

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K11482

研究課題名（和文）アスリートの優れた視覚情報処理機能を支える神経基盤の解明

研究課題名（英文）Exploring the neural basis of athletes' superior visual information processing function

研究代表者

上林 清孝（Kamibayashi, Kiyotaka）

同志社大学・スポーツ健康科学部・准教授

研究者番号：70415363

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：周辺視野に関わるとされる大脳皮質の視覚領域を中心に、灰白質容積が3次元複数対象追跡課題の成績と正の相関が示された。また、後頭葉の視覚領域に対して、非侵襲的な刺激方法である経頭蓋直流電気刺激を陰極刺激で与えることで、その課題成績をより向上させる可能性が示された。さらに、バスケットボールのフリースロー動作を観察対象とした実験結果から、バスケットボールの運動経験に関わらず、通常の再生速度に比べて遅い再生速度では、動画観察中の一次運動野から脊髄運動ニューロンへつながる皮質脊髄路の興奮性が高まらないことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回の研究成果から、球技スポーツで重要となる視覚情報処理機能において、灰白質容積との関連が示され、アスリートの優れた視覚情報処理機能を支える脳の構造的特徴が明らかにされた。アスリートの卓越した機能に迫るこのような研究成果は、今後、スポーツタレントの発掘につながる可能性がある。また、非侵襲的な脳刺激がパフォーマンス向上に寄与する可能性が示されたことから、機能を高める新たなトレーニング手法の開発も期待される。

研究成果の概要（英文）：The gray matter volume in the visual cortex areas associated with peripheral vision showed a positive correlation with performance on the 3D multiple object tracking task. Additionally, non-invasive cathodal stimulation to the visual areas in the occipital lobe by transcranial direct current stimulation demonstrated the potential to further enhance task performance. Furthermore, the results from observing basketball free-throw actions revealed that, regardless of basketball experience, the excitability of the corticospinal pathway, which connect primary motor cortex to spinal motor neurons, was not facilitated during video observation at a slower playback speed compared to normal playback speed.

研究分野：神経科学

キーワード：視覚 MRI 灰白質 経頭蓋直流電気刺激

## 1. 研究開始当初の背景

球技スポーツでは、ボールだけでなく、相手や味方の位置など瞬時に把握し、自らの行動を決定し、身体動作を実行する必要がある。視覚情報は網膜から視神経、外側膝状体を介して後頭葉にある一次視覚野に伝えられ、さらに複数の脳領域で処理される。そのため、アスリートは視覚的空間分解能を示す「視力」が優れているだけでなく、動いている対象物を正確に知覚・認知する脳内での情報処理が重要となってくる。

これまで、視覚能力に関する多くの評価手法は奥行き知覚や瞬間視のような課題が主で、スポーツ場面に類似した視機能計測に注意は向けられていなかった。近年では、実際のスポーツ場面に類似した状況下での視覚情報処理能力を評価する手法として、複数対象追跡(multiple object tracking: MOT)課題が注目されている。この3次元課題では、スクリーン上の仮想3次元空間を動く複数のボールのなかから、あらかじめ指定されたボールの移動を数秒間追視し、回答することが求められる。ボールは四方の壁やボール同士の衝突で動き方向が変わることから、その動きを予測する能力も必要となり、動的シーンの視覚情報処理能力を定量化する試みがなされている。MOT課題を用いた先行研究において、一流アスリートは速いボール速度でも正しく追視できること(Faubert, 2013)やプロバスケットボール選手においてこの課題成績が試合中のアシスト数やスティール数などのパフォーマンスと相関すること(Mangine et al., 2014)が報告されており、動的場面の視覚処理能力が競技レベルに関連することが示されている。しかしながら、こうした優れた視覚情報処理能力を有するアスリートの脳に構造的特徴がみられるのか明らかにされておらず、優れた視覚情報処理を可能とする神経基盤は解明されていない。また、非侵襲的な脳刺激によって視覚情報処理に関わる脳領域の興奮性を修飾することで、課題成績を高めることが可能であるかもこれまで検証されていない。

## 2. 研究の目的

本研究の主目的は、動的な視覚ターゲットを正しく追跡することが要求される MOT 課題において、大学アスリートの課題成績は優れているのか、また優れた視覚情報処理に関連して脳構造に特徴がみられるのか調べることであった。まず、難度の異なる MOT 課題の成績から個人差を調べ、運動経験による影響や他の視機能との関連を調査した。次に、磁気共鳴画像法(magnetic resonance imaging: MRI)を用い、脳の局所的な灰白質量が MOT 課題の成績と相関する領域が存在するかを調べ、脳の構造的な特徴から動的な視覚情報処理の能力差をもたらす神経基盤を明らかにすることとした。続いて、非侵襲的に脳の興奮性を修飾できる経頭蓋直流刺激(transcranial direct current stimulation: tDCS)によって、視覚情報処理に関連する脳活動を変化させ、課題成績を向上させることができるかを調べることであった。この tDCS では陽極での刺激によって興奮性を高め、反対に陰極での刺激では興奮性を低下させることから(Nitsche & Paulus, 2000)、視覚野に対する陽極刺激および陰極刺激による効果を検証した。最後に、スポーツシーンにおける視覚情報として、バスケットボールのフリースロー動作の動画観察から、大脳皮質一次運動野から脊髄運動ニューロンへつながる皮質脊髄路の興奮性がその動作の運動経験や動画再生速度といった因子によって変化するか明らかにすることとした。

