

内発的注意と外発的注意が motion-induced blindness に及ぼす影響

筑波大学大学院人間総合科学研究科 井上 和哉

筑波大学大学院人間総合科学研究科・心理学系 菊地 正

The effects of endogenous and exogenous attention on motion-induced blindness

Kazuya Inoue and Tadashi Kikuchi (*Institute of Psychology, Graduate school of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8572, Japan*)

Motion-induced blindness (MIB) is the phenomenon where salient static stimuli disappear when surrounded by moving stimuli. This study conducted two experiments to examine the effects of endogenous and exogenous attention on MIB. In both experiments, a large number of dots rotated clockwise around the center of a display. In Experiment 1, observers either endogenously attended to a single static stimulus (single stimulus condition) or equally attended to two static stimuli (two stimuli condition). The disappearance latency was longer in the single stimulus condition than in the two stimuli condition. The finding was that endogenously focused attention increased disappearance latency. In Experiment 2, one third of the moving dots were periodically changed. In the luminance change condition, luminance and color were changed (red to green and green to red). In the equal luminance condition, only the color was changed. In the no change condition, the dots moved without change during a trial. Both the luminance change and the equal luminance change conditions increased the cumulative disappearance times and the frequency of disappearances, indicating that exogenous attention to moving dots facilitates MIB. These findings support the notion that disturbing attention to static stimuli induces MIB.

Key words: motion-induced blindness, endogenous attention, exogenous attention

我々は網膜上に投影された刺激を常に知覚し続けているわけではない。例えば、ある一点を注視しながら視野周辺に提示された刺激を観察していると、視野周辺の刺激が一時的に見えなくなることがある (Troxler 効果; Troxler, 1804)。このように一度顕在的に知覚できた刺激がしばらくした後に見えなくなる現象を視覚的消失現象という。視覚的消失現象は、刺激の提示直後から刺激を顕在的に知覚することができない視覚マスキング (Mowbray & Durr, 1964) や inattention blindness (Rock, Linnett, Grant & Mack, 1992) と異なり、一度知覚し、意識にのぼった刺激が意識から失われる現象である。

近年報告された視覚的消失現象に motion-induced blindness (MIB) がある (Bonneh, Cooperman & Sagi, 2001)。MIB とは、一点を注視しながら視野周辺部の刺激 (静止刺激) を観察しているときに、静止刺激の周囲に運動する刺激が提示されると、静止刺激が一時的に消失したように知覚される現象である。MIB は、静止した刺激に対してだけでなく、ゆっくりと移動する刺激に対しても生じるという点で、Troxler 効果とは異なる消失特徴を持っている。したがって、網膜や外側膝状体における順応によって生起する Troxler 効果とは、異なる生起メカニズムを持つことが指摘されている (Bonneh et al.,

2001)。つまり、ある特定の空間位置に対応した神経細胞が順応したためにMIBが生じるのではない。また、消失中の静止刺激に対して線分の傾き、色、グループ化などの様々な処理が行われていることが報告されていることから(Hofstoetter, Koch & Kiper, 2004; Mitroff & Sholl, 2005; Montaser-Kouhsari, Moradi, Zandvakili & Esteky, 2004), MIBの生起は低次の視覚情報処理における特徴検出の失敗には帰属できない。

MIBの生起メカニズムとして面による遮蔽が提唱されている(Graf, Adams & Lages, 2002)。遮蔽説によれば、運動する刺激が知覚的な面を形成し、その面が静止刺激を覆い隠してしまうために静止刺激が消失する。彼らは、運動刺激が形成する知覚的な面と静止刺激との奥行き関係を操作することにより、この仮説を検証した。その結果、知覚的な面が静止刺激の奥に存在するときよりも、手前に存在するときに消失時間が長いことが示され、面による遮蔽説を支持する結果が得られた。しかし、知覚的な面が静止刺激よりも奥に存在するときも、静止刺激が消失しており、面による遮蔽のみではMIBの生起を十分に説明できない。

