

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04077

研究課題名(和文) 神経科学的知見に基づくアスリートの視覚運動能力促進用「脳トレーニング法」の開発

研究課題名(英文) A development of "brain training method" for improving athlete's visuomotor ability based on neuroscience findings

研究代表者

七五三木 聡 (Shimegi, Satoshi)

大阪大学・全学教育推進機構・教授

研究者番号：20271033

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：卓球場面を模倣した連続視覚運動課題を開発することで、高速で移動するボールを打撃する身体運動(視覚運動)とボールへ視線を向けるサッカド眼球運動が発生し、サッカド終了後に取得された視覚情報が打撃運動をオンライン修正することを見出した。また、卓球競技者の視覚運動パフォーマンスが日々変動しており、ボールの動き情報を処理する脳の視覚機能の変動が寄与していることを実証した。視覚機能の変動の原因として、動物が置かれた状況に応じて能動的に脳機能を調節する文脈依存的神経調節が考えられており、初期視覚野の視覚反応がノルアドレナリンなどの神経修飾物質により受容体特異的にダイナミックに変化することを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アスリートは、重要な場面で必ずしもベストパフォーマンスを発揮できるとは限らない。本研究により、競技中の視線行動および身体運動/眼球運動の発現と制御に寄与する脳の視覚情報処理がパフォーマンスに果たす役割およびその重要性が明らかになったことで、パフォーマンス改善の糸口が見出されたと言える。特に、脳内の特定の神経修飾物質が受容体特異的に視覚情報処理を修飾する神経メカニズムやその特性がニューロンレベルで明らかになったことで、ニューロンレベルでの最適化がスポーツパフォーマンスの改善につながる可能性が示され、脳へのアプローチによるスポーツパフォーマンス改善方略の重要な手掛かりが得られたと言える。

研究成果の概要(英文)：By developing a continuous visual movement task that mimics a table tennis game, we found that (1) physical movement (visual movement) to hit a ball moving at high speed as well as saccade eye movement to look at the ball occurs, and (2) the visual information acquired after the saccade is completed could online correct the striking motion. In addition, we demonstrated that (3) the visuomotor performance of table tennis players fluctuates daily, and (4) the fluctuations in the visual function of the brain that processes ball movement information contribute to this. Context-dependent neuromodulation, which actively modulates brain functions according to the conditions in which animals are placed, is thought to be the cause of fluctuations in visual function. We found that (5) the visual responses in the early visual cortex are dynamically changed in a receptor-specific manner by neuromodulators such as noradrenaline.

研究分野：スポーツ神経科学

キーワード：視覚運動 視覚情報処理 運動視 神経修飾物質 ノルアドレナリン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

神経科学(脳科学)の発展は、日本に“脳ブーム”をもたらし、スポーツ領域でも脳を強化することでスポーツパフォーマンスを向上させる“脳トレーニング”という魅力的な訓練法がメディアを中心に聞かれるようになった。しかし、その多くはトレーニング効果や科学的根拠が実証されておらず、効率的かつ安全な訓練法を確立する上で不可欠なメカニズムや危険性の検討が不十分であり、場合によってはパフォーマンスを悪化させかねない状況となっている。

2. 研究の目的

本研究は、神経科学の基礎研究の成果を最大限に活用して、球技系アスリートの視覚運動に寄与する視覚機能(眼球運動・運動視)の特性およびメカニズムを解明し、競技パフォーマンスとの関係を明らかにすることで、効果的かつ安全にパフォーマンスを向上させる脳トレーニング開発の手がかりを得ることを目的とする。

(1) 研究1: 連続視覚運動中の視線行動の役割

高速のボールを打ち合う卓球のような視覚依存性の高いスポーツでは、限られた時間内で素早くかつ正確に“視覚情報の取得と脳情報処理”を行い、身体運動を制御する必要がある。そのため、視覚情報取得に関わる眼球運動は、連続視覚運動パフォーマンスを左右する重要な要因と考えられるが、その特性やパフォーマンスとの関係性は明らかでない。そこで本研究は、これらの点を明らかにすることを目的とした。

(2) 研究2: 連続視覚運動パフォーマンスの日間変動に寄与する運動視能力

スポーツ選手のパフォーマンスは日々変動しており、常にベストパフォーマンスを発揮できるわけではない。高速で動くボールを打ち続ける卓球のような連続視覚運動を主体とした球技種目の場合、脳がボールの動きの視覚情報を迅速かつ正確に処理し、ラケットをボールに到達させるための運動指令を形成する必要がある。そのため、身体能力だけでなく脳の視覚情報処理能力も連続視覚運動パフォーマンスを規定する重要な要因となり得る。動きの視覚情報は、運動知覚(運動視)や視覚運動制御に寄与する背側視覚経路を通じて処理されるため、運動視能力(運動方向弁別能力)の高低が連続視覚運動パフォーマンスに寄与すると思われる。そこで本研究は、卓球選手における連続視覚運動パフォーマンスの日間変動に、運動方向弁別能力の日間変動が起因するかを明らかにすることを目的とした。

