

令和元年6月18日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01592

研究課題名(和文) パーシュートを用いた視覚情報処理能力の測定法の開発

研究課題名(英文) The development of optimal methods for estimating visual motion processing using smooth pursuit eye movements

研究代表者

小野 誠司 (Ono, Seiji)

筑波大学・体育系・准教授

研究者番号：70754753

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は眼球運動の制御特性と動作反応との関連性を検討し、視覚情報処理における新たな評価法の研究開発につながる基礎的知見を得ることであった。そのため、視標の動きを知覚する能力を、滑動性追跡眼球運動(パーシュート)を指標として評価できるかどうかを検討した。本研究により、visual motionに対する動作の反応時間と眼球運動を用いて評価されるvisual motionの認知能力に関連性が認められたことから、これらの指標が中枢神経系の視覚情報処理能力を反映することが示唆され、個々の視覚認知能力の違いを評価するための有効な手段となることが明らかにされた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、これまで神経科学分野で明らかにされてきた眼球運動の制御特性と中枢メカニズムの知見を、スポーツ科学における動作反応に関する研究と融合させ、動作と視覚認知に関する情報処理能力の評価指標の開発につながる観点から学術的な意義を有するものとする。また、これまで包括的に捉えられてきた反応時間測定による視覚情報処理能力の生理学的な解釈と根拠を明らかにし、これまで定量化が困難であった visual motionに対する視覚認知の評価に関する重要な知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research project is to determine whether visual motion perception during smooth pursuit eye movements is associated with visual motion reaction time (RT). Visual motion RT was measured to the visual motion stimuli, which is an important parameter of our sensory motor processing based on visual motion perception. Our results suggest that a common neuronal pathway in the cortical area is involved in both pursuit initiation and visual motion RT. New knowledge obtained in this study will advance our understanding of how to evaluate the ability of visual motion processing.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：眼球運動 視覚性運動 神経科学 反応時間 運動制御

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 体力および運動能力を総合的に、多面的に捉えることは、特に競技者の運動能力を評価する上で重要である。しかし、筋力や持久力などエネルギー的特性から評価する測定手段が確立しているのに対して、視覚を含めた感覚情報処理能力の評価に関しては、測定結果の意味づけや解釈の難しさから、評価方法が標準化されていない現状にある。

(2) 視標の動き (visual motion) を視覚刺激として用いた場合、動作反応に先行して眼球運動が誘発される。まず、視覚入力により一次視覚野、頭頂連合野の神経細胞が活動し (Ono and Mustari 2012)、同時に脳幹を介して視運動性眼振や滑動性追跡眼球運動 (パーシュート) が誘発される (Ono 2015, Lisberger 2010)。視標の動きに対するパーシュート反応は、非常に短い潜時で誘発される特性を持っており (Ono 2013)、また、その発現と学習のメカニズムがよく理解されている上に定量的解析が可能であるため、visual motion 認知の能力を反映する有効な指標となり得る。しかし、これまでに動作の反応時間とパーシュート発現との関連性については明らかにされていない。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、視標の動き (visual motion) に対する視覚認知能力を、パーシュートを用いて評価するための基礎的知見を得ることを目的とする。まず、従来の光点灯刺激を用いた動作反応と、visual motion に対する動作反応の特徴を比較検討する。更に、動作の反応時間とそれに先行して起こるパーシュートの潜時、眼球速度の関連性を検証する。

(2) 眼球運動と反応時間の測定に基づいて、visual motion 認知と競技経験および競技レベルとの関連性を検証する。被験者として、常にボールの動きなど動的視力を必要とするトレーニングを行ってきた球技系選手と専門競技歴のない群を比較して、パーシュートと動作反応について、実験的、実証的な立場から明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 眼球運動の測定には赤外線カメラを用いた角膜反射法により眼球の変位を検出する測定装置を用いる。パーシュートを誘発するために、被験者は頭部を顎台に固定した状態で眼前に設置されたモニター上で動く視標を注視する。動作の反応時間は手指によるボタン押し課題および素早い動作課題を用いて測定する。視覚刺激に対しては、静止した視標が動き始めてから、できるだけ早くボタンを押すように指示する。