面による遮蔽以外の要因として注意の関与が指摘されている(Bonneh et al., 2001)。通常、ある対象から別の対象へと注意をスムーズに移動させることができる。しかし、運動刺激が存在する場合、そのようなスムーズな注意の移動を行うことができず、静止刺激に注意が向けられなくなるために静止刺激が消失する(注意移動妨害説)。しかし、Bonneh et al. (2001)はMIBに注意が関与していることを指摘しているものの、実験的な検討を行っていない。Kawabe, Yamada & Miura (2007)の研究はMIBに注意が関与している可能性を示唆している。彼らの研究では、静止刺激の消失時に静止刺激付近に光点を提示すると静止刺激が消失している時間が短くなるという結果が得られている。この結果は、光点によって静止刺激付近に注意が誘導されたために静止刺激が顕在的に知覚可能になったことを示しており、MIBに注意が関与している可能性を示唆している。しかし、Kawabe et al. (2007)の実験は一度消失した静止刺激を再び意識に戻すことに注意が何らかの役割を果たしていることを示しているのであって、静止刺激が消失することに注意が関与しているか否かを示していない。このように、静止刺激に対して注意を向けられないことがMIBの原因であるか否かに関しては明確な結論が得られていない。そこで本研究では、静止刺激への注意の移動の妨害がMIBの原因であるか否かを実

験的に検討することを目的とする。

注意の制御には二つのタイプがあることが指摘されている(Posner, 1980)。一つは内発的注意(endogenous attention)と呼ばれるもので、観察者の意図によって喚起される制御的な注意である。もう一つは外発的注意(exogenous attention)と呼ばれるもので、刺激によって喚起される反射的で、自動的な注意である。本研究ではこれらの注意の制御に注目し、実験1では内発的注意がMIBに及ぼす影響を検討し、実験2では外発的注意がMIBに及ぼす影響を検討する。

実験1

静止刺激に対する内発的注意がMIBに及ぼす影響を検討する。注意移動妨害説によれば、運動刺激に注意が引きつけられ、静止刺激に注意が向かなくなるにより、静止刺激が消失する。このことから、一つの刺激に内発的に注意を集中することは、運動刺激からの妨害効果を減少させ、MIBを生じにくくすることが予測される。そこで実験1では、静止刺激を一つのみ提示し、一つの静止刺激に内発的に注意を集中させる条件と、静止刺激を二つ提示し、二つの刺激に平等に注意を集中させる条件とを設定する。一つの刺激に内発的に注意を集中させる条件では、運動刺激による注意の移動の妨害効果を受けにくいことが考えられる。したがって、注意移動妨害説が正しいとすれば、二つの刺激に平等に注意を向ける条件よりも、一つの刺激に注意を集中する条件の方が、静止刺激を提示してから消失するまでの時間が長くなることが予測される。

方法

実験参加者 大学生および大学院生10名が実験に参加した。裸眼もしくは矯正により健常な視力を有していることが口頭で確認された。

刺激及び装置 実験の制御はパーソナルコンピュータ(Dell社 Precision 650)によって行われ、実験刺激は21インチCRTディスプレイ(EIZO社 FlexScan T966)上に提示された。参加者はあご台であごを固定され、参加者からディスプレイまでの距離は57.3cmであった。Fig. 1に実験で用いられた刺激を示す。実験で用いられた刺激は、注視点、静止刺激、運動刺激の三種類であった。刺激は全て黒色(1.8cd/m²)の背景上に提示された。白色の小円(視角で直径0.4°, 104.2cd/m²)が注視点として画面中央に提示された。運動刺激として100個の青いドット(0.2°, 10.6cd/m²)が用いられた。運動刺

激は注視点からの距離が 3.5° 以上で、 10.5° 以下の領域にランダムに提示され、 $100^\circ/\text{秒}$ の角速度で注視点を中心に時計回りに回転した。黄色い小円（直径 0.4° 、 $40.5\text{cd}/\text{m}^2$ ）が静止刺激として用いられた。静止刺激は注視点の左右 7.0° のいずれかの位置に提示されるか（1個条件）、両方の位置に（2個条件）提示された。静止刺激の中心から半径 0.9° の円形の領域（保護領域）には運動刺激は提示されなかった。

手続き 試行の最初に静止刺激の提示位置及び提示個数を示す手がかり画面が提示された。左向きの不等号（ $<$ ）は注視点の左側に、右向きの不等号（ $>$ ）は注視点の右側に静止刺激が提示されることを示した。左向きと右向きの不等号の同時提示（ $<>$ ）は、注視点の左右両方に静止刺激が提示されることを示した。手がかり画面でテンキーの1を押した1秒後に画面中央に注視点が表示され、注視点の提示開始の1秒後に運動刺激および静止刺激が提示された。実験参加者は、注視点を注視しながら静止刺激を観察し、静止刺激の消失時にテンキーを押すことが求められた。左側の静止刺激の消失時には1のキーを押し、右側の静止刺激の消失時には3のキーを押し、右側の静止刺激の消失時には3のキーを押すことが求められた。1個条件では1または3のキーを押すことで1試行が終了した。2個条件では、左側に提示された静止刺激が初めて消失したときに1のキーを押し、右側に提示された静止刺