(3) 研究3: 初期視覚野ニューロンの視覚応答および視覚刺激検出能力に対するノルアドレナリンの修飾効果

ノルアドレナリン(NA)は、青斑核のノルアドレナリン作動性ニューロンによって分泌され、脳全体に放出されることで、視覚を含むさまざまな脳機能を調節する。一次視覚野(V1)の以前の電気生理学的研究は、イオン電気泳動法で投与されたNAが視覚誘発活動を双方向性に変調することを明らかにした。これは、視覚野に放出されたNAが視覚機能を調節し、視覚刺激検出能力に影響を与える可能性があることを示唆している。しかし、ノルアドレナリン作動性神経調節効果と視覚刺激検出能力の関係はよく分かっていなかった。そこで、ラットの知覚的コントラスト感度(CS)および神経機構に及ぼすNAの修飾効果を検討した。CSとNAの関係を調査するために、V1の神経活動が刺激検出に關与し、NAがV1ニューロンの活動を修飾することでCSを調節すると仮定した。

3. 研究の方法

(1) 研究1の方法

連続視覚運動パフォーマンスは、連続視覚運動(CVM)課題によって評価した(図1)。CVM課題では、被験者の眼前に設置したPC画面の右端の様々な高さから視標が連続的に出現し、等速直線運動で左端へと高速移動した。被験者は母指と示指で力センサーを摘み、把持力を調節することで画面左端に呈示されているカーソルを上下に動かし、視標の高さ(ヒットゾーン)へと移動させて視標をヒットした。視標の速さは7条件設定し、課題成績や課題中のカーソルおよび視線の動きを解析した。

(2) 研究2の方法

本研究には大学卓球選手14名が参加した。運動方向弁別能力の評価のために、運動方向弁別(motion direction detection, MDD)課題を用いた(図2)。MDD課題では、LCディスプレイの全画面にランダムな方向に動く無数のドットと、画面の一部に同じ方向に動くドット群(ターゲット)が呈示された。実験参加者は、ターゲットの全体としての動き(コヒーレント運動)の方向を知覚弁別し、知覚された運動方向にジョイスティックレバーを倒すことが求められた。連続視覚運動パフォーマンスは、CVM課題によって評価した。実験参加者はMDD課題とCVM

課題の両方を、10 日間にわたって実行した。

(3) 研究 3 の方法

頭部拘束状態のラットは、正面のモニターに呈示される様々なコントラストのグレーティング刺激を検出し、レバー操作で返答する Go / No-go 視覚検出課題（視覚刺激検出課題）を行った（図 3）。上記仮説をテストするために、課題中にラットの V1 から多点記録部位細胞外記録を実施した。また、NA の作用を調べるために、V1 へ NA 受容体拮抗薬（プロプラノロール、PRP）を局所投与する条件と生理食塩水を局所投与する条件を設定した。

4. 研究成果

(1) 研究 1 の成果

課題中、カーソルがヒットゾーンに到達する前に、サッカーボールの眼球運動によって視線が視標に先行して到達する事、サッカーボール終了時の視線到達位置と視標との空間誤差は、失敗試行に比べて、成功試行で有意に小さい事、サッカーボール終了直後に視標を 100 ミリ秒間消失させると、ヒットゾーンへ向かうカーソル到達運動の空間精度が低下する事、が明らかになった。これは、サッカーボール後に取得された視標についての視覚情報がフィードバック情報として機能し、カーソルがターゲットに到達するための身体運動をオンラインで修正していたことを示唆する。これらの実験結果は、卓球などの高速かつ連続的な視覚運動（ラケットによる到達運動）においても、オンラインフィードバック修正される可能性があり、プレイ中に行われる注視行動の重要性が明らかになった。

