

学位論文の内容の要旨

下田 佳央莉

Activation of the Prefrontal Cortex While Performing a Task at Preferred Slow Pace and Metronome Slow Pace: A Functional Near-Infrared Spectroscopy Study
(Preferred Slow PaceとMetronome Slow Paceで課題を行う時の前頭前野の活動：機能的近赤外分光法を用いた検討)

【はじめに】

我々が日常的に行う繰り返し動作には、preferred paceと呼ばれる速さが存在する。この速さは個人によって異なるが、個人内の恒常性は高いことが知られている。

Jahanshahi M. et al. (1995) や Jenkins I. H. et al. (2000) は、positron emission tomographyを用いて、健常人がself-initiated paceとexternally triggered paceで示指の伸展運動を行う時の脳活動を比較した。その結果、背外側前頭前野は、externally triggered paceよりもself-initiated paceで賦活した。しかしながら、彼らの実験における被験者の姿勢は閉眼・背臥位であった。

我々は、被験者が日常生活に近い環境で、彼らのPreferred Slow Pace (PSP, the self-initiated condition) とMetronome Slow Pace (MSP, the externally triggered condition) でペグボード課題を行う時の前頭前野の活動を比較するため、機能的近赤外分光法 (functional near-infrared spectroscopy;以下fNIRS) を用いて計測を行った。

【方法】

右利きと判定された22名の健常な大学生 (男性13名, 女性9名, 平均年齢 20.4 ± 1.2 歳) が本研究に参加した。尚, この研究は群馬大学疫学倫理審査委員会の承認を得て行われた。PSP課題では, 被験者は可能な限りゆっくりと歩き続けるイメージで, 右手でペグボード課題を行った。被験者は, いつ運動を開始するかを決定し, 自ら作り出したPSPを維持する必要があった。MSP課題では, 被験者は彼らのPSPに基づいて設定されたメトロノーム音に合わせて, ペグボード課題を行った。実験は20秒間の安静と, 30秒間の課題を3回繰り返す, ブロックデザインで行われた。被験者はPSP課題を行った後にMSP課題を行い, 運搬されるペグの本数は, 両課題で等しくなるように計画された。

我々は, 42channelのfNIRS装置 (LABNIRS, 島津製作所) を用いた。計測プローブは, 国際10-20法のFpzを基準に装着した。プローブ間の距離は3.0cm, 時間解像度は0.045秒に設定し, 前頭前野の酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb), 脱酸素化ヘモグロビン, そして総ヘモグロビンの相対的な変化を計測した。fNIRSの実験の後, プローブの位置情報を取得し, 送光・受光プローブの中間をchannelとした。我々は確率的レジストレーション法を用い, channelの位置するBrodmann areas (以下, BA) を推定した。本研究の関心領域は, 前頭極 (BA 10), 背外側前頭前野 (BA 9, 46), そして腹外側前頭前野 (BA 44, 45, 47) に設

定した。

解析の対象は、oxy-Hbとした。はじめに、PSP課題中と安静時、そしてMSP課題中と安静時のoxy-Hbに有意な差があるかを、個人間の一般線形モデルで検定した。そして、課題によって引き起こされた活動（PSP 対 安静、MSP 対 安静）は、channel毎のt検定で比較された（ $P < 0.0001$, Bonferroni補正後）。一般線形モデルの結果は、有意に賦活したchannelを選択するために使用された。その後、賦活したchannelの数が、PSP課題とMSP課題で異なるかを確かめるため、それぞれの関心領域における賦活したchannelの平均の数を、対応のあるt検定で比較した（ $P < 0.05$ ）。IBM SPSS Statistics ver. 22を使用した。

次に、それぞれの関心領域における活動したchannelのoxy-Hbの積分値を加算し、PSP課題とMSP課題で差があるかを、対応のあるt検定を用いて比較した（ $P < 0.05$ ）。IBM SPSS Statistics ver. 22を使用した。尚、我々はこの解析の前に、PSP課題とMSP課題の差は、課題の実施順序が同一であることによる学習効果や反復による影響ではなく、課題自身の特徴により引き起こされたことを確認している。

【結果】

PSP課題において被験者が運搬したペグの平均の本数は6.83本であり、運動の頻度は約0.23 Hzであった。また、我々はMSP課題中、被験者がメトロノーム音から逸脱した運動を行わなかったことを確認した。そのため、運動量は両課題で完全に一致していた。

安静時と比較し、課題中に有意に賦活したchannelの数を、PSP課題とMSP課題で比較した結果、全ての関心領域で有意な差は無かった。このことは、両課題とも、前頭前野の全ての関心領域を賦活させたことを示す。

次の積分値の解析で、我々はMSPよりもPSP課題で、前頭極のoxy-Hbの積分値が有意に大きくなることを発見した [$t(21) = 1.769$, $P = 0.046$]。

【考察】

賦活したchannel数を数えることにより、我々は全ての前頭前野の関心領域が、両課題で活動したことを確認した。先行研究は、self-initiated conditionで背外側前頭前野（BA 9, 46, 10）の賦活を示したことの理由を、背外側前頭前野が、先行する時間間隔の情報を、ワーキングメモリで保持したためと説明した。ワーキングメモリは、広範囲の複雑な認知的活動に不可欠であると言われている。加えて、腹外側前頭前野も、空間的なワーキングメモリにおいて重要な働きを持つと言われている。本研究においても、被験者は両課題の間、自身のワーキングメモリで以前の反応タイミングの情報を保持することを要求されたため、背外側・腹外側前頭前野の活動が起こったと考えられた。

また、我々は前頭極（BA 10）の活動がMSP課題よりもPSP課題で有意に大きいことを確認し、この結果は先行研究と一致していた。PSP課題中、被験者は自身の視覚・聴覚・固有受容器等からのフィードバックを受けながら運動を行っていたと考えられる。前頭前野の階層性のモデルにおいて、前頭極はその階層の最上位である。そして、前頭極は特に、自身が行動するために発生した反応・計画の評価をする時に活動する。加えて、前頭極は背外側・腹外側前頭前野の活動を最大化する時に働き、課題中の遂行を維持し、操作し、

モニターすると言われている。これらのことから、PSP課題中の前頭極の活動は、被験者が自身で発生したPSPを、下位の前頭前野の活動を協調させながら、評価やモニターを行っていたために、引き起こされたと考えられる。