(2) 視標の動き (visual motion) に対する視覚認知能力を測定するため、視標の動く方向が予め教示されていない条件下で、左右方向における方向選択反応課題における反応時間とパーシュートを測定する。また、従来から用いられてきた光点灯刺激に対する反応時間と visual motion に対する反応時間を比較し、異なる視覚入力に対する情報処理能力を評価する。被験者として、動的視力を必要とする球技系選手を用い、パーシュート特性と反応時間を比較し、視覚認知と競技経験及び競技レベルとの関連性を検証する。

4. 研究成果

(1) パーシュートの制御特性とスポーツ選手の競技特性の関連性

視標の動きから正確な視覚情報を得るためには視覚像を中心視野 (網膜中心窩) で継続的に捉える必要があるため、視標が中心視野で静止した状態から一定速度で動く課題を用い、球技系選手と非競技者を対象として、パーシュートの制御特性と適応能力を検討した。視覚刺激から眼球の動き始めまでの時間 (潜時) と立ち上がりの加速度局面を比較した結果、被験者間で異なる眼球運動の特性が認められた。眼球運動は、視標の動きを知覚するための一要因であることから、本研究結果における眼球運動特性の違いは、運動経験に基づく個々の視覚情報処理能力の違いに関連していることが示唆された。

(2) 反応時間と視覚認知機能の関連性

反応動作の素早さに着目した運動特性と視覚認知機能の関係を検討するため、競技者を対象として、視覚的運動刺激 (visual motion) に対する反応時間について比較検討した。反応時間測定における視覚刺激として、従来から光点灯刺激が用いられてきたが、実際のスポーツ場面では、ボールや相手の動きなど対象物の動きを視覚的に捉える能力が必要とされる。そのため視標が一方 (左または右方向) に一定速度で動く visual motion を用い、それに対する反応動作の開始時間について検討した。その結果、visual motion 刺激に対する反応時間 (Motion RT) は、光点灯刺激に対する反応時間 (Light on RT) より有意に大きい値を示すことが明らかとなった。したがって、異なる視覚刺激による反応時間の違いは個々の視覚情報処理の特性と関連していることが示唆された。しかし、visual motion RT の場合は、視標の速度にも影響されるため、速度の段階に応じた反応時間測定も今後必要とされる。

(3) 反応時間と動作の素早さとの関連性

視覚的運動刺激 (visual motion) に対する反応時間には視覚認知に要する時間と動作時間が含まれているため、視覚認知に要する時間のみを評価するために、visual motion 反応時間 (Motion RT) から光点灯反応 (Light on RT) を差し引いた値 (Motion RT- Light on RT) を算出し、これを visual motion 認知時間と定義した。球技群の光点灯 RT と visual motion 認知時間の相関関係を調べた結果、両者の間に相関関係は認められなかった。これまで、光点灯刺激に対する反応時間が視覚情報処理能力を評価する指標として考えられていたが、visual motion 認知の視覚情報処理に要する時間と光点灯反応時間には対応関係がなく、認知と動作に要する時間の速さはそれぞれ独立した能力であることが明らかにされた。

(4) Visual motion 認知時間とパーシュート加速度の関連性

眼球運動は視覚入力を運動信号へ変換する情報処理能力を反映しており、特にパーシュートの立ち上がりの加速度は、大脳皮質の頭頂連合野の神経活動に強い関連性があるため、その加速度成分は視覚認知と関連性があることが示唆されている。本研究において、パーシュート加速度と visual motion 認知時間との相関関係を調べた結果、両者の間に有意な正の相関関係が認められたことから、視覚認知の情報処理とパーシュート開始局面の能力が共通のメカニズムに基づいていることが明らかになった。したがって、visual motion RT から光点灯 RT を差し引いた visual motion 認知時間は、visual motion の検出に関与する大脳皮質頭頂連合野の活動に基づく視覚認知を反映するパラメータとして有効な評価方法となることが示めされた。