(2) 研究 2 の成果

両課題ともスコアは日々変動した。そこで両課題スコアの対応関係を左右視野という観点から検討したところ、CVM 課題ではボールが実験参加者の右視野で捉えられていること、CVM 課題スコアは MDD 課題の右視野刺激試行におけるスコアと有意かつ中等度の相関があること、その一方で MDD 課題の左視野刺激試行におけるスコアとは相関がないことがわかった。この相関関係は、ボールが左から右に移動する CVM 課題においても示され、ボールが捉えられた左視野において MDD 課題スコアと有意な相関関係が観察された。これは、右および左視野に受容野を持つ左および右の大脳半球の運動視中枢（hMT+野）の状態が運動視能力の高低を決定し、それが連続視覚運動パフォーマンスの決定要因としてスコアに反映されたと解釈することができる。さらに、CVM 課題において、ボールをヒットするためのカーソル運動の開始潜時および運動後の終点位置の日間変動は、MDD 課題のスコアの日間変動と相関していた。これらの結果は、視覚における運動方向弁別能力が連続視覚運動に関わる脳情報処理の速度と精度に関与していることを示唆する。興味深いことに、これらの関係は経験豊富なプレーヤーで顕著であった。以上より、卓球選手、特にベテラン選手においては、ボール情報を処理する運動視中枢の状態が、卓球のパフォーマンスに強く反映される可能性が示唆された。

(3) 研究 3 の成果

V1 ニューロンの約 10% は、知覚に応じた（Go / No-go に対応した）発火率の変化を示した。V1 への PRP 投与により、検出限界閾値に近い視覚刺激条件でのラットの刺激検出成績が大幅に改善した（図 4）。また、V1 ニューロン神経活動の神経信号/雑音比（視覚応答/自発活動比）は、低コントラスト刺激条件で、PRP 投与により改善されたが、高コントラスト刺激条件では改善されなかった。したがって、NA は V1 の NA 受容体を介して低コントラスト条件で視覚応答の神経信号対雑音比を低下させることで、動物の視覚刺激検出能力を低下させる可能性がある。

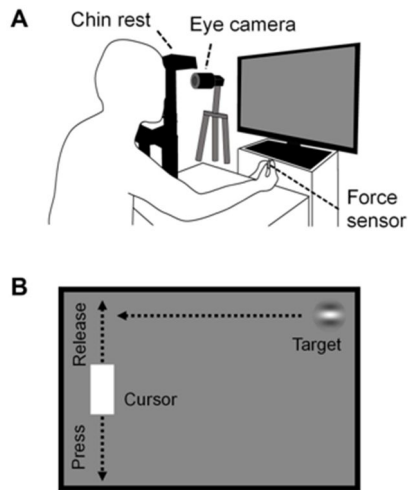


図 1. CVM 課題

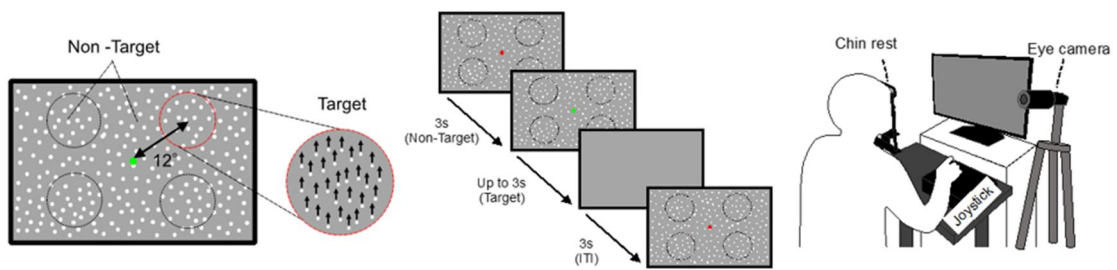
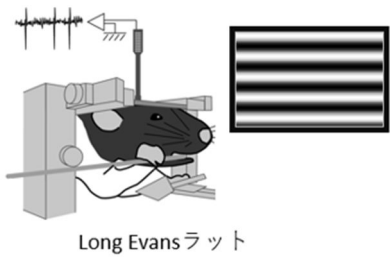


