

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：32206

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K19918

研究課題名（和文）運動時の脳活動を増大させる空間的な注意条件の検討

研究課題名（英文）Visuospatial processing load enhance the brain activity associated with motor preparation

研究代表者

文室 知之（Fumuro, Tomoyuki）

国際医療福祉大学・福岡保健医療学部・助教

研究者番号：30727079

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：健常者計21名を対象に空間注意と運動を組み合わせた課題の実施中に脳波計測を行った。提示課題として周辺視野内を一定のスピードで時計回り／反時計回りに移動する視覚指標を用いた。計測した脳波は短時間フーリエ変換で時間周波数解析を行った。その結果、運動開始時点の指標の位置や移動方向によって α 波帯域の事象関連脱同期（ERD）の出現強度や分布に影響がみられ、（1）運動時の指標位置の左右半視野と同側半球で α -ERDは増大した。また、（2）視覚指標が上方向に移動中に運動した場合に α -ERDは後頭半球で増大し、下方向へ移動中の運動では抑制された。これらは左右どちらの手で運動した場合も同様の結果を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

空間的な注意条件（注意対象となる視覚指標の位置や移動方向）により、運動開始時点で活性化する脳領域がどのように変化するかについてその一端を明らかにした。本研究の成果は、運動機能に障がいをもつ患者のリハビリテーションや、脳の電気的な活動から運動企図を読み取るブレイン・マシン・インターフェイスの分野で今後の展開が期待される。

研究成果の概要（英文）：A total of 21 healthy subjects underwent electroencephalography (EEG) measurements while performing a combined spatial attention and motor task. A visual indicator moving clockwise/counterclockwise in the peripheral visual field at a constant speed was used as the presentation task. The EEG data were subjected to time-frequency analysis using a short-time Fourier transform. The results showed that the intensity and distribution of event-related desynchronization (ERD) in the α - and β -wave bands were affected by the position and direction of the index at the beginning of the exercise. Specifically, (1) α -ERD increased in the hemisphere ipsilateral to the visual field of the index position at the start of the movement. (2) When the visual index was moving upward, α -ERD increased in the occipital hemisphere, while it was suppressed when the index was moving downward. These findings were similar regardless of whether the motor task was performed with the left or right hand.

研究分野：臨床神経生理学

キーワード：脳波 運動 空間注意 事象関連脱同期 リハビリテーション ブレイン・マシン・インターフェイス

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

運動中の脳波計測では、運動野の脳皮質において $\alpha \sim \beta$ 波帯域の脳波成分が運動前に減衰する事象関連同期 (ERD)、および運動直後から発生する事象関連同期 (ERS) の反応が知られている (Pfurtscheller and Lopes da Silva, Clin. Neurophysiol. 1999)。近年ではブレイン・マシン・インターフェイス (BMI) の発展が進み、身体障がい者や患者の脳波から ERD を計測して運動企図を検出し、運動をサポートするリハビリテーションの研究が盛んである (Ganesh et al., Aci Adv. 2018)。現在、頭蓋内電極を利用した BMI の臨床試験 (UMIN 試験 ID: UMIN000017900) も開始されるなど、実用化が進められつつある。しかし、運動 (または運動場面の想像) による ERD の出現強度は被験者に残存する運動能力に比例する傾向がある。つまり運動サポートを必要とする重度の障がい者、患者ほど ERD を発生できず BMI の適用が難しい。このパラドックスを解消するためには、簡単な動作を用いながらも運動以外の条件を組み合わせることで ERD を増大させる必要がある。日常で、机上の対象 (パソコンのマウスやコップなど) を手に取ったり道を歩く際には、ほとんど顔や眼を動かさずに前方を見たまま周辺視野で対象に手を伸ばしたり人や障害物をよけて歩いている。過去に申請者は、対象に向かって手を伸ばす運動や、周辺視野に注意対象を設定した運動では ERD が運動野から頭頂・後頭部へ拡大することを明らかにした (Fumuro et al., Clin. Neurophysiol. 2015; Fumuro et al., 31th International Congress of Clinical Neurophysiology 2018)。しかし、周辺視野内での注意対象の位置や移動方向までを含めた研究は過去に例がなく、空間注意が ERD に与える影響は不明な点が数多く残っている。今後の BMI の適用拡大には空間注意がどのように ERD に影響するのか、特に ERD を増大させる条件は何か、この問いを解明することが不可欠である。実際の生活環境で要求される対象の位置や移動方向への注意を含む課題設定からこの問いを解明することで、将来、重度の障がい者や患者が BMI を用いて主体的に生活できる社会の発展に貢献できると考えた。

