

令和 5 年 6 月 11 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19584

研究課題名（和文）アスリートにおける脳の可塑的变化に関わる要因および機能的役割の探索

研究課題名（英文）The factors that determine the brain plastic changes and its functional role in various athletes

研究代表者

中川 剣人（Nakagawa, Kento）

早稲田大学・スポーツ科学大学院・講師（任期付）

研究者番号：80735457

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、トップアスリートの驚異的な身体運動の巧緻性を支える脳の可塑的变化が競技特性や競技力によってどのように異なるのかを検討することを目的とした。そのため、特徴の異なる競技選手を対象として、3テスラMRI装置を用いて、競技ごとの脳構造の特徴を明らかにした。その結果、1) 野球選手における小脳の白質構造の増大、2) スキー選手における頭頂葉の灰白質構造および白質構造の増大、競泳選手における小脳、視床下部の増大、背外側前頭前野、楔前部の競技力依存的な灰白質の変化といった競技特性を反映していると考えられる脳構造（局所灰白質体積、白質横断面積）の特徴を抽出することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アスリートの競技力を高めるために脳を中心とする神経系の貢献は少しずつ理解が進んでいる。一方で、競技力を高めるための中枢神経系への介入やトレーニングをどのように実施すればよいのかはほとんどわかっていない。その原因の一つとして、競技によって脳の特徴が異なることが予想されるため、現状打破の第一歩として、脳の可塑的变化における競技特異性を検討する必要がある。本研究では、従来の研究で多く行われてきた非運動選手との比較ではなく、他競技選手との比較を行い、競技特異的な脳の特徴を明らかにしたことで、競技によって介入する脳領域を変える必要があるかもしれないということを提言できる。

研究成果の概要（英文）：The objective of the current study series was to investigate the difference in the brain structure of elite athletes depending on type of sports and athletic level. We examined the characteristics of brain structures in various types of athletes using 3-Tesla MRI. Results showed that 1) higher white matter volume of cerebellum in baseball athletes, 2) higher gray matter and white matter volume of parietal lobe in elite skiers, and 3) higher gray matter volume of cerebellum and hypothalamus, and increased volume of dorsolateral prefrontal cortex and precuneus with increasing athletic level in swimmers. These brain characteristics likely reflect the properties of each sport.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：MRI 脳の可塑性 アスリート

## 1. 研究開始当初の背景

トップアスリートの驚異的な身体運動の巧緻性を支える大きな要因として、競技に特異的な動作をスムーズに遂行できるように、**脳が可塑的に変化している(神経回路が再構築される)こと**が挙げられる。中枢神経系の可塑性は、使用依存性を有するため、各競技や種目あるいはポジションのトレーニングに特化した中枢神経系を獲得していることが考えられる。実際、競技で重要な身体部位を支配する一次運動野の機能マップは、競技の特性を反映していることを示唆した報告がなされている (Tyc et al. 2005; Pearce et al. 2000)。競技特異的な脳の特徴を明らかにするには、対照群を非運動選手と設定するのではなく、競技レベルを統制したうえで特徴の異なる競技の選手を設定し、群間比較を行う必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、中枢神経系の可塑性、特に一次運動野の構造変化がどのような要因で起こるのかを検討することを目的とした。特に、競技特性による変化や運動機能との関係性に着目した。

## 3. 研究の方法

### 【研究1】野球選手の白質構造および運動のばらつき

非常に高速かつ巧緻なオープンスキルを必要とする野球選手の脳内白質構造の特徴を明らかにするため、ハイレベルな大学野球選手群、比較対象としてクローズドスキル競技である陸上競技選手群をリクルートし、3テスラ MRI 装置を用いて、全脳拡散強調画像を取得し、白質線維横断面積が群間で異なる領域を算出した。

### 【研究2】スキー選手の灰白質・白質構造

トップスキーヤーを対象として、彼らのスキー技術の神経科学的基盤を検討するため、スキー選手特有の脳構造を明らかにするため、スキー群として全国大会入賞以上の競技歴を持つスキー選手群を対象として、対照群として全国大会入賞以上の競技歴を持つ様々な競技の選手群と比較した。3テスラ MRI 装置を用いて取得した全脳 T1 強調画像、拡散強調画像、安静時脳活動から、灰白質体積、白質線維横断面積、機能的ネットワークが群間で異なる領域を算出した。

### 【研究3】クローズドスキルスポーツにおける競技特異的、競技力特異的な脳構造の違い

同じクローズドスキル競技において、レースを行うのが水中と陸上という違いがある競泳選手と陸上競技選手の脳構造を比較した。3テスラ MRI 装置を用いて取得した全脳 T1 強調画像を基に、灰白質体積が群間で異なる領域を算出した。また、各群において競技力に関する脳構造を検討するため、選手ごとに種目間で競技力を比較できるよう自己最高記録を定量化し、灰白質体積と競技力間で相関のある領域を算出した。