図 2. MDD 課題



Long Evans ラット

図 3. Go / No-go 視覚検出課題

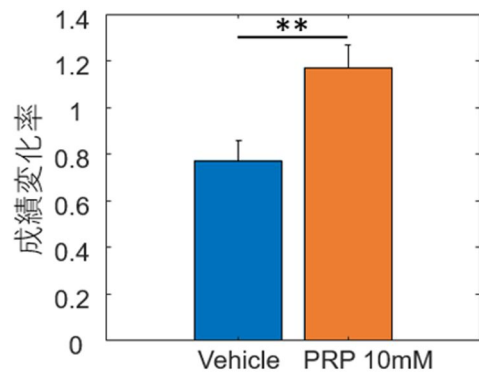


図 4. Go / No-go 視覚検出課題成績に対する PRP の効果

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 4件）

1. 著者名 Soma Shogo, Suematsu Naofumi, Sato Akinori Y, Tsunoda Keisuke, Bramian Allen, Reddy Anish, Takabatake Koki, Karube Fuyuki, Fujiyama Fumino, Shimegi Satoshi	4. 巻 183
2. 論文標題 Acetylcholine from the nucleus basalis magnocellularis facilitates the retrieval of well-established memory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Neurobiology of Learning and Memory	6. 最初と最後の頁 107484 ~ 107484
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nlm.2021.107484	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 該当する
1. 著者名 Tsunoda Keisuke, Sato Akinori Y., Mizuyama Ryo, Shimegi Satoshi	4. 巻 238
2. 論文標題 Noradrenaline modulates neuronal and perceptual visual detectability via α -adrenergic receptor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Psychopharmacology	6. 最初と最後の頁 3615 ~ 3627
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00213-021-05980-y	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 Komiya Takaaki, Goya Ryoma, Aoyama Chisa, Yokota Yusuke, Naruse Yasushi, Shimegi Satoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 The combination of acute exercise and eye closure has a synergistic effect on alpha activity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-99783-y	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 Aoyama Chisa, Goya Ryoma, Suematsu Naofumi, Kadota Koji, Yamamoto Yuji, Shimegi Satoshi	4. 巻 3
2. 論文標題 Spatial Accuracy of Predictive Saccades Determines the Performance of Continuous Visuomotor Action	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Sports and Active Living	6. 最初と最後の頁 1 ~ 11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fspor.2021.775478	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 Sato Akinori Y., Tsunoda Keisuke, Mizuyama Ryo, Shimegi Satoshi	4. 巻 15
2. 論文標題 Serotonin improves behavioral contrast sensitivity of freely moving rats	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0230367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0230367	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14件(うち招待講演 1件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 勝村亮太, 中本浩揮, 青山千紗, 小見山高明, 七五三木聡
2. 発表標題 野球の打者の選球眼に寄与する頭部運動及び眼球運動の役割と特性の解明
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村文哉, 小見山高明, 青山千紗, 七五三木聡
2. 発表標題 静止視標に対するサッカード眼球運動トレーニングが連続視覚運動にもたらす影響
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中里りく, 青山千紗, 小見山高明, 七五三木聡
2. 発表標題 卓球選手の眼球運動によるボール追従精度とその特徴
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 嵯峨 瑞貴, 小見山 高明, 青山 千紗, 七五三木 聡, 嵯峨 宣彦
2. 発表標題 視覚運動反応に及ぼすヒト MT 野への経頭蓋直流電流刺激の効果
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 勝村亮太, 木村晃大, 中本浩揮, 七五三木聡
2. 発表標題 野球の打者の選球眼に寄与する頭部及び眼球運動の役割と特性の解明
3. 学会等名 日本野球科学研究会第9回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高見采加, 青山千紗, 渡邊耕平, 川尻敏孝, 小見山高明, 七五三木聡
2. 発表標題 運動視能のゆらぎが連続視覚運動パフォーマンスに与える影響
3. 学会等名 生理研究会主催オンライン研究会「スポーツからみる 日常と非日常の神経生理学」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊耕平, 高見采加, 青山千紗, 七五三木聡
2. 発表標題 連続視覚運動における運動視能の寄与
3. 学会等名 日本スポーツ心理学会 第48回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高見采加, 渡邊耕平, 青山千紗, 七五三木聡
2. 発表標題 覚醒水準と運動視能の関係
3. 学会等名 日本スポーツ心理学会 第48回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊耕平, 高見采加, 小見山高明, 青山千紗, 七五三木聡
2. 発表標題 連続視覚運動における視線行動の寄与
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高見采加, 川尻敏孝, 渡邊耕平, 青山千紗, 小見山高明, 呉屋良真, 七五三木聡
2. 発表標題 視覚運動におけるパフォーマンスと運動視能の関係
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 七五三木聡
2. 発表標題 ボールを良く見ろ"を科学する
3. 学会等名 第26回日本バーチャルリアリティ学会大会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青山 千紗, 七五三木 聡, 呉屋 良真
2. 発表標題 連続視覚運動における眼球運動の時空間特性と機能的役割
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 呉屋 良真, 七五三木 聡, 青山 千紗
2. 発表標題 卓球競技者における運動視の特性
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小見山 高明, 青山 千紗, 呉屋 良真, 水守 大河, 七五三木 聡
2. 発表標題 運動がもたらす視知覚ダイナミックス
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
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
研究 分担 者	呉屋 良真 (Ryoma Goya) (10879745)	福岡大学・スポーツ科学部・助教 (37111)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	青山 千紗 (Chisa Aoyama) (80823939)	大阪大学・医学系研究科・助教 (14401)	
研究分担者	小見山 高明 (Komiya Takaaki) (20827688)	大阪大学・全学教育推進機構・講師 (14401)	

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