2. 研究の目的

空間注意を担う頭頂・後頭部に注目し、ERD の出現強度・分布と運動時の空間注意との関係を調べた。即ち、注意対象となる視覚指標の位置・移動方向によって頭頂・後頭部の ERD がどのような影響を受けるか、さらに運動肢の左右による影響について明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 対象

20 歳代の右利き健常者 21 名を対象とした。

(2) 計測準備

国際 10-10 法に基づいて頭皮上に脳波用電極を装着した (図 1)。電極は関心領域である頭頂・後頭部に多く配置した。この他に、両上肢の長橈側手根伸筋および三角筋に筋電図用電極、両眼窩周辺に眼電図用電極を装着した。電極抵抗は 5 k Ω 以下とした。

(3) 運動と視覚指標の位置報告に関する視覚提示課題
被験者はソファに座り、肘掛けに前腕をのせて安静にした (図 2)。課題中、被験者に 150 cm 前方に設置したディスプレイの中央を固視するように指示した。ディスプレイには時計回りに 3 秒で 1 周するボールが映し出された (次頁、図 3-左①)。この視覚提示課題は先行研究 (Libet et al., 1983) とほぼ同じ条件に設定した。被験者には自由なタイミングで手関節伸展運動を行うよう指示した (次頁、図 3-中央②)。

