

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11316

研究課題名（和文）スポーツ選手のマイクロサッカードを指標としたビジュアル・ピボットの有効性

研究課題名（英文）The effectiveness of visual pivots using microsaccades as an indicator in athlete

研究代表者

高橋 正則（TAKAHASHI, Masanori）

日本大学・文理学部・教授

研究者番号：10297757

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、テニスの予測反応事態において、ある特定の空間的位置を注視しながら、その周辺視を活用してより多くの情報を収集していると考えられるビジュアル・ピボットの有効性について、マイクロサッカードを指標として検討することであった。注視課題による実験的検討を行った結果、被験者の固視微動よりマイクロサッカードを検出した。また、ダブルスのサーブに対する予測正答率は、複数の注視課題におけるマイクロサッカードの出現頻度との間に有意な正の相関関係が認められた。したがって、ビジュアル・ピボットによる認知方略は、結果として正確に予測反応するための有益な情報を獲得することに貢献したと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、まず注視課題を設定したことにより、被験者の固視微動からマイクロサッカードの検出を可能とした。また、その頻度を指標として予測反応事態における正確性との関係を見出したことから、ビジュアル・ピボットによる認知方略の有効性を明らかにした。

つまり、スポーツ選手は視対象全てを見ようとせずとも、ある特定の位置に視支点を置くことで周囲から多くの情報を得られるといった認知方略の有用性を支持した。また、スポーツ選手の固視する力、いわゆる固視力について、固視微動の安定性に寄与する固視の方法を提案し、かつマイクロサッカードを指標とした潜在的注意の内容を評価するための一資料を提供した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to examine the effectiveness of visual pivots, which are believed to collect more information using peripheral vision while fixating on a specific spatial location, using microsaccades as an indicator in predictive response situations in tennis. Experimental investigations with fixation tasks detected microsaccades from the subjects' fixational eye movements. Furthermore, a significant positive correlation was observed between the prediction accuracy rate for doubles serves and the frequency of microsaccades in various fixation tasks. Therefore, it is considered that the cognitive strategy involving visual pivots contributed to acquiring beneficial information for accurate predictive responses.

研究分野：スポーツ心理学

キーワード：マイクロサッカード ビジュアル・ピボット 眼球運動 固視微動 予測 テニス スポーツ

### 1. 研究開始当初の背景

視覚は、時々刻々と変化する外部環境に対応することが求められるオープンスキル系のスポーツにおいて最も重要な機能であり、その優劣が競技力に大きな影響を与えている。これまでの眼球運動研究では、顕在的注意を示す指標として注視点分析が多く採用されてきたが、これらの多くは注視点の方向に注意が向けられていることを前提として議論されている。しかし、注視点分析の結果と、反応時間や正答率などの行動指標と照らし合わせてみると、早く正確な反応行動を示した時でも、実際には注視点のある空間的位置には何も存在せず、顕在的に注意の対象を特定できない場合があることが報告されている（河原ほか，1989）。このことは、ある特定の空間的位置に視支点となるビジュアル・ピボット（Ripoll et al., 1995）を置き、注視しながら周辺視を活用してより多くの情報を収集する一つの認知方略が取られているものと推測される。

近年、高性能な急速眼球運動解析装置の開発に伴い、一点を注視する際に生じる微小な不随意性眼球運動（固視微動）の成分であるマイクロサッカド（以下、MS）が検出できるようになったことから、MS に関連する様々な研究が盛んに行われるようになった。例えば、固視微動の機能や、MS の生成に関わる神経機構およびそのメカニズムも同定されている（稲垣・臼井，2012；小濱ほか，1998）。また、MS の性質が注意の影響を受け、潜在的注意の働きを可視化するための指標として有効である可能性が示唆されている。

これまでの先行研究では、予測反応事態における視覚刺激となる動画を自由に視覚探索しても MS は検出されないが、注視すべきターゲットを動画にスーパーインポーズして提示すると、MS が検出できることが報告されている（高橋ほか，2018）。つまり、注視期間が得られればマイクロサッカドは生成されると考えられる（Otero-Millan et al., 2008）。しかし、視覚刺激は予測反応事態の動画のため注視期間が短くなることから、注視すべきターゲットを設けたとしても検出された MS の出現頻度は、潜在的注意の内容を可視化して検討するためには十分とはいえない。したがって、注視期間をより多く確保する実験条件の工夫が求められる。また、先行研究の予備実験では、課題中の注視が安定して行えず、MS の検出が不可能であった被験者も存在していた。そのため、固視微動の安定性に関わる注視の仕方が MS の発生機序に影響する可能性が推測されることから、様々な注視課題における MS の関係を捉える必要がある。

