

視覚探索中に生じるマイクロサッカードと サッカード軌道湾曲の関連

十河宏行

愛媛大学法文学部人文学科

マイクロサッカード(MS)は視覚的注意が向けられている方向に高頻度で生じる事が報告されている。一方、サッカード軌道は注意を向けないよう抑制している方向と反対方向に湾曲することが知られている。本研究では、視覚探索課題中に行われた注視に含まれるMSと、注視の前後に行われたサッカード軌道の湾曲方向を比較した。その結果、注視の前後に行われたサッカード軌道の湾曲方向とMSの方向を比較した結果、両者の間には有意な関連を確認することが出来なかった。この結果は、MSとサッカード軌道の湾曲は注視位置の決定過程を研究するための独立した指標として用いる事が出来る可能性を示している。

Keywords: microsaccades, saccade trajectory, visual search.

問題・目的

Engbert & Kliegl (2003)は、Posner課題(Posner, 1980)を遂行中にcueのオンセットから約350ms後をピークにcueが指し示す方向へのマイクロサッカード(MS)の頻度が増加することを示した。この結果から、彼らはMSを用いて注意の状態を可視化出来る可能性を指摘している。彼らの研究では実験参加者が注視を維持するよう求められている時間帯のMSが分析されているが、参加者が自由に眼球運動出来る課題においても同様にMSが生じるのであれば、注視位置の決定過程を研究する指標としてMSを利用できる事が期待される。本研究では、視覚探索課題を遂行中の眼球運動を測定し、MSの発生頻度を分析した。さらに、眼球運動の抑制過程との関連が明らかにされているサッカード軌道の湾曲(Rizolatti, Riggo & Sheliga, 1994)とMSの方向の関係を分析した。

方法

14名が実験に参加した。全ての実験参加者は裸眼または矯正によって正常な視覚を有していた。

実験参加者を椅子に座らせ、顎台を用いて頭部運動を制限した。参加者の57cm前方にCRTを画面中央が参加者の眼の高さと等しくなるように設置した。参加者とCRTの間に机を設置し、反応測定用のキーボードを設置した。EyeLink (SR Research, Ltd.)を用いて参加者の左眼の眼球運動を250Hzで測定した。

参加者の課題は、CRTに提示される課題画面にターゲットが含まれているか否か回答することであった。課題画面は8×8の仮想的なグリッドの格子点に16個のアイテムをランダムに配置して作成した。ターゲットは切れ目のない円で、ディストラクタは上下左右いずれかに切れ目を入れた円であった。画面の背景は灰色、アイテムはすべて白色で描画された。グリッド幅は2.7度、ターゲットとディストラクタの直径は1.1度であった。ターゲットの出現確率は50%であった。

各試行の開始時には、EyeLinkのドリフト補正のために画面中央に1辺0.5度の正方形が提示された。参加

者がこの点を注視してキーボードのスペースキーを押すとEyeLinkによりドリフト補正が行われ、補正が成功すれば直ちに課題画面が提示された。参加者は課題画面にターゲットが含まれていればスペースキー、含まれていなければテンキーの0を出来るだけ速く正確に押すよう求められた。課題画面提示からキー押しまでの反応時間と眼球運動軌跡が記録された。課題画面は参加者がいずれかのキーを押すまで表示され続けた。40試行を1ブロックとして、6ブロック240試行を実施した。各ブロックの最初にEyeLinkの調整とキャリブレーションを行った。参加者が誤反応した試行を含めてすべての試行における眼球運動を分析の対象とした。

結果

試行毎にEyeLinkによって注視と判定された眼球運動軌道をすべてつなぎ合わせ、Engbert & Kliegl (2003)の方法を用いてMSを検出した。検出されたMSは 1374.4 ± 613.5 個(±は標準偏差)であった。誤反応率は $4.5 \pm 3.8\%$ 、反応時間はターゲット有り試行で 1782.2 ± 267.3 ms、無し試行で 3134.7 ± 812.6 msであった。

MSの発生頻度の時間特性を調べるため、ターゲット有りの試行と無しの試行別に、MSの発生頻度を課題画面のオンセットからの経過時間を200ms間隔で計算した(Figure 1)。試行によって反応までの時間が異なるため、全参加者でデータが得られる2400msまでの区間を用いてターゲットの有無×区間の2要因分散分析を行った結果、主効果と交互作用が有意であった($p < .05$)。下位検定の結果、800ms以降の区間ではターゲット無し試行より有り試行の方がMSの発生頻度が低かった($p < .05$)。

さらに、キー押し反応直前の時間帯のMS発生頻度を調べるため、キー押し時刻を0msとしてMSの発生頻度を計算した(Figure 2)。2400ms前までの区間を用いてターゲットの有無×区間の2要因分散分析を行った結果、主効果と交互作用が有意であった($p < .05$)。下位検定の結果、400から600ms前以外の区間ではターゲット無し試行より有り試行の方がMSの発生頻度が低かったほか、ターゲット有り試行のみ0から200ms