(5) 球技群と非競技者群における視覚認知能力の検討

本研究で測定および算出した光点灯 RT, visual motion RT, visual motion 認知時間において、異なる運動経験と運動特性を有する被験者間で比較するため、球技群と非競技者群を対象とした。その結果、光点灯 RT および visual motion RT においては群間に有意な差は認められなかった。これらの結果は、本研究で動員した球技群と非競技者群では、光点灯を用いた選択反応に要する動作時間に関しては同等の能力を有していたことを示す。さらに、visual motion RT に関しては、全体の反応時間に対して visual motion 認知に要する時間の占める割合が比較的小さいため、光点灯 RT に差がみられない両群間では結果として差が生じなかったと考えられる。一方で、visual motion 認知時間においては、球技群が非競技者群に比べ有意に小さい値を示した。Visual motion RT から光点灯 RT を差し引いた visual motion 認知時間は、視標の動きを認知するために要した時間であると考えられることから、球技群はこれまでの競技経験に基づいて高い視覚認知能力を持つことが示唆された。

本研究で算出した visual motion 認知時間は、パーシュート加速度と有意な正の相関関係が認められたことから、視標の動きに係る中枢神経系の視覚情報処理能力を反映する視標であると考えられ、個々の visual motion に対する認知能力の違いを評価するための有効な手段となり得ることが示唆された。

<引用文献>

- ① Lisberger SG. Visual guidance of smooth-pursuit eye movements: sensation, action, and what happens in between. *Neuron*, 66, 477-49, 2010
- ② Ono S, Mustari MJ. Role of MSTd extraretinal signals in smooth pursuit adaptation. *Cereb Cortex*, 22, 1139-1147, 2012.
- ③ Ono S. The effects of smooth pursuit adaptation on the gain of visuomotor transmission in monkeys. *Frontiers in Systems Neuroscience*. 119: 1-11, 2013.
- ④ Ono S. The neuronal basis of on-line visual control in smooth pursuit eye movements. *Vision Res*, 110, 257-264, 2015

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Ono S, Kizuka T: Effects of visual error timing on smooth pursuit gain adaptation in humans. *Journal of Motor Behavior*, 49 (2): 229-234, 2017. DOI: 10.1080/00222895.2016.1169981. (査読有)
- ② Ono S, Itaya A, Hayami T, Ohyama-Byun K, Kizuka T: Evaluation of pulse height control for rapid isometric contractions in college sprinters. *Neuroreport*, 28 (12): 766-769, 2017. DOI: 10.1097/WNR.0000000000000836. (査読有)
- ③ 小野誠司: 空間における Gaze (注視点) 制御の特性. *バイオメカニズム学会誌*, 41: 189-193, 2017. https://www.jstage.jst.go.jp/article/sobim/41/4/41_189/_pdf/-char/ja (依頼解説; 査読無)
- ④ 小野誠司: 単眼視における滑動性追跡眼球運動の適応. *電子通信学会技術研究報告 IEICE Technical Report*, 116 (229): 57-60, 2016. <https://www.ieice.org/ken/index/ieice-techrep-116-229.html> (査読無)