### 2. 研究の目的

そこで、本研究はテニスの予測反応事態におけるビジュアル・ピボット時の眼球運動より MS を抽出し、予測反応における正答率等の他指標との関係からビジュアル・ピボットの有効性を検討することを目的とした。本研究の意義は、スポーツ場面における潜在的注意の内容を評価するための条件として、固視微動の安定性に関わる固視の仕方を踏まえ、MS を検出することができるような固視する力（固視力）の影響について議論できることである。

### 3. 研究の方法

#### (1) 被験者

被験者は、テニス競技を専門としている大学生 7 名であった。全ての被験者において、健康状態は良好、利き目・利き手は右、平均年齢は  $23.9 \pm 6.4$  歳、平均テニス経験年数は  $17.1 \pm 5.7$  年、競技レベルは 2 名以外の 5 名が全国大会レベルであった。なお、本研究は日本大学文理学部研究倫理委員会の承認（研究課題 05-05）を受け実施した。

#### (2) 視覚刺激となるビデオ映像の作成

図 1 は、テニスのダブルスにおけるサービス動作のビデオ映像（モデルは全日本選手権で優勝経験を有する男子選手）で、ボールのインパクト時点から 2000ms 前を開始時点とした。また予測反応を導くためにボールのインパクト以降は遮蔽した。図中の印（直径 16 pixel）は、被験者が注視すべきターゲットを示している。

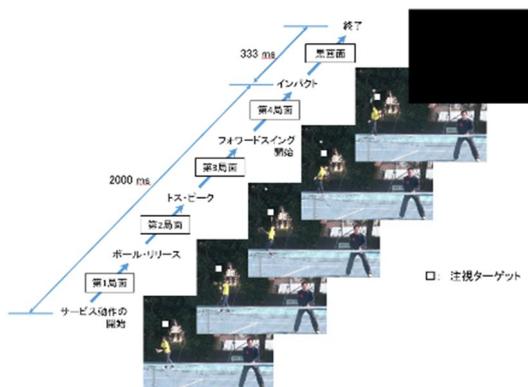


図 1 ダブルスのビデオ映像

#### (3) 実験場面

実験場面は図 2 に示した通りである。暗室内に設置した実験装置は、急速眼球運動解析装置 EyeLink 1000 Plus（SR Research 社製、以下 EyeLink）と 19 インチモニター、および反作用左右ボタン等で構成した。また被験者が椅子に座る際、眼球とモニター上部の高さが一致するように椅子の高さを調整した。

#### (4) 実験の流れと手続き

図3は、実験の流れである。まず、被験者に対し研究目的や方法等の概要を十分説明し、書面にて研究参加への同意を得た。被験者は5分以上暗室に順応した後、単純反応時間(SRT)を計10回測定した。

次に、～の4つの測定課題を十分な休憩を挟んで実施した。固視20秒測定について、被験者はモニター中央に呈示したターゲット(印)を20秒間注視することが求められた(計2回)。選択反応時間測定は、モニター中央のターゲット(印)を注視しながら、ランダムな時間経過後、左右いずれかに出現する矢印に対応したボタンを押すことが求められた(計10回)。Posner課題(Posner, 1980)は、

と同様であるが、事前に本刺激である矢印が出現する前に予告ターゲット(水色の印)が呈示された。なお、予告ターゲットと本刺激の方向は全て一致させた。ダブルスのビデオ映像に対する反応課題は、ビデオ映像中のサービスに対し打球コースがセンターの場合には左ボタンを、ワイドの場合には右ボタンをできるだけ早く正確に押すことであった(各コース5試行をランダムに配置した計10回を1セットとし、2セット行った)。特に、実際の競技場面では反応の早さを優先するとサービス・エースを被る危険が高くなるため、実際に即して正確性を優先させた。なお、各試行では、ボール・トスのピーク地点とサーバーの頭部との間に配置したターゲット(印)を終始注視しながら反応するよう指示した。

以上、4つの測定課題前にはEyeLinkのキャリブレーションを十分行った後、被験者の利き目(全員右目)の眼球運動をEyeLinkで測定した。その際、試行中はできるだけ瞬きをしないように、かつターゲットを注視しながら測定課題を遂行するよう被験者に教示した。最後に、各測定課題終了後にはインタビュー形式により内省報告を得た。

測定データは、サンプリング周波数1,000 Hz、空間解像度0.01degでPCに全て記録した。また反応時間については、矢印またはビデオ映像の呈示開始からボタン押しまでの時間と定義し、PCに自動的に記録した。被験者の眼球運動データからマイクロサッカードを検出する方法は、Engbert and Kliegl (2003) および鈴木ほか(2015)を参考とした。

