

逆向的注意の分割による視覚的作動記憶への負荷

武野 全恵 (名古屋大学 大学院環境学研究科, takeno.masae@k.mbