

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：14401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H06417・19K21494

研究課題名（和文）仮想・複合現実技術を用いた「行動文脈依存的脳機能修飾の特性・機能的意義」の解明

研究課題名（英文）Elucidation of characteristics and functional signification of behavioral context-dependent brain function modification by using virtual/mixed reality technology

研究代表者

小見山 高明 (komiyama, takaaki)

大阪大学・全学教育推進機構・招へい研究員

研究者番号：20827688

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,500,000円

研究成果の概要（和文）：脳情報処理は行動文脈に応じてリアルタイムに変化し、行動目的の達成を有利にする合目的性がある。身体運動は脳機能を変化させることが明らかであるが、合目的性の観点から考えると、身体運動による脳機能の変化は、身体運動を最適化させるための脳機能の能動的な現象と捉えることができ、身体運動に関わる脳機能ほど運動により最適化されると考えられる。そこで、脳情報処理における認知・身体出力に関わる経路の2つの知覚を評価する課題によって、運動による脳機能修飾効果を検討した。その結果、運動は身体出力に関わる情報処理を特異的に改善することが明らかとなり、運動は身体運動を最適化させる脳機能修飾を行っている可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、運動は身体運動自体を最適化させる脳機能修飾を行っている可能性が示された。つまり、運動自体の特性により脳機能修飾効果もよりその特性を反映する可能性が十分考えられる。このことはトレーニングの原理における特異性を脳機能の側面からも支持しているものであると考えられる。従って、スポーツのような身体運動を伴うパフォーマンスをトレーニングする上で、トレーニングの特異性は身体を動かす骨格筋だけでなく脳を鍛えるといった面からも重要であると思われる。

研究成果の概要（英文）：Brain information processing changes in real-time according to the action context, and has the purposefulness that favors the achievement of action goals. It is clear that exercise changes brain function. However, in the context of purposefulness, we consider that the change in brain function during exercise is an active phenomenon of brain function for optimizing physical movement. Therefore, brain function related to physical movement may be optimized during exercise.

This study investigated that the effect of exercise on modification of brain function by the task of evaluating two perception pathways related to cognition and physical output in brain information processing. As a result, we demonstrated that exercise specifically improved physical output in brain information processing. It suggests that exercise may modify brain function to optimize physical movement.

研究分野：スポーツ脳科学

キーワード：運動 視知覚 脳情報処理 認知 身体出力

1. 研究開始当初の背景

脳の情報処理は常に一定に行われている訳ではなく、行動文脈に応じて脳内に放出される神経調節物質(ノルアドレナリンやセロトニンなど)によってリアルタイムにダイナミックな調節を受ける。これは行動文脈依存的修飾と呼ばれ、行動目的の達成に有利に働く合目的性があると考えられている。この行動文脈依存的修飾は中央実行系などの高次脳機能にも影響を及ぼし、その代表例が、身体運動による認知機能の一過性の向上効果である。認知機能は、知覚した情報を基に状況判断を行う働きがあり、身体運動によって改善されることが自身の研究を含めた多くの研究によって明らかになりつつある。しかし、それらの研究は、PCディスプレイ上に呈示された簡単な視覚刺激に対して、その空間位置を短期記憶し、図形特徴に基づいて反応を開始あるいは抑止する課題(Go/No-Go課題)など、要求される認知機能が身体運動そのものとは無関係な課題がほとんどである。

身体運動時は自己の状態や外部環境との関係性が時々刻々と変化するため、その変化を素早くかつ正確に感覚・認知して適切な身体運動に繋げる必要がある。つまり、上述した「行動文脈依存的修飾の合目的性」を考えるのであれば、「身体運動による脳機能修飾効果は、その身体運動に関わる機能ほど顕著に現れる」という仮説が成り立つ。この仮説が正しいのであれば、スポーツパフォーマンスに関係する知覚・認知・運動制御の機能評価を行う課題を実施することで、行動文脈依存的修飾効果の真の機能的意義が見えてくるはずであるが、このような観点から為された研究はこれまでにない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「身体運動で生じる行動文脈依存的な脳機能修飾効果が、スポーツパフォーマンスに関係する知覚・認知・運動制御にどのような影響を及ぼすのか」について、仮想現実(VR)技術を用いて明らかにすることである。

3. 研究の方法

(1) 実験参加者

本研究における実験1では大学野球部に所属する3名の男子大学生が参加した。また実験2では、健常成人男性14名が実験に参加した。

(2) 実験1：野球のバッティング課題

課題として「野球のバッティング場面」をVR内(VIVE Pro Eye, HTC corporation)に設定し、投手から投球されたボールについて、知覚弁別課題、認知制御課題および運動制御課題を運動前後に実施する。VR条件では、環境(球場、マウンド、ホームベースなど)を含む全ての映像が仮想物である。運動にはバットを持たない素振り動作の反復運動と自転車エルゴメータによる自転車運動を、それぞれ同じ運動強度(心拍数120-130 bpm)で実施し、安静休息(コントロール)と比較するとともに、身体運動の種類間の比較から運動タイプ特異性を検討する。

知覚弁別課題

被験者は、飛来中のボールが“ストライク”と“ボール”のどちらになるのかを出来るだけ速くかつ正確に選球(弁別)し、手に持ったVR用ハンドコントローラー(VRHC)の所定のボタンを押し分ける。課題の難易度はボールの速さや球種とその軌道変化率の大小によって定量的に調節し、弁別速度や正解率で知覚弁別能を評価する。

認知制御課題

ストライクであれば仮想空間内の仮想バット(実際には、手で握ったVRHC)を振りボールであれば見逃すGo/No-Go課題を行うことで、認知的行動抑制機能を評価する。

運動制御課題

必ずストライクとなる仮想ボールを仮想バットで打ち返す課題を行い、打球確率やボールと仮想バットの中心間距離(誤差)により運動制御能力を評価する。

(3) 実験2：逆行性マスキングを用いた視知覚検出課題(図1)

本研究では、視覚情報処理の各処理経路特性を引き出す逆行性マスキングという知覚現象(瞬間的に呈示しても確実に見えるターゲット刺激の後に、それを囲むようにマスク刺激を呈示すると、ターゲットの知覚が抑制される現象)を用いて、身体出力(運動)に関わる経路(背側経路)と認知に関わる経路(腹側経路)の2つの情報処理経路の知覚への運動による修飾効果について検証を行った。視覚情報処理は処理する情報の特性に応じて2つの処理経路があり(Goodale & Milner, 1992)、1)視対象の形や色などの物体の詳細な知覚イメージを形成する“モノの特徴”を処理する経路(腹側経路)と2)物体の位置や動きを捉える“モノの動き”を処理する経路(背側経路)に分かれている。これらの情報処理経路は刺激特徴選択性といったニューロン応答の特異的反応性の違いがあることが知られている(Ishikawa et al., 2006)。例えば、腹側経路は縞の特徴(縦方向や横方向)といった違いに対する反応性が高く、背側経路は反対にその反応性が低い。本研究では、このような刺激特徴選択性の違いを踏まえ、ターゲットの縞刺激の縞の方向に対して、直行するマスク刺激と等方位のマスク刺激(図1)の2つのマスク

刺激を用いることにより、2つの異なる情報処理経路を計測することとした。

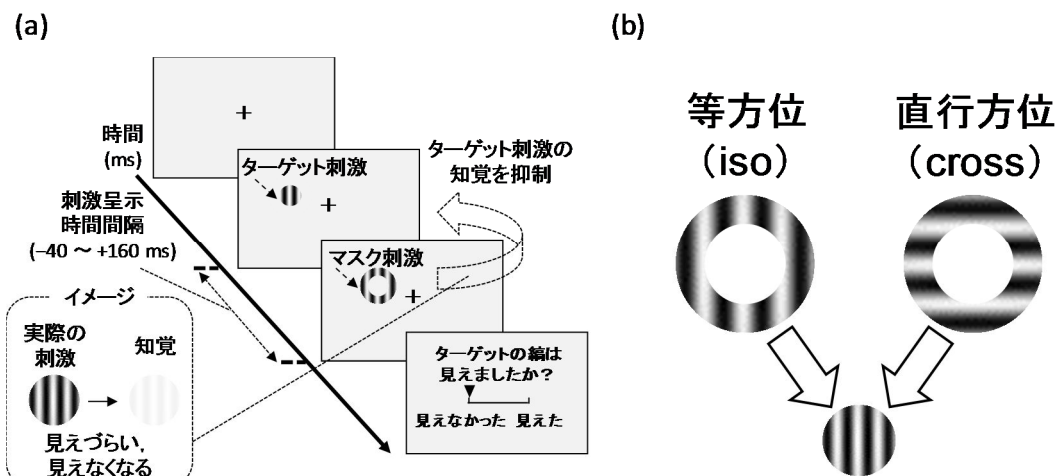


図1. 逆行性マスクング課題における概要 (a) と2つのマスク刺激 (b)

被験者は頭部を自転車エルゴメータ上に設置した顎台上に着座させ、眼前に設置された液晶ディスプレイ上で課題を実施した。課題は、画面中央の固視点の左右どちらか片方に呈示される縞刺激 (ガボールパッチ) をターゲット刺激とし、ターゲットが検出できたかどうかについて回答を行った。またターゲット刺激に対して様々な刺激呈示時間間隔 (SOA; -40, -20, 0, 20, 40, 60, 80, 120, 160 ms の9条件) でマスク刺激を呈示させた。またマスク刺激には、ターゲット刺激の縞刺激の方向に対して、等方位と直行方位の2つの方位の縞による刺激を用いた。

実験は、自転車エルゴメータによる運動を行いながら課題を行う運動条件と自転車エルゴメータ上での座位安静状態で課題を行うコントロール条件を設けた。各条件では合計4つのブロックに分けて課題を実施し、ブロック間には約10分間の休息を設けた。まず、各条件において、前半の2ブロックでは座位安静状態で課題を行った。残りの後半2ブロックにおいて、運動条件では、推定最大心拍数の55%に相当する運動強度での運動を10分間行った後、自転車運動を行いながら課題を実施した。安静条件では、前半の2ブロックと同様に自転車エルゴメータ上での座位安静状態で課題を実施した (図2)。

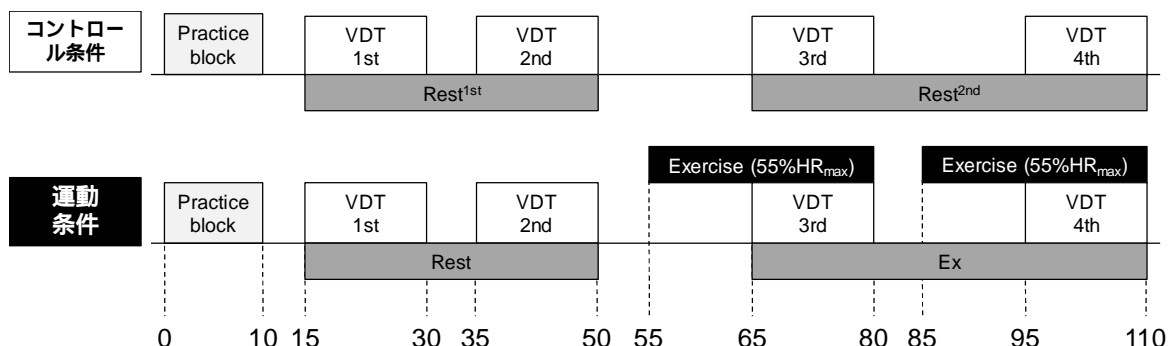


図2. 実験プロトコル

2つの異なる情報処理経路の定量評価のため、等方位と直行方位ごとに得られたマスクング関数 (図3) から100%正答率を基準として曲線下面積をそれぞれ算出し、各経路におけるマスクング効果における知覚抑制の指標とした。マスクング関数は、前半の2ブロック・後半の2ブロックごとの各SOAにおける正答率を平均した値を用いて算出した。前半の2ブロックを運動前、後半の2ブロックを運動中として、それぞれ知覚抑制の指標を算出し、運動による影響をそれぞれ比較した。

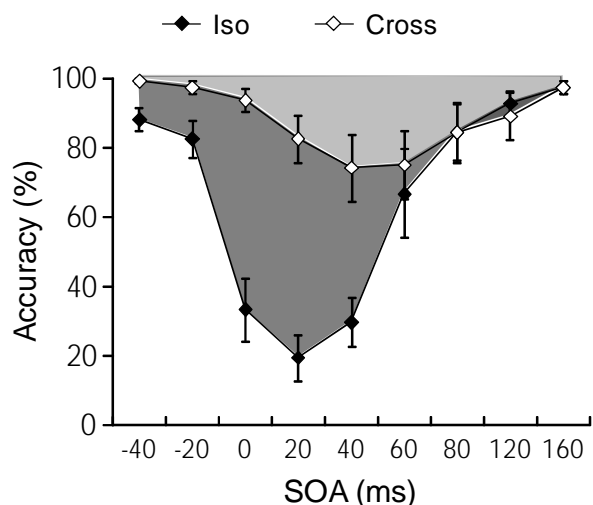


図3. 等方位 (iso) と直行方位 (cross) におけるマスクング関数と曲線下面積の例

4. 研究成果

(1) 実験1：野球のバッティング課題

大学野球部に所属する野球経験のある大学生に本課題を実施したところ、研究に支障となり得る問題点が生じた。実験に参加した全員の被験者から、VR上で投球されたボールの軌道が、実際の現実場面での軌道とはかなり異なり、ストライクとボールの判定が難しいといった所見を得た。そのため、実場面での様々なボールの軌道を計測し、VR上でのボールの軌道情報に、現実場面でのボールの軌道情報を入力し、ボールの軌道の修正を行った。しかしながら、VR上でのボールの軌道は現実場面でのボールの軌道に近くなり改善された一方で、ボールが投球されるマウンドからストライクゾーンとなるホームベースまでの距離感において、現実とはかなり異なる違和感が生じてしまった。この点からもストライクとボールの判断をすることによって障害となることが考えられた。