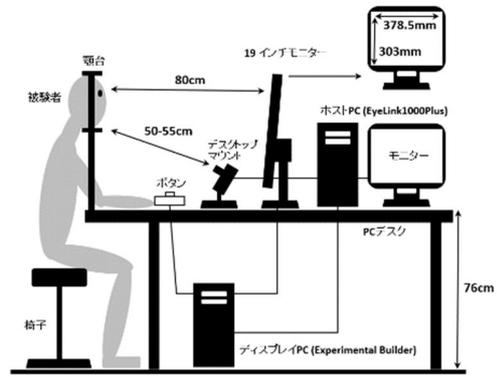


図2 実験場面



図3 実験の流れ

#### (5) 統計処理

得られたデータは精査した後、統計処理ソフト SPSS Statistics Ver.29 を用いて、相関分析および回帰分析を行った。なお、有意水準は5%未満とした。

#### 4. 研究成果

##### (1) 各測定項目の平均値と標準偏差

###### 反応時間 (RT)

反応時間の平均値と標準偏差をみると、SRT ( $229 \pm 8.72\text{ms}$ ) は CRT ( $278 \pm 26.15\text{ms}$ ) および Posner 課題における RT ( $269 \pm 27.32\text{ms}$ ) よりも有意に早く、Hick's Law (1952) に従っていた (いずれも  $p < .05$ )。また、Posner 課題における RT (Y) について、 $Y = 2.528\text{SRT} + 310.004$  の回帰式が得られた ( $R^2 = .651$ )。さらに、ビデオに対する反応課題における RT は  $2280 \pm 108.07\text{ms}$  で、ビデオ映像の時間 (2000ms) との差は 280ms となり、結果としてボールインパクト後の RT は CRT ( $278 \pm 26.15\text{ms}$ ) とほぼ同じであった。なお、反応時間と各 MS 出現頻度との関係を見ると、有意な相関関係は得られなかった。

###### ビデオに対する反応課題における予測正答率 (%)

ビデオに対する反応課題における予測正答率は  $59.3 \pm 8.86\%$  で、実際の試合場面よりも低かった。特に、被験者の内省報告では、「一番難しかった」という回答が示すように、ボールインパクト以降の映像が遮蔽されていたことから課題の難易度が高かったようである。

###### MS の出現頻度 (回/s)

各課題より、低頻度ながら MS が検出された。まず、固視 20 秒測定では  $0.26 \pm 0.09$  回/s であった。この結果について、注視ターゲットに注意が集中すると MS が生じにくいと予想したが、予想に反し MS が生じた。そのため、注視ターゲットに 20 秒間注意を集中し続けることは困難であると判断される。また、選択反応時間測定では  $0.24 \pm 0.17$  回/s、Posner 課題では  $0.32 \pm 0.31$

回/s で、同様な選択反応課題でも、刺激呈示位置を事前に予告される Posner 課題の方が、MS の出現回数が多かった。さらに、ビデオに対する反応課題では  $0.31 \pm 0.30$  回/s で、課題中最も多かったことから、他の課題よりも高頻度で周囲の状況に潜在的注意を向ける傾向を示した。

(2) ビデオに対する反応課題における予測正答率 (Y) との関係

ビデオに対する反応課題における予測正答率 (Y) と各課題における MS の出現頻度との関係を見ると、次の通り、有意な相関関係 (r) と回帰式 (決定係数  $R^2$ ) が得られた。

< 固視 20 秒測定: MS の出現頻度/s(X) >  $r = .852$ ,  $Y = 87.6X + 36.76$  ( $R^2 = .727$ )

< Posner 課題: MS の出現頻度/s(X) >  $r = .766$ ,  $Y = 22.189X + 52.197$  ( $R^2 = .586$ )

< ビデオに対する反応課題: MS の出現頻度/s(X) >  $r = .802$ ,  $Y = 23.907X + 51.772$  ( $R^2 = .644$ )

つまり、各課題における MS の出現頻度が高い傾向を示すと予測正答率が高まるといった正の相関関係が見出され、その予測も可能であった。したがって、ビジュアル・ピボットの認知方略は MS の出現頻度を高めることにつながり、周辺視野に潜在的注意を向けることで、結果として正確に予測反応するための有益な情報を獲得することにつながったものと考えられる。

(3) ビデオに対する反応課題における MS の出現頻度 (y) との関係

まず、ビデオに対する反応課題における MS の出現頻度 (y) と固視 20 秒測定における MS の出現頻度との関係について、有意な相関関係は認められなかった。また、その他との関係について、以下の通り、有意な相関関係 (r) と回帰式 (決定係数  $R^2$ ) が得られた。

< CRT 測定: MS の出現頻度/s(X) >  $r = .972$ ,  $Y = 1.693X - 0.098$  ( $R^2 = .945$ )

< Posner 課題: MS の出現頻度/s(X) >  $r = .958$ ,  $Y = 0.931X + 0.017$  ( $R^2 = .917$ )

