

追従眼球運動と Representational momentum

永井 聖剛
齋木 潤

日本学術振興会（京都大学大学院情報学研究科）
京都大学大学院情報学研究科

The judged final position of a moving target is displaced forward (Representational Momentum: RM). Recently, Kerzel (2000) found RM with smooth pursuit eye movements (SPEMs) but no RM with eye fixation, and suggested that RM was elicited by SPEMs after a target's offset that moved persisting image of the target. We examined RM for a target that was not pursued by eyes. The target and a small dot moved in the same or opposite direction. Participants were instructed to pursue the small dot and locate the final position of the target. In both conditions the target's motions in the retina were equal to each other. The persisting image hypothesis predicts negative RM for the target moving in the opposite direction of SPEMs. Although RM in the opposite condition was substantially small, however, positive RM in both conditions were found. Therefore, the hypothesis was questionable and it was suggested that a predictive system to extrapolate the future position of a moving target was involved to produce RM.

Keywords: representational momentum, 追従眼球運動, 視覚的持続, 移動先予測

問題および目的

動くターゲットが突然消失するとき、その消失位置は刺激の運動経路の延長上にずれて判断される。この現象はRepresentational Momentum (RM)と呼ばれている(Freyd and Finke, 1984)。RMは日常世界における物体の振る舞いと類似の性質を示すことが知られる。例えば、ターゲット速度に伴いRMが大きくなること、重力の向きへとRMが大きくなること、日常世界に存在する物体の進行方向に関する知識がRMの大きさに影響を与えることなどが報告されている。これらのことから、視覚表象システム内に、運動物体の速度・移動方向、さらには物体に関する概念的知識に基づいて運動物体の未来の位置を予測する機構が存在し、RMが出現すると説明されてきた(e.g., Hubbard, 1995)。これに対し、Kerzel (2000)はこのような視覚表象システムにおける予測機構は関与せず、末梢レベルにおいてRMの生起が説明されると主張した。彼は視覚的持続の持続時間を測定し(50 ms)、移動するターゲットを捉える追従眼球運動を行っている場合には、その持続時間においてRMは増加することを見出した。しかし、眼球が静止し追従眼球運動を行わない場合には、RMが出現しないことを示した。この結果から、ターゲット消失後に惰性でターゲット移動方向に進む眼球運動が、ターゲットの視覚的残像をターゲット移動方向へと運ぶためにRMが生じると主張した。さらに、物理法則に類似したRMの性質のうちいくつかを説明することも試みている。

本研究では、Kerzelの提案した仮説からRMの出現を完全に説明できるか否かを検討した。消失位置の判断を求められるターゲットだけでなく、眼球運動をコントロールするために「動く注視点」を提示した。ターゲットと注視点は同方向(Same条件)あるいは逆方向(Opposite条件)に移動した。Kerzel (2000)の仮説によれば、Opposite条件ではSame条件と同じ大きさであるが、ターゲット移動と逆向き、すなわち眼球運動と同方向の、“負のRM”が観察されるものと予測された。

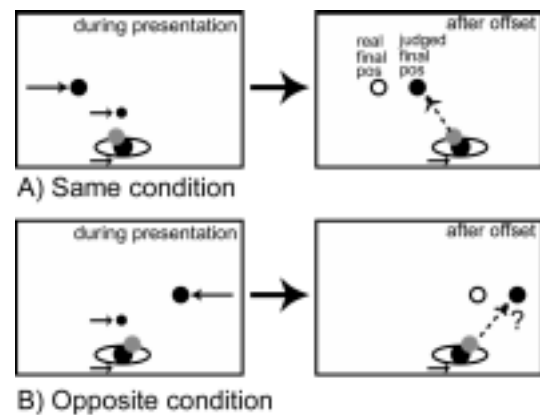


Figure 1. Expected results by Kerzel's (2000) hypothesis. In both conditions, participants were asked to follow a moving small disc with their eyes during stimuli presentation. After the stimuli offset, the eyes could not stop immediately and moved in the direction of a target's (larger disc) motion. A) In the same condition, Kerzel's hypothesis predicted that the persisted image, which moved by smooth pursuit eye movements (SPEMs) after the offset, was expected to produce standard RM (judged displacement in the direction of target's motion). B) In the opposite condition, his hypothesis predicted that negative RM (judged displacement in the opposite direction of target's motion, that is, in the direction of SPEMs) occurred.