激が初めて消失したときに3のキーを押すことが求められ、1と3のキーを一度ずつ押すことで、1試行が終了した。静止刺激の提示開始からテンキーを押すまでの時間が消失潜時として記録された。

本試行を行う前に9試行の練習試行が行われた。その後、1個条件40試行（左右同数ずつ）と2個条件20試行の計60試行がランダムな順番で行われた。したがって、左右の刺激位置に関しては1個条件と2個条件のいずれにおいても同数の反応が測定された。

実験計画 静止刺激の提示位置（左、右） \times 静止刺激の提示個数（1個、2個）の2要因被験者内計画であった。

結果と考察

静止刺激の提示位置、静止刺激の提示個数ごとの消失潜時の平均値を Fig. 2 に示す。1個条件に関しては、静止刺激が左に提示された試行と右に提示された試行ごとに消失潜時の平均を求めた。2個条件に関しては、左に提示された静止刺激が最初に消失したときの試行と右に提示された静止刺激が最初に消失した試行ごとに消失潜時の平均を求めた。

静止刺激の提示位置と提示個数を要因として、2要因被験者内の分散分析を行ったところ、静止刺激の提示個数の主効果が有意であり ($F(1, 9) =$

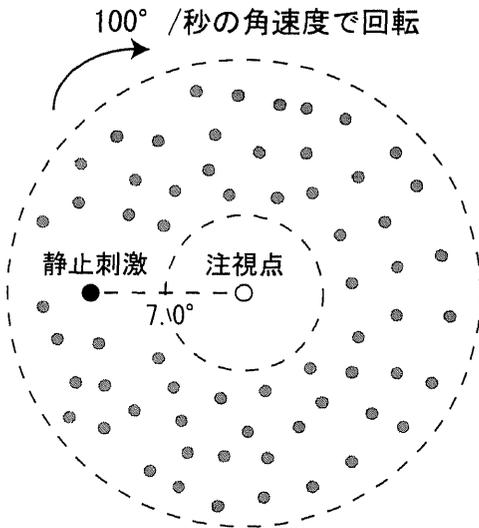


Fig. 1 実験1で用いられた刺激。破線の円は実際には提示されない。小さい破線の円の半径は 3.5° で、大きな破線の円の半径は 10.5° である。

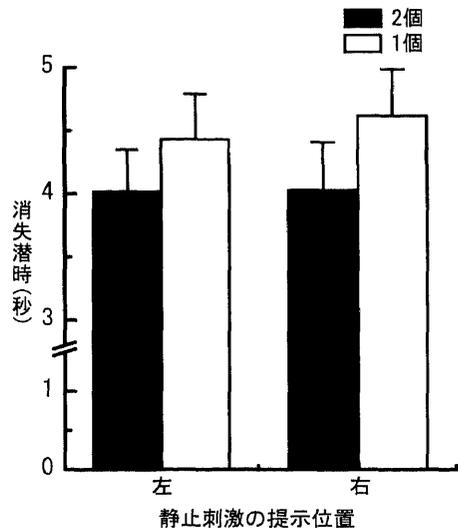


Fig. 2 静止刺激の提示位置と提示個数別の消失潜時（エラーバーは+1SEを示す）。2個条件の消失の潜時は、左に提示された静止刺激が最初に消失した試行の平均と右に提示された静止刺激が最初に消失した試行の平均を示す。

12.15, $p < .01$), 1個条件の消失の潜時は, 2個条件よりも長いことが示された。この結果は, 一つの静止刺激に注意を集中させたために, 運動刺激による注意の移動の妨害効果を受けにくく, 消失が生じにくかったことを示している。したがって, 静止刺激に注意を向けられないためにMIBが生じるという注意移動妨害説 (Bonneh et al., 2001) を支持する結果であった。