つまり、固視しながら周辺視に何らかの注意を向けようとする場合、MS の出現頻度が高ければ、ビデオに対する反応課題でも MS の出現頻度は高くなる (注意を集中しようとする行為がわかる)。また、先行研究より、ビジュアル・ピボットを置く視支点へ注意が強く集中すると MS は抑制されてしまう。そこで、Posner 課題を活用し、視対象をジッと見て凝視するのではなく、MS の出現頻度を高めるような視支点の置き方、例えば「柔らかく見る」といった見方を学習できれば、MS を生じさせることにつながり、ビジュアル・ピボットの認知方略がより有効に機能する可能性が考えられる。

したがって、本研究の結果、テニスのサーブスリターンにおける予測反応事態では、ビジュアル・ピボットの認知方略が MS の出現頻度を高め潜在的注意を促したことで、予測反応を正確に遂行するための有益な情報を獲得することに貢献したと考えられ、ビジュアル・ピボットの有効性が示唆された。また併せて、スポーツ選手の見る力として、固視する力、いわゆる固視力の向上のための知見が得られたと考えられる。特に、ジッと強く見ようとする視覚を失うトロクスラー効果 (Troxlir et al., 1804) を考慮すると、MS の出現頻度を指標として「ジッと見るより、柔らかく見る」といった視支点の置き方を習得する必要性が指摘できる。

最後に、研究の限界と今後の課題について、今回の結果は、実験室内で行われた 2 次元の視覚刺激に対する予測反応であったことから、実際の 3 次元による競技場面で検証することが求められる。また、MS はある一点を注視している時の固視微動から検出されるため、今回の実験で用いた全課題の視覚刺激には注視ターゲットを設定していた。しかし、実際の競技場面では、注視ターゲットのない状態で終始継続して一点を凝視することは不可能で、かつ眼頭位を固定することは出来ないことから、実際の競技場面では MS の検出 (測定) は出来ない。そのため、MS は実験環境のみで使用できる指標であることから、視覚機能のトレーニングとその評価に利用できるものと考えられる。その上で、MS の出現頻度や方向について、選手の競技力や固視力の違いによっても異なるのか、また視覚的トレーニングの有用性について、今後さらに検討する必要がある。

#### < 引用文献 >

河原正昭・藤田厚・吉本俊明・川島淳一・深見和男・近藤明彦・佐藤雅幸・水落文夫・鈴木典・石井政弘 (1989) 運動学習における時間的適応に関する研究 (その 2) - テニスのサーブプレシブにおけるコースおよび球種の認知過程について - . 日本大学松戸歯学部一般教育紀要, 15 : 94-103 .

Ripoll, H., Kerlirzin, Y., Stein, J. F., and Reine, B. (1995) Analysis of information processing, decision making, and visual strategies in complex problem solving sport situations. *Human Movement Science*, 14(3): 325-349.

稲垣圭一郎・臼井支朗 (2012) マイクロサッカーを制御する神経機構について . 日本神経回路学会誌, 19(3) : 135-144 .

小濱剛・新開憲・臼井支朗 (1998) マイクロサッカーの解析に基づく視覚的注意の定量的測定の試み . 映像情報メディア学会誌, 52(4) : 571-576 .

高橋正則・磯貝浩久・Van Raalte, J. L. (2018) 予測反応事態の眼球運動からマイクロサッカーを検出する試み - テニスのサーブに対する予測反応課題を用いて - . 日本スポーツ産業学会スポーツ産業学研究, 28(1) : 13-29 .

Otero-Millan, J., Troncoso, X. G., Macknik, S.L., Serrano-Pedraza, I., and Martinez-Conde, S. (2008) Saccades and microsaccades during visual fixation, exploration, and search: Foundations for a common saccadic generator. *Journal of Vision*, 8(14-21): 1-18.

- Posner, M. I. (1980) Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1): 3-25.
- Engbert, R. and Kliegl, R. (2003) Microsaccades uncover the orientation of covert attention. *Vision Research*, 43(9): 1035-1045.
- 鈴木一隆・豊田晴義・花山良平・石井勝弘 (2015) インテリジェントビジョンセンサを用いた両眼同時固視微動計測装置の開発とマイクロサッカーの左右差の評価．*生体医工学*, 53(5) : 247-254 .
- Troxler, D., Himly, K. & Schmidt, J.A. (1804) On the disappearance of given objects from our visual field. *Ophthalmologische Bibliothek*. 2(2): 1-53.

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 高橋正則, 田島勇人, 和田太一
2. 発表標題 テニス選手のマイクロサッカードを指標としたビジュアル・ピボットの有効性
3. 学会等名 日本アプライドスポーツ科学会第3回大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 高橋正則
2. 発表標題 マイクロサッカードを指標としたテニス選手の固視力について
3. 学会等名 日本アプライドスポーツ科学会第1回大会
4. 発表年 2022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
---------	---------