人の頭を上から見た図

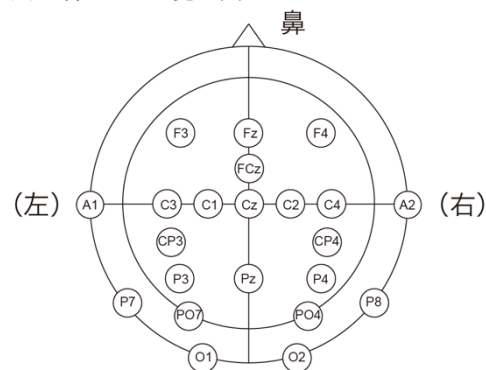


図 1 電極装着部位



図 2 計測中の被験者の姿勢

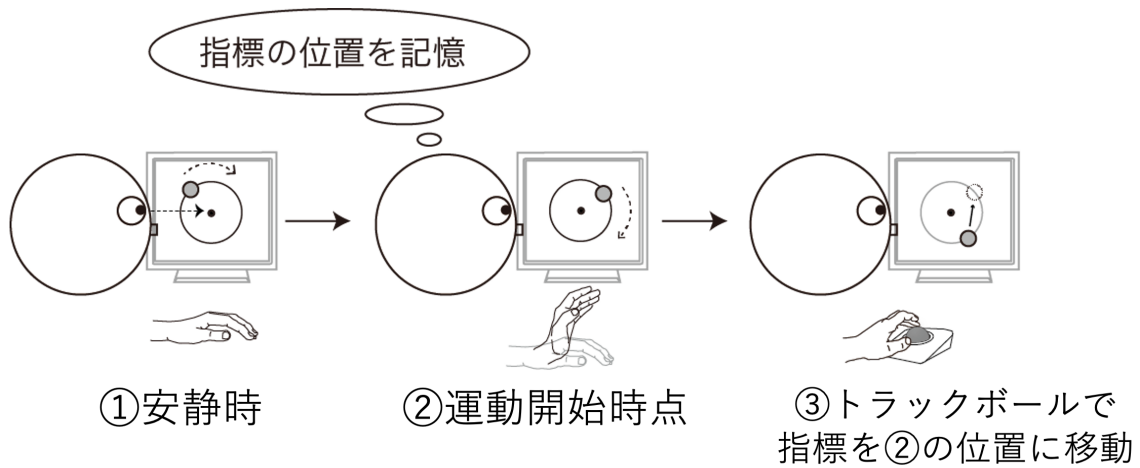


図 3 1 試行の開始から終了まで

(4) 運動と運動開始時点の指標位置の報告課題
手関節伸展運動を行った直後、被験者は手の物理的な動作開始時点 (図 3-中央②) においてボールがディスプレイ上のどの位置にあったのか、手元のトラックボールでディスプレイ上のボールを移動させて回答した (図 3-右③)。筋電図の発生時点のボール位置 (図 3-中央②) と被験者がマウスで移動させたボール位置 (図 3-右③) の間で、位置の誤差が一定の範囲内であれば被験者がボールに対して (周辺視野で) 十分に注意していたことが証明できる。課題はボールが反時計回りに周回する条件も同様に行った (図 4)。試行は周回方向毎に 120 回ずつ、これらの課題を左右の手で別々に行った。

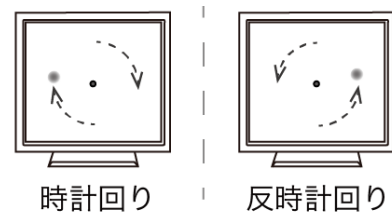


図 4 2 種類の周回方向

(5) データの解析
ボールが周回する 2 種類の方向 (図 4: 時計回りまたは反時計回り)、運動開始時点で被験者が注意を向けたディスプレイ上のボール位置 (図 5: 左半視野または右半視野)、および運動肢の左右により各試行をグループ分けした。試行グループ毎に、運動開始前 3 秒間～運動後 1 秒間の脳波について短時間フーリエ変換を用いて時間周波数解析を行った。最初の 1 秒間の平均値を基準として運動前 2 秒間の ERD および運動後 1 秒間の ERS を計算した。
試行グループ毎に脳波の時間周波数解析を行い、特に頭頂・後頭部に注目して ERD の出現強度や分布に差が生じるか検討した。

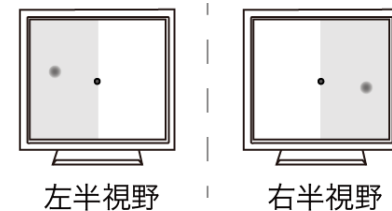


図 5 運動開始時点のボール位置

4. 研究成果

(1) α 波帯域の ERD (α -ERD)

運動前に発生した α 波帯域の ERD は 10-12 Hz で比較的明瞭であった。この周波数帯域について、先行研究 (Fumuro et al., Clin. Neurophysiol. 2015) と同じく運動前 800 ミリ秒の時点での ERD を計測し統計解析を行った。

α -ERD について運動開始時点で視覚指標が存在した視野の左右と電極位置との関連を調べた。その結果、運動開始時点における視覚指標の左右半視野と同側の頭皮上頭頂・後頭部で α -ERD は有意に増大した。つまり電極位置が左頭頂・後頭部の場合、視覚指標となるボールが運動開始時点で左半視野にあった試行では運動開始時点で右半視野にあった試行の ERD を有意に上回った (rANOVA, $p = 0.007$ [電極位置×視野の交互作用: 左頭頂・後頭部])。右頭頂・後頭部においても、ボールが運動開始時点で右半視野にあった試行では左半視野にあった試行の ERD を有意に上回った (rANOVA, $p = 0.018$ [電極位置×視野の交互作用: 右頭頂・後頭部])。