実験 2

実験2では, 外発的注意がMIBに及ぼす影響を検討した。輝度の急激な上昇は注意を捕捉することが報告されている (Theeuwes, 1995)。したがって, 運動刺激に注意が捕捉されて, 静止刺激に注意が向かないことがMIBの原因であるとすれば, 運動刺激が輝度の変化を繰り返す条件では輝度の変化がない条件と比べて, 静止刺激の消失が生じやすいことが予測される。また色相は変化するが輝度は変化しない等輝度の色変化は注意を捕捉しない, もしくは注意を捕捉する効果が弱いことが報告されている (Theeuwes, 1995)。したがって, 運動刺激が等輝度の色変化を繰り返す条件と運動刺激の変化がない条件との間には消失の生じやすさに大きな違いがないことが予測される。

方法

実験参加者 大学生および大学院生9名が実験に参加した。いずれの参加者も実験1には参加していなかった。裸眼もしくは矯正により健常な視力を有していることが口頭で確認された。

刺激及び装置 実験1と同様に, 刺激は全て黒色 (1.8cd/m^2) の背景上に提示された。運動刺激として150個のドットが用いられ, 注視点からの距離が 3.5° 以上で, 12° 以下の領域にランダムに提示された。ドットの回転速度は実験1と同様であった。実験1と異なり, 運動刺激の色は赤であり (10.6cd/m^2), 30秒間提示され続けた。実験2では, 輝度変化条件, 等輝度変化条件, 変化なし条件の3条件が設定された。輝度変化条件では, 150個の赤いドットが提示され, そのうちの50個は1秒ごとに 0.5 秒間緑のドット (68.2cd/m^2) に変化した。変化するドットは試行ごとにランダムに決定されたが, 試行内では同一のドットであった。30秒の間, 赤と緑の変化が繰り返された。等輝度変化条件でも同様に赤と緑の変化が繰り返されたが, 等輝度変化条件の緑の輝度は赤の輝度と等しかった。等輝度は異色交照測光法 (heterochromatic flicker

photometry) により参加者ごとに決定された。変化なし条件では赤いドット (10.6cd/m^2) が30秒間提示され続けた。静止刺激は常に注視点の左側に提示され, 静止刺激の偏心度は実験1と同じであった。静止刺激付近に注意を捕捉する刺激が存在した場合, 静止刺激の消失持続時間が短くなることが予測されたため (Kawabe et al., 2007), 実験1よりも大きな保護領域が設定された (静止刺激の中心から半径 2.5° の円形の領域)。

手続き 画面中央に注視点が表示され, 2秒後に静止刺激と運動刺激が表示された。参加者は注視点を注視しながら静止刺激を観察し, 静止刺激が消失したらマウスを押し, 消失した静止刺激が出現したらマウスを放すという作業を30秒間繰り返し行った。静止刺激の消失時に注意を捕捉する刺激を提示することは消失の持続を妨げるため (Kawabe et al., 2007), 参加者がマウスを押すことにより静止刺激の消失を報告している間には, ドットの変化は生じなかった。静止刺激が表示されてから最初の消失が生じるまでの時間 (消失潜時), 30秒間の累積消失時間, 消失回数, 一回の消失あたりの消失持続時間が測定された。各条件に関して8試行ずつ, 計24試行が行われ, 条件の順番はランダムに決定された。実験の実施前に4試行の練習試行を行った。

実験計画 ドットの変化 (輝度変化, 等輝度変化, 変化なし) の1要因被験者内計画

結果と考察

Fig. 3からFig. 6に消失潜時, 累積消失時間, 消失回数, 消失持続時間を示す。消失潜時, 累積消失時間, 消失回数, 消失持続時間のそれぞれについて, 1要因被験者内の分散分析を行った。消失潜時に関しては条件間に有意な差は認められなかった ($F(2, 16) = 1.39, ns$)。累積消失時間に関しては条件間に有意な差が認められ ($F(2, 16) = 5.29, p < .05$), 輝度変化条件と等輝度変化条件の累積消失時間は変化なし条件よりも長いことが示された。また, 消失回数に関しても同様に有意な差が認められ ($F(2, 16) = 7.59, p < .01$), 輝度変化条件と等輝度変化条件の消失回数は変化なし条件よりも多いことが示された。消失持続時間に関しては条件間に有意な差は認められなかった ($F(2, 16) = 0.27, ns$)。以上の分析から, 累積消失時間の増加は一回あたりの消失持続時間が長くなったためではなく, 消失回数が増えたためであることが示された。

