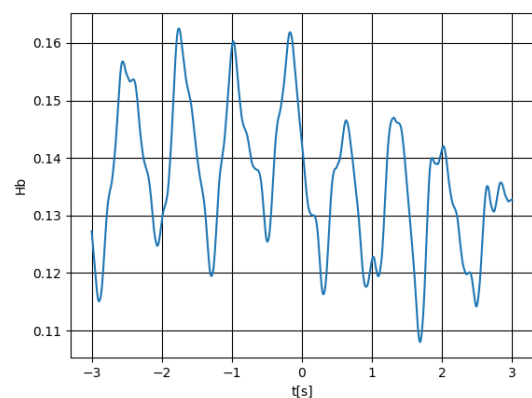


図 12 被験者 B の脳内血流

4 考察

図 4 の被験者 A の脳波においては、P300 らしきものは確認できていない。P300 はオドボール課題を行ったのちターゲット付近を加算処理しても、出る場合とでない場合があることは一般に知られている。

図 6 の被験者 B の脳波においては、300[ms] から 550[ms]にかけて正方向に大きく振れており、P300 を確認できる。

図 5, 7 を見てわかる通り、被験者 A, B ともに脳内血流は酷似したものとなった。0[s]でターゲットが提示されたのち、酸素化ヘモグロビンが減少している。刺激により脳が活性化し、酸素が消費された可能性がある。このことより、高次脳機能である認知に付随した反応が脳内血流に現れていることが確認できる。

被験者 A の脳波からは P300 は確認できず、被験者 B からは P300 は確認できたが、脳内血流においては同様の現象が確認できた。これらより、P300 由来では無い、低頻度刺激による血流変化がある可能性が示唆された。

5 おわりに

データが少ない状況ではあるが、低頻度刺激に付随する脳内血流反応の可能性を確認することができた。また、高次脳機能が脳内血流に現れる可能性も確認できた。今後、データをさらに増やしこの反応を確かなものになりたい。

6 参考文献

- [1]加賀佳美, 相良正男, 「P300 基礎」, 臨床神経生理学, 41 巻, 2 号, p80-85, 一般社団法人日本臨床神経生理学会, 2013/4/1 発行
- [2]入野野宏, 「P300 応用 認知科学の立場から」, 臨床神経生理学, 41 巻, 2 号, p86-92, 一般社団法人日本臨床神経生理学会, 2013/4/1 発行
- [3]高倉大匡, “近赤外線分光法” Equilibrium Research, Vol. 74, 552pp, (2015 年)
- [4] 心の風クリニック「光トポグラフィー検査について」 <https://k-kaze.jp/topo/>
2022 年 2 月 15 日閲覧
- [5]シキノート
<https://slpr.sakura.ne.jp/qp/akima-interpolation>
2023 年 5 月 28 日閲覧