〔学会発表〕（計 18 件）

- ① 小野誠司, 三浦健一郎, 川村卓, 木塚朝博: 非対称性 smooth pursuit と視覚認知の特性. 第 14 回空間認知と運動制御研究会学術集会, 京都大学 (京都府京都市), 2019.3.16~17.
- ② 小野誠司: 視運動性眼振と Smooth pursuit. 第 41 回日本平衡機能検査技術者特別講習会, 帝京大学 (東京都板橋区), 2018.9.22.
- ③ 小野誠司, 三浦健一郎, 川村卓, 木塚朝博: 球技系競技者における視覚反応時間と眼球運動の特性. 日本視覚学会 2018, 文部科学省研究交流センター (茨城県つくば市), 2018.8.1~3.
- ④ Seiji Ono: Neuronal mechanisms for visual sensorimotor control. Medical workshop in the University of Bonn, (Bonn, Germany) 2018.7.4.
- ⑤ 小野誠司: Smooth pursuit における運動学習の転移と網膜エラー信号の役割, ニューロコンピューティング研究会, 沖縄科学技術大学院大学 (沖縄県国頭郡) 2018.6.14~15.
- ⑥ 小野誠司, 三浦健一郎, 木塚朝博: 視覚的運動刺激に対する球技系選手の眼球運動特性. 第 13 回「空間認知と運動制御」研究会学術集会, 京都大学 (京都府京都市), 2018.3.3.
- ⑦ 工藤大介, 小野誠司: 水平方向動体視力測定時の視標速度と眼球運動の関連についての検討. 第 13 回「空間認知と運動制御」研究会学術集会, 京都, 2018.3.2~3.
- ⑧ Ono S, Mustari MJ.: Smooth pursuit adaptation affects the latency of catch-up saccades. Society for Neuroscience 47h Annual Meeting, Washington, DC, 2017.11.11~16.
- ⑨ 岩間圭祐, 小野誠司, 木塚朝博: 一致タイミング遂行中の眼球運動パターン. 第 38 回バイオメカニズム学術講演会, 別府国際コンベンションセンター (大分県別府市), 2017.11.4~5.
- ⑩ Kudo D, Hiratsuka Y, Uchida Y, Ono S, Murakami A.: The effects of visual target directions on training of dynamic visual acuity (DVA) and concomitant eye movements. The 3rd Congress, International Academy of Sportology, Juntendo University (Tokyo, Japan) 2017.10.14.
- ⑪ 小野誠司: スポーツ競技者における視覚探索の特徴. 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2017, 岐阜大学 (岐阜県岐阜市) 2017.9.4~6.
- ⑫ 横尾愛理, 大田穂, 岩間圭祐, 木塚朝博, 小野誠司: 競技者における捕球時の視線戦略の特徴, 日本体育学会第 68 回大会, 静岡大学 (静岡県静岡市), 2017.9.8~10.
- ⑬ 小野誠司: 動きを見るための眼球運動系の特性と機能. 第 9 回日本スポーツ視覚研究会シンポジウム, 国立スポーツ科学センター (東京都北区), 2017.8.26.
- ⑭ 工藤大介, 平塚義宗, 村上晶, 内田雄介, 小野誠司: 水平方向動体視力のトレーニング効果と眼球運動の方向の関連についての検討. 第 121 回日本眼科学会, 東京国際フォーラム (東京都千代田区), 2017.4.6~9.
- ⑮ 小野誠司, 木塚朝博, 和田佳郎: 走高跳競技者における頭部傾斜時の重力感受性. 第 12 回「空間認知と運動制御」研究会学術集会, 東海大学高輪キャンパス (東京都港区) 2017.2.24~25.
- ⑯ 工藤大介, 小野誠司: 水平方向動体視力のトレーニング効果と眼球運動の方向の関連についての検討. 第 12 回「空間認知と運動制御」研究会学術集会, 東海大学高輪キャンパス (東京都港区) 2017.2.24~25.
- ⑰ 小野誠司: 単眼視における滑動性追跡眼球運動の適応. 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会 2016, 奈良春日野国際フォーラム (奈良県奈良市) 2016.9.27~28.
- ⑱ 小野誠司, 岩間圭祐, 木塚朝博: 球技系競技者における眼球運動の特性. 日本体育学会第 67 回大会, 大阪体育大学 (大阪府泉南郡熊取町) 2016.8.24~26

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 木塚 朝博

ローマ字氏名: KIZUKA Tomohiro

所属研究機関名: 筑波大学

部局名: 体育系

職名: 教授

研究者番号 (8 桁): 30323281

研究分担者氏名: 三浦 健一郎

ローマ字氏名: MIURA Kenichiro

所属研究機関名: 京都大学

部局名: 医学研究科

職名：助教
研究者番号（8桁）：20362535

研究分担者氏名：川村 卓
ローマ字氏名：KAWAMURA Takashi

所属研究機関名：筑波大学
部局名：体育系

職名：准教授
研究者番号（8桁）：30334056

※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、研究者個人に帰属されます。