変化なし条件と比べて輝度変化条件の累積消失時間が長く, 消失回数が多かった理由として注意の捕捉が考えられる。つまり, 輝度変化条件では定期的

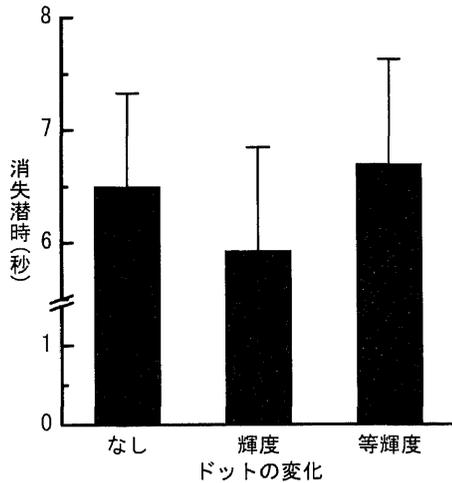


Fig. 3 ドットの変化条件ごとの消失潜時 (エラーバーは+1SEを示す)

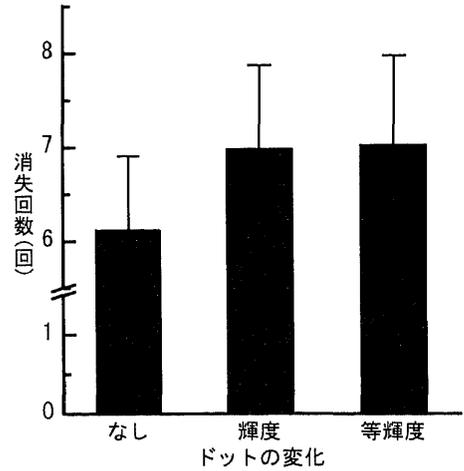


Fig. 5 ドットの変化条件ごとの消失回数 (エラーバーは+1SEを示す)

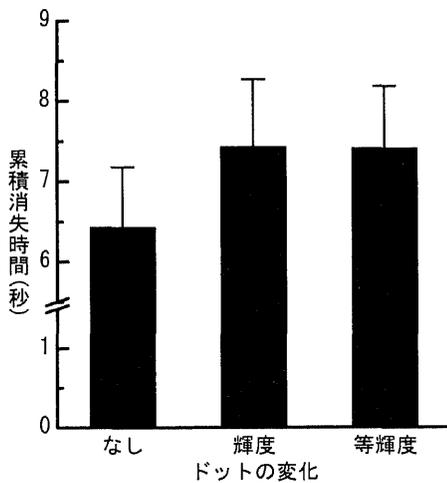


Fig. 4 ドットの変化条件ごとの累積消失時間 (エラーバーは+1SEを示す)

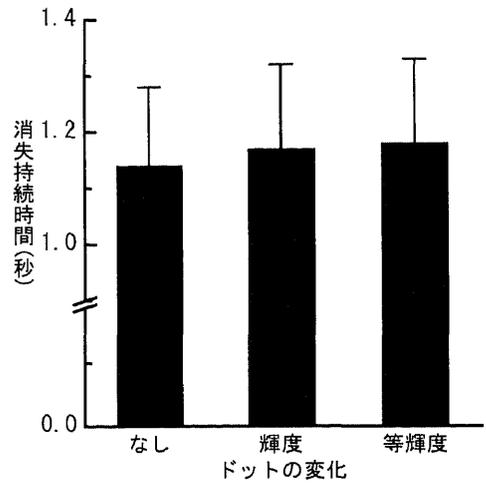


Fig. 6 ドットの変化条件ごとの消失持続時間 (エラーバーは+1SEを示す)

に輝度が変わったために、変化なし条件よりも運動刺激に注意が引きつけられ、静止刺激に注意が向かなくなった結果、静止刺激の消失が生じやすかったと考えられる。しかし、注意の捕捉が生じにくいはずの等輝度変化条件においても、変化なし条件と比べて、累積消失時間が長く、消失回数が多かった。この結果に関しては二つの可能性が考えられる。一つは等輝度の色変化それ自体がMIBに影響を与えるのに十分に注意を引きつけた可能性である。もう一つの可能性は赤から緑の変化が同一の物体の変化としてではなく、緑の新しい物体の出現として知覚