前の区間において400から800msec前の区間より発生頻度が低かった($p < .05$)。

MSの方向とサッカード軌道の湾曲の関係を調べるため、MSが検出された注視の前後に行われたサッカードの軌道の湾曲を測定した。サッカード方位に依存した湾曲成分を取り除いて補正するために、Sogo & Takeda (2006)のモデルのうち定数項とサッカード方向に依存する項のみを取り出した式を用いてフィッティングを行い、フィッティングの残差を補正された湾曲とした。MSを30度間隔で方向別に分類し、サッカードを開始する直前の注視で検出されたサッカードの方向とサッカード軌道の湾曲の平均値を求めた(Figure 3)。MS方向を要因とする1要因分散分析を行った結果、MS方向の効果は有意ではなかった($p > .05$)。

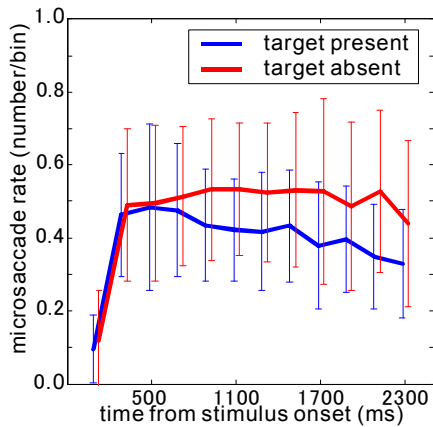


Figure 1. Time evolution of microsaccade rate. Microsaccade onset time is measured from stimulus onset. Vertical bars indicate standard deviation.

考察

MSが注意の潜在的な移動を反映しているのであれば(Engbert & Kliegl, 2003)、ターゲット有り試行においてキー押し反応の直前の200ms以内の区間にMS発

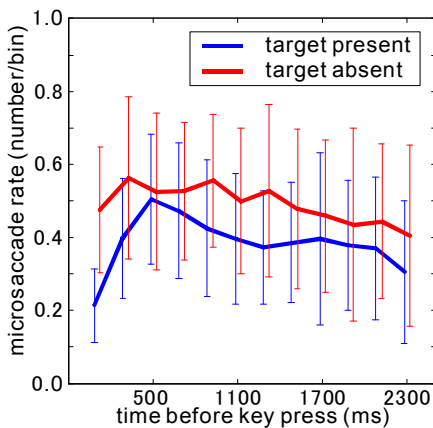


Figure 2. Time evolution of microsaccade rate. Microsaccade onset time is measured from participant's key press. Larger abscissa value indicates that microsaccade occurred earlier. Vertical bars indicate standard deviation.

生頻度が低くなるのは、「ターゲット有り」と判断してこれ以上注意を移動する必要がなくなったためであると考えられる。さらに、課題提示から800ms以後はMSの発生頻度がターゲット有り試行の方が低くなるという結果は、最終的に「ターゲット有り」との判断に至る以前から注視中の注意の移動方略が変化している可能性を示唆している。

一方、サッカード軌道の湾曲とMS方向の間には明瞭な関連が見いだせなかった。この結果は、MSが次のサッカード目標位置を、湾曲が抑制を反映しているという解釈と矛盾しない。MSと軌道湾曲を組み合わせることによって、注視位置を決定する脳内過程の理解が進むことが期待される。

謝辞

この研究は稲盛財団研究助成金および科学研究費補助金(21730596)の助成を受けて行われた。

参考文献

Engbert, R., & Kliegl, R. 2003 Microsaccades uncover the orientation of covert attention. *Vision Research*, 43, 1035-1045.

Posner, M. I. 1980 Orientation of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.

Rizzolatti, G., Riggo, L., & Sheliga, B. M. 1994 Space and selective attention. In Umiltà, C. & Moscovitch, M. *Attention and Performance XV* (pp. 231-265).

Sogo, H., & Takeda, Y. 2006 Effect of previously fixated locations on saccade trajectory during free visual search. *Vision Research*, 46, 3831-3844.

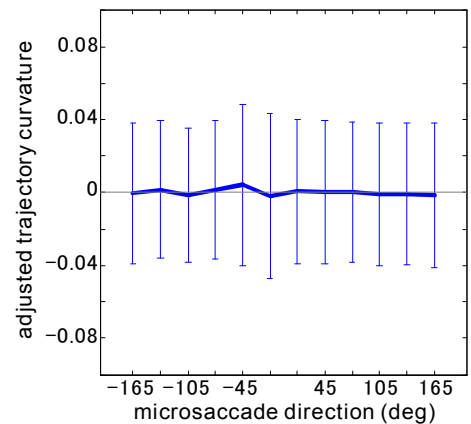


Figure 3. Saccade Trajectory curvature plotted against direction of microsaccades detected in the fixation immediately before the saccade. Vertical bars indicate standard deviation.