方法

被験者．著者のうち1名、および京都大学大学院情報学研究科の大学院生3名が実験に参加した。3名の大学院生は実験の仮説を知らされていないかった。

実験装置．コンピュータ(Apple Macintosh, G4/466)、CRTモニタ(Iiyama, s103m)、及びEyeLink(Sensomotoric Instruments)。

刺激および条件．ターゲットおよび注視点として異なる大きさの黒円が提示された(各々、直径0.5度、直径0.12度)。被験者は刺激提示中、注視点に目を向

けるように求められた。ターゲットと注視点は同時に出現し、同時に消失した。ターゲットおよび注視点は、右または左方向へと移動し、その速度はターゲットが 4 deg/s または 12 deg/s、注視点は常に 4 deg/s であった。ターゲットの移動経路は注視点の移動経路より 2 度上方に位置した。各ブロックでは、注視点の移動方向は固定されたが、ターゲットの移動方向はランダムに選択された。ターゲットが注視点と同方向へと移動する場合 (Same 条件)、ターゲットの速度は 12 deg/s、互いに異なる方向へと移動する場合には (Opposite 条件) 4 deg/s であった。したがって、両条件での網膜座標上でのターゲットの速度は (眼球が注視点を正しく捉えていれば) 等質になると期待された。刺激の出現してから消えるまでの時間は 1000, 1059, 1118, 1177, 1235, 1294, あるいは 1353 ms であった。これらの提示時間は各試行でランダムに選ばれた。いずれの条件においても、提示時間が 1177 ms の場合、ターゲットと注視点が垂直軸に一直線に並んだときに両者が消失した。また、1177 ms より短い 3 つの提示時間ではターゲットは注視点 (視線方向) へ近づくと、より長い 3 つの提示時間ではターゲットは注視点から遠ざかるときに、刺激が消失した。また、刺激消失時のターゲットおよび注視点の水平方向における両者の間隔は、提示時間が短いものから、-1.43, -0.96, -0.48, 0, +0.48, +0.96, および +1.43 であった (符号“-”はターゲットが注視点に近づく、“+”は遠ざかることときに消失することを示す)。刺激の消失から 50 ms 後、画面の中央付近にマウス・カーソル “+” が提示された。尚、刺激消失後は視線を自由に動かすことを許された。

課題。ターゲットの消失位置までマウス・カーソルを移動させクリックすることが求められた。消失位置の定位は、できるだけ正確に、かつ素早く行うよう指示された。

眼球運動の記録。眼球運動は EyeLink によって記録された。眼球運動データはオフラインで処理され、刺激消失前 400 ms 以内にサカドおよび瞬目が生じた試行のデータは、後の処理から除外された。

手続き。28 試行からなるブロックを 2 つあるいは 3 つ練習として行った。その際、実験者がオンラインで眼球データをモニタし、正しく眼球が注視点を捉えられるよう練習した。また、練習時、本試行時とも正しく捉えてない場合はフィードバックを与えた。

本試行では 28 試行からなるブロックを 10 ブロック遂行した (280 試行: 条件 (2) × 注視点の移動方向 (2) × 消失時のターゲット・注視点相対位置 (7) × 繰り返し (10))。

結果および考察

Figure 2 は各条件における RM の大きさを示している。このデータは 7 つの刺激提示時間、すなわち刺激消失時の 7 つのターゲット・注視点の相対位置データを平均したものである。Figure 2 の縦軸において、正 (+) の

RM はターゲットの移動方向へ消失位置判断のずれが生じていること、負 (-) の RM はターゲットの移動と逆方向へ消失位置判断のずれが生じていることを意味する。これを見ると、被験者 YI では Opposite 条件で負の RM が生じているが、その他の被験者では Same 条件に比べると、非常に小さいが、正の RM が生じていることがわかる。また、Opposite 条件における被験者 YI の負 RM の大きさは、Same 条件における正 RM に比べると遙かに小さい。Figure 1 に見られるように、Kerzel の仮説が正しければ、両条件での RM の大きさの絶対値は等しくなるはずである。

また、Kerzel (2000) の仮説からは刺激消失時点での眼球運動の速度と RM の大きさが密接に関連することが予測される。しかし、各刺激消失時間において、眼球速度と RM の大きさを詳細に分析した結果、そのような傾向はみられなかった。

このような結果から、Kerzel が提案したような視覚的持続および惰性的眼球運動によって RM の出現を完全に説明することは不可能である。したがって、Hubbard (1995) らが仮定するような移動先予測機構、あるいはその他のメカニズムが RM の出現に関与することが示唆された。

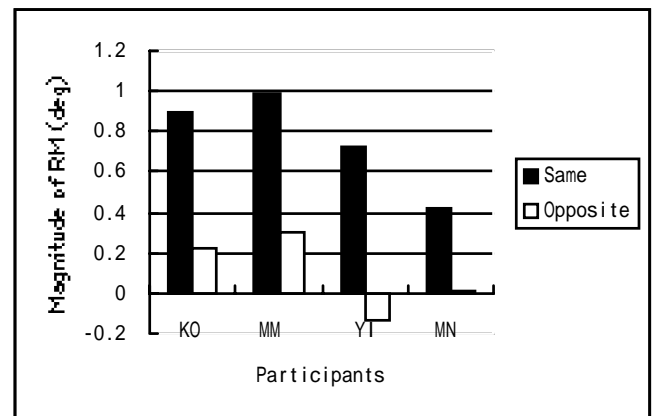


Figure 2. Magnitude of RM in both conditions.

References

- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1984). Representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 10, 126-132.
- Hubbard, T. L. (1995). Environmental invariants in the representation of motion: Implied dynamics and representational momentum, gravity, friction, and centripetal force. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2, 322-338.
- Kerzel, D. (2000). Eye movements and visible persistence explain the mislocalization of the final position of a moving target. *Vision Research*, 40, 3703-3715