## 4. 研究成果

### 【研究1】野球選手の白質構造

野球群において陸上競技群よりも白質横断面積が有意に大きかった領域は小脳であった。また、一次運動野においても白質線維が広い傾向にあった。よって、運動制御に重要な領域の白質線維の横断面がクロズドループ競技のアスリートよりも野球選手の方が広いといえる。これは、密な運動制御を必要とする野球の競技特性が反映しており、野球の長期的なトレーニングによって、小脳を中心としたネットワークが可塑的に強化されたと考えられる。この可塑的变化が野球特異的なものかオープンスキル競技に共通なものかについては今後の検討課題である。

### 【研究2】スキー選手の灰白質・白質構造

スキー群の方が対照群よりも有意に大きな局所灰白質体積を示した領域として、左半球一次体性感覚野が挙げられた。白質横断面積が有意に群間で異なる領域は見られなかったものの、両側頭頂葉に群間差が見られる傾向にあった。よって、長期間のスキートレーニングによって体性感覚や空間把握能力を司る脳領域が構造的に変化する可能性が得られた。一方で、一次運動野などの運動関連領域には差が見られなかったため、スキー選手の脳の特徴は運動制御系というよりも感覚・知覚処理系にあるのかもしれない。

### 【研究3】クロズドスキルスポーツにおける競技特異的な脳構造の違い

競泳選手群のほうが陸上群よりも小脳、視床下部の灰白質体積が大きい傾向にあることが示された。また、各群で、競技力と比例して灰白質体積が大きくなる領域を探索した結果、競泳群においては空間認知処理に重要な背外側前頭前野、楔前部、陸上競技群においては中前頭回、小脳、上頭頂小葉が算出された。よって、競技力と相関関係がみられる領域は競技間で共通ではなかった。これらのことから、同じクロズドスキルのレース競技であっても、競技の違い、競技レベルの違いによって脳の可塑性のパターンが異なる可能性がある可能性が示唆された。

以上のことより、スポーツ競技のハイレベルな選手の特徴として、当初想定したよりも一次運動野の構造変化が観察されなかった。本研究は競技特性を検討するために多くの研究で用いている特定競技の熟練者而非運動選手という比較ではなく、対照群は異なる競技のアスリートをリクルートした。そのため、日頃の身体運動量や強度といった要因を統制したため、これらの要因に影響を受けやすい一次運動野に顕著な差を見いだせなかったのかもしれない。一方で、競技者同士の比較を行ったことで、競技の特徴を反映した脳の特徴が抽出できたと捉えている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Jeong I, Nakagawa K, Osu R, Kanosue K.	4. 巻 17
2. 論文標題 Difference in gaze control ability between low and high skill players of a real-time strategy game in esports	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0265526
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0265526	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 -
1. 著者名 Ito S, Nakagawa K, Nakajima T, Iteya M, Crawshaw L, Kanosue K.	4. 巻 54
2. 論文標題 Dynamic Control of Upper Limb Stretch Reflex in Wrestlers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medicine & Science in Sports & Exercise	6. 最初と最後の頁 313～320
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1249/MSS.0000000000002799	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 該当する
1. 著者名 Nakanishi T, Mizuguchi N, Nakagawa K, Nakazawa K.	4. 巻 35
2. 論文標題 Para-Sports can Promote Functional Reorganization in the Ipsilateral Primary Motor Cortex of Lower Limbs Amputee	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Neurorehabilitation and Neural Repair	6. 最初と最後の頁 1112～1123
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/15459683211056660	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 -
1. 著者名 Nakanishi Tomoya, Nakagawa Kento, Kobayashi Hirofumi, Kudo Kazutoshi, Nakazawa Kimitaka	4. 巻 35
2. 論文標題 Specific Brain Reorganization Underlying Superior Upper Limb Motor Function After Spinal Cord Injury: A Multimodal MRI Study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Neurorehabilitation and Neural Repair	6. 最初と最後の頁 220～232
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/1545968321989347	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中西 智也、中川 剣人、小林 裕央、中澤 公孝	4. 巻 47
2. 論文標題 スポーツによる脊髄完全損傷者上肢筋機能地図の拡張	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 理学療法学	6. 最初と最後の頁 577 ~ 586
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15063/rigaku.11790	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 中川 剣人、石田佳輝、彼未一之
2. 発表標題 野球選手に特異的な脳構造
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021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
---------	---------