これらのようにVRでの野球のバッティング課題において様々な問題点が生じ、研究計画の当初から想定していたよりも課題開発に時間を要してしまった。また、研究目的を達するには、現段階ではVRを用いた課題では不十分であることが考えられるため、本研究では、別のアプローチにより(実験2)、運動による行動文脈依存的修飾効果について検証することとした。

(2) 実験2：逆行性マスクングを用いた視知覚検出課題

脳の情報処理の経路は2つに分かれており、身体出力(運動)に関わる経路(背側経路)と認知に関わる経路(腹側経路)がある。「身体運動による脳機能修飾効果は、その身体運動に関わる機能ほど顕著に現れる」という仮説から考えると、運動中にはこれらの情報処理経路の内、身体出力に関わる経路に対して運動による影響が特異的にみられることが考えられる。そのため、知覚レベルであるが、これらの情報処理経路について定量評価できる逆行性マスクング課題を用いて、これらの仮説の検証を行った。

図4は、身体出力(運動)に関わる経路(背側経路)と認知に関わる経路(腹側経路)の知覚抑制を定評評価し、運動前と運動中でそれぞれ比較した結果である。各グラフの知覚の抑制度は数値が低い程、逆行性マスクングによる知覚の抑制が弱いことを示している。まず、背側経路を示す知覚抑制について、運動前と比較して運動中においては有意に知覚抑制が弱くなるという結果が得られた。つまり、運動中には身体出力に関わる経路の知覚が高くなることを示している。一方で、腹側経路を示す知覚抑制においては、背側経路でみられたような運動中の知覚抑制の減弱はみられなかった。これらの結果から、運動による脳機能修飾効果は知覚レベルから現れるが、その効果は脳情報処理における経路特異的な影響があることが明らかとなった。つまり、知覚レベルではあるが、運動は身体運動を最適化させる脳機能修飾を行っている可能性が示唆された。

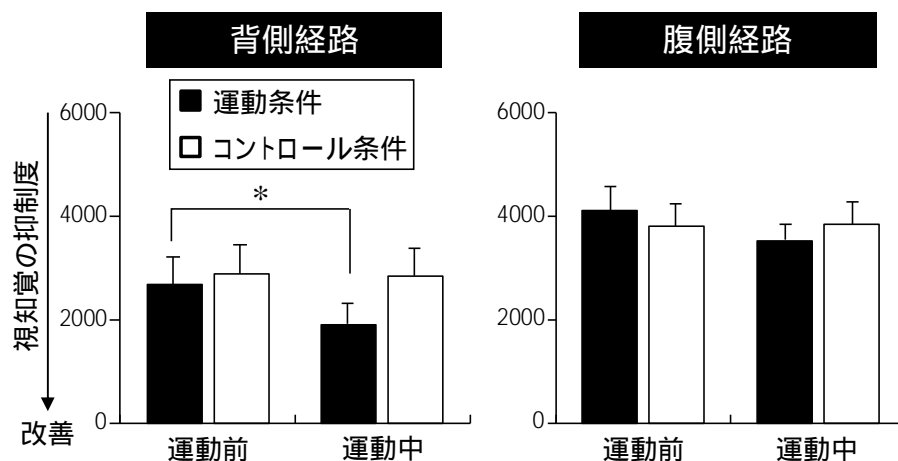


図4. 逆行性マスクングから定評評価した2つの経路に対する運動効果

引用文献

- Goodale, M.A, Milner, A.D, Separate visual pathways for perception and action, Trends in Neurosciences (15), 1, 1992, 20-25
Ishikawa Ayako, Shimegi Satoshi, Sato Hiromichi, Metacontrast masking suggests interaction between visual pathways with different spatial and temporal properties, Visual Research, 46, 2006, 2130-2138.

5. 主な発表論文等

[学会発表](計1件)

小見山高明, 青山千紗, 呉屋良真, 水守大河, 七五三木聡. 運動がもたらす視知覚ダイナミックス(企画シンポジウム 行動文脈や状況に応じて変化する視知覚のダイナミックス). 日

本体力医学会, 茨城, 2019 年

Komiyama Takaaki, Aoyama Chisa, Goya Ryoma, Mizumori Taiga, Shimegi Satoshi, The effects of acute exercise on the formation process of visual perception, The 1st International Sport Neuroscience Conference, Tsukuba, 2019.

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 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74回日本体力医学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Komiya Takaaki, Aoyama Chisa, Goya Ryoma, Mizumori Taiga, Shimegi Satoshi
2. 発表標題 The effects of acute exercise on the formation process of visual perception
3. 学会等名 The 1st International Sport Neuroscience Conference
4. 発表年 2019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