## 3. 研究の方法

### (1) アスリートにおける MOT 課題の成績

大学生を対象とし、MOT 課題(NeuroTracker, CogniSens 社製)の追跡ターゲットとなるボールの移動速度を低(速度 0.8)・中(速度 1.6)・高(速度 2.4)の3段階に設定し、それぞれ10試行からボールの正答率を評価した。この MOT 課題ではスクリーン上の仮想立体空間に黄色のボールが8個表示され(図 1A)、追跡対象となるボールの色が一時的に変化した(図 1B)。その後、すべてのボールが黄色に戻り、8個のボールが様々な方向へ直線的に移動を開始した(図 1C)。移動中、他のボールや壁に衝突した際にはボールの移動方向が変化した。8秒後にすべてのボールが停止し、各ボールに数字が割り振られ、対象となっていたボールの数字を選択する課題であった(図 1D)。回答後にターゲットとなっていたボールが示され、正答がフィードバックされた(図 1E)。また、別の課題では、追跡対象となった4つのボールを全て正答した際には次の試行でボール速度が0.05 logの割合で上昇、1つでも誤答した場合には0.05 log低下する1-up・1-down 階段法による20回の試行からボールの速度閾値を算出した。

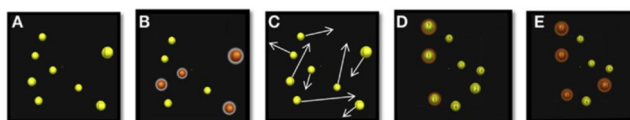


図1 3次元複数対象追跡課題の流れ

## (2) MOT 課題成績と相関する灰白質容積の解析

大学生を対象とし、MRI で撮像した 3 次元 T1 強調画像から voxel-based morphometry (VBM) 法によって頭蓋内の局所灰白質容積をボクセルごとに評価し、その灰白質ボクセル値と 3 次元 MOT 課題の成績と相関する脳領域を重回帰分析によって解析した。MOT の課題成績は上述の 1-up・1-down 階段法によって算出されたボールの速度閾値を用いた。

## (3) tDCS による皮質の興奮性増加が MOT 課題の成績に及ぼす効果

大学生を対象に、低(速度 0.8)・中(速度 1.6)・高(速度 2.4)の速度条件での MOT 課題を各 10 試行実施した後、20 分間の 2 mA の tDCS を与えた。刺激の電極配置は、後頭部正中線上の Oz を陽極あるいは陰極とし、対極電極は右前額部 Fp2 あるいは正中中心部 Cz とした。刺激直後に再度 3 つの速度条件での課題を 10 試行ずつ実施し、刺激前の正答個数に対する刺激後の正答個数から変化率を算出した。

## (4) 動画による運動観察時の皮質脊髄路興奮性に対する再生速度や運動経験の影響

大学体育会バスケットボール部に所属するバスケットボール熟練者とバスケットボールの経験の少ない未熟練者を対象とし、バスケットボールの右投げによるフリースロー動作の動画を観察させた。動画観察中に左の一次運動野に対して経頭蓋磁気刺激(transcranial magnetic stimulation: TMS)を与え、右の橈側手根屈筋と小指外転筋の筋電図から運動誘発電位を記録し、その振幅から皮質脊髄路の興奮性を評価した。また、動画の再生速度を 100%、75%、50%の 3 条件とし、動作の再生速度による皮質脊髄路興奮性への影響を調べた。

## 4. 研究成果

### (1) アスリートにおける MOT 課題の成績

参加者の平均速度閾値は 1.5 で、設定した 3 段階のボール速度のうち、速度(中)条件と同等であった。速度閾値の約 1.6 倍となる速度(高)条件では、正しく追跡できたボール個数は 6 割程度に低下した。一般大学生や陸上部の学生と比較して、球技スポーツを行っている学生は MOT 課題で優れた成績を示した。大学サッカー部員を対象に、所属カテゴリー間で比較したところ、速度閾値に差は見られなかった。一方、ポジション間の比較では速度閾値に差はみられなかったものの、フォワードの瞬間視能力が他のポジションの選手よりも高いことが示された。体育会バスケットボール部の選手では、フォワードに比べてガードのポジションで課題成績が高い傾向があり、プレーメーカーとして広い視野が要求されるポジションの特性が示唆された。また、MOT 成績上位群では下位群に比べて試合中のアシスト本数が有意に多かった。