された可能性である。Yantis & Hillstrom (1994)の研究は、輝度ではなく、物体の出現が注意を捕捉することを示唆している。したがって、等輝度の色変化が同一対象の色相の変化ではなく、異なる物体の出現であると観察者に知覚される場合、注意を捕捉し、MIBを促進する可能性がある。ドットの色の変化というよりは新しいドットの出現であるように知覚されたという内観報告が得られたこと、輝度変化条件も等輝度変化条件も同程度にMIBの促進が生じていたことから、新しい物体の出現が注意を引きつけたと解釈した方が妥当であると考えられる。

総合考察

本研究の目的は、静止刺激への注意の移動の妨害がMIBの原因であるか否かを検討することであった。実験1では、内発的注意の点から検討した。その結果、静止刺激を一つのみ提示した条件の消失潜時は、静止刺激を二つ提示した条件よりも長いという結果が得られ、注意移動妨害説 (Bonneh et al., 2001) からの予測と一致する結果が得られた。実験2では、外発的注意の点から、Bonneh et al. の説明の妥当性を検討した。運動刺激の輝度が変化する条件と輝度の変化はないが運動刺激の色相が変化する条件では、運動刺激が変化しない条件よりも、30秒あたりの消失時間が長く、消失回数が多いという結果が得られ、注意移動妨害説を支持する結果が得られた。以上のことから、注意の移動が妨げられるために静止刺激が消失するという注意移動妨害説は、内発的注意と外発的注意の両方の点で、妥当な説明であることが確認された。

運動刺激の輝度の変化や等輝度の色の変化がMIBを促進するという実験2の結果は、運動刺激への外発的注意の捕捉がMIBの一因であることを示している。しかし、累積消失時間の違いは1秒程度であり、消失回数の違いも1回程度であり、それほど大きな差は認められなかったことから、外発的注意の捕捉がMIBの生起にとって主要な要因であると結論づけることはできない。輝度変化による消失の促進効果が小さかった理由として、運動刺激それ自体が十分に注意を引きつけてしまったために輝度変化による注意の捕捉があまり生じなかったという可能性が挙げられる。今後は、外発的注意の捕捉がMIBの主要な要因か否かを明らかにするために、実験手続きを改良することが必要とされる。

ドットに変化が生じたときに静止刺激の消失が促進されるという実験2の結果は、面による遮蔽説 (Graf et al., 2002) によって説明できる可能性がある。つまり、実験2の結果はドットの変化が新たに知覚的な面を形成し、消失を促進したと説明することができるかもしれない。今後は、注意を捕捉するが知覚的な面は形成しない条件の設定により、注意の効果を厳密に検討することが必要とされる。

引用文献

Bonneh, Y.S., Cooperman, A. & Sagi, D. (2001).

Motion-induced blindness in normal observers. *Nature*, 411, 798-801.

Graf, E.W., Adams, W.J. & Lages, M. (2002). Modulating motion-induced blindness with depth ordering and surface completion. *Vision Research*, 42, 2731-2735.

Hofstoetter, C., Koch, C. & Kiper, D.C. (2004). Motion-induced blindness does not affect the formation of negative afterimages. *Consciousness & Cognition*, 13, 691-708.

Kawabe, T., Yamada, Y. & Miura, K. (2007). How an abrupt onset cue can release motion-induced blindness. *Consciousness & Cognition*, 16, 374-380.

Mitroff, S.R. & Scholl, B.J. (2005). Forming and updating object representations without awareness: evidence from motion-induced blindness. *Vision Research*, 45, 961-967.

Montaser-Kouhsari, L., Moradi, F., Zandvakili, A. & Estekey, H. (2004). Orientation-selective adaptation during motion-induced blindness. *Perception*, 33, 249-254.

Mowbray, G.H. & Durr, L.B. (1964). Visual masking. *Nature*, 201, 277-278.

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

Rock, I., Linnett, C.M., Grant, P. & Mack, A. (1992). Perception without attention: results of a new method. *Cognitive Psychology*, 24, 502-534.

Theeuwes, J. (1995). Abrupt luminance change pops out; abrupt color change does not. *Perception & Psychophysics*, 57, 637-644.

Troxler, D. (1804). Über das Verschwinden gegebener Gegenstände innerhalb unseres Gesichtskreises. In K. Himly & J.A. Schmidt (Eds.), *Ophthalmologische Bibliothek*. Vol.2. Jena: Frommann. pp.1-119.

Yantis, S. & Hillstrom, A.P. (1994). Stimulus-driven attentional capture: evidence from equiluminant visual objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 95-107.

(受稿10月31日：受理11月8日)