次に、 α -ERD について運動開始時点における視覚指標の移動方向の上下と電極位置の関連について調べた。その結果、視覚指標が上向きに移動中に運動を開始した試行では、指標が下向きに移動中に運動を開始した試行に比して ERD は有意に増大した。つまり時計回りに周回するボールを提示された条件において、ボールが左半視野を上方向へ移動中に運動を開始した試行で発

生した ERD は、右半視野を下方向へ移動中に運動を開始した試行の ERD を上回った。反時計回りの提示条件においても、ボールが右半視野を上方向へ移動中に運動を開始した試行で発生した ERD は、ボールが左半視野を下方向へ移動中に運動を開始した試行の ERD を上回った。この差は左右の頭頂・後頭部それぞれで有意に認められた (rANOVA, $p = 0.022$ [電極位置×移動方向の交互作用: 左頭頂・後頭部], $p = 0.018$ [右頭頂・後頭部])。運動開始時点で視覚指標が存在する視野の左右位置や、視覚指標が移動する上下方向により主に頭頂・後頭部の α -ERD が変化する現象は、運動を左右どちらの手関節で行っても同様の結果を示した。

(2) β 波帯域の ERD (β -ERD)

β 波のうち運動前の ERD が比較的明瞭で、かつ上述の α -ERD で解析対象とした周波数帯域の 2 倍にあたる 20-24 Hz について、運動前 800 ミリ秒の時点でのパワー変化を解析した。その結果、 β -ERD は運動開始時点で視覚指標が存在した視野の左右と同側半球で対側半球を上回り、左頭頂・後頭部において統計的に有意な差を示した (rANOVA, $p < 0.001$ [電極位置×視野の交互作用: 左頭頂・後頭部])。

(3) 考察

ERD の解析結果から、運動準備に関わる脳電位の出現部位は、運動開始時点における視覚指標の位置や移動方向といった空間注意条件の違いにより変化が生じること、およびこの変化は特に頭頂・後頭部に現れることが示された。

ERD の出現部位は、運動する上肢の左右では大きな差を示さず、むしろ注意対象となる視覚指標の位置や移動方向による影響を強く受ける可能性を示した。賦活される脳部位が空間注意により変化する背景については未解明な点があるものの、実践的な運動機能のリハビリテーションや BMI の分野で今後の応用・展望が期待できる。

今回は頭皮上記録の脳波で電極数も限られるため、ERD が増大する部位の詳細な特定には技術的な限界がある。今後は患者や医療機関からの協力を得て、臨床目的で実施される頭蓋内脳波や神経画像検査を用いるなどして解剖的な詳細についても研究を進めたい。

<参考文献>

- G. Pfurtscheller and FHL. Lopes da Silva. Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. Clin Neurophysiol. 110(11),1842-1857,1999.
- G. Ganesh et al., Utilizing sensory prediction errors for movement intention decoding: A new methodology. Sci Adv. 4(5):eaq0183,2018.
- T. Fumuro et al., Alpha-band desynchronization in human parietal area during reach planning. Clin Neurophysiol. 126(4):756-62,2015.
- T. Fumuro et al., Visuospatial processing load enhance the brain activity associated with motor preparation. 31th International Congress of Clinical Neurophysiology 2018.
- B. Libet et al., Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential). The unconscious initiation of a freely voluntary act Brain 106(3),623-42,1983.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 文室知之、松橋眞生、下竹昭寛、宇佐美清英、松本理器、池田昭夫、赤松直樹
2. 発表標題 空間注意と運動準備段階で発生する脳電位変化の関係：頭蓋内電極を用いた検討
3. 学会等名 第49回日本臨床神経生理学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 文室知之、松橋眞生、池田昭夫、赤松直樹
2. 発表標題 運動準備段階の脳活動を変容させる空間注意条件の検討
3. 学会等名 第50回日本臨床神経生理学会学術集会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------