### (2) MOT 課題成績と相関する灰白質容積の解析

MRI の VBM 解析により、周辺視野に関わるとされる大脳皮質の視覚領域を中心に、灰白質容積が MOT 課題の速度閾値と正の相関を示した(図 2)。一方、課題成績と負の相関を示す脳領域は存在しなかった。以上の結果から、動的対象を追跡する視覚情報処理能力における脳の構造的特徴が示唆された。灰白質容積に関して、ジャグリングやテレビゲームの数か月わたるトレーニングによって脳の特定領域における灰白質の増加が報告されている(Dragnaski et al. 2004, Kühn et al. 2014)。本研究から、優れた視覚情報処理能力を有するアスリートでは視覚情報処理に関わる脳領域で灰白質容積が増大している可能性が考えられる。

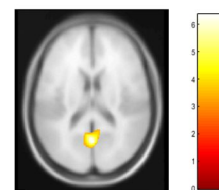


図 2 灰白質量が 3 次元複数対象追跡課題での速度閾値と正の相関を示した領域 ( $z = 17$ )

### (3) tDCS による皮質の興奮性増加が MOT 課題の成績に及ぼす効果

Oz に対する tDCS の陰極刺激の場合、ボールの移動速度が速い条件で課題成績の向上がみられた。その陰極刺激において、陽極を前額部よりも頭頂部に配置した際に課題成績の変化率がより大きくなった。一方、陽極刺激や疑似刺激の条件では課題成績に変化はみられなかった。これらの結果から、そのメカニズムは不明であるものの大脳皮質に対する非侵襲的な刺激によって、即時的に視覚情報処理能力を高められる可能性が示された。

### (4) 動画による運動観察時の皮質脊髄路興奮性に対する再生速度や運動経験の影響

バスケットボールのフリースロー動作の動画観察で生じる皮質脊髄路興奮性の変化について、バスケットボールの運動経験による差を調べたが、熟練群と未熟練群との間に顕著な相違は確認されなかった。一方、バスケットボールの運動経験に関わらず、通常の再生速度に比べて遅い再生速度では、動画観察中の皮質脊髄路の興奮性が低下する結果となった。このことから、複雑な動作観察時の再生速度の低下は皮質脊髄路の興奮性を高めるうえで有効ではないことが示唆された。

<引用文献>

- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427(6972), 311-312.
- Faubert, J. (2013). Professional athletes have extraordinary skills for rapidly learning complex and neutral dynamic visual scenes. *Scientific reports*, 3(1), 1154.
- Kühn, S., Gleich, T., Lorenz, R. C., Lindenberger, U., & Gallinat, J. (2014). Playing Super Mario induces structural brain plasticity: gray matter changes resulting from training with a commercial video game. *Molecular psychiatry*, 19(2), 265-271.
- Mangine, G. T., Hoffman, J. R., Wells, A. J., Gonzalez, A. M., Rogowski, J. P., Townsend, J. R., ... & Stout, J. R. (2014). Visual tracking speed is related to basketball-specific measures of performance in NBA players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(9), 2406-2414.
- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of physiology*, 527(Pt 3), 633.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kitamura Masaya, Yamamoto Katsuya, Oshima Atsushi, Kamibayashi Kiyotaka	4. 巻 18
2. 論文標題 Corticospinal excitability during observation of basketball free-throw movement: Effects of video playback speed and stimulus timing	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0292060
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0292060	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 北村将也, 山本勝也, 大島惇史, 上林清孝
2. 発表標題 バスケットボールのフリースロー動作観察における動画再生速度が皮質脊髄路興奮性に及ぼす影響
3. 学会等名 京都滋賀体育学会第152回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北村将也, 大島惇史, 上林清孝
2. 発表標題 学習時と異なる力発揮速度で行う運動イメージが皮質脊髄路興奮性に及ぼす影響
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上林清孝
2. 発表標題 視覚情報処理能力に関連する大脳皮質構造
3. 学会等名 日本体力医学会第35回近畿地方会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kamibayashi K, Narai Y, Oshima A.
2. 発表標題 Cortical structures associated with multiple object tracking performance.
3. 学会等名 Neuroscience 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上林清孝, 榎井雄己, 大島惇史
2. 発表標題 3次元複数対象追跡課題の成績と皮質構造との関連
3. 学会等名 第74回日本体力医学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

同志社大学スポーツ健康科学部 上林研究室 <a href="https://www1.doshisha.ac.jp/~kkamibay/">https://www1.doshisha.ac.jp/~kkamibay/</a> 同志社大学トピックス <a href="https://www.doshisha.ac.jp/news/detail/001-0qAfZd.html">https://www.doshisha.ac.jp/news/detail/001-0qAfZd.html</a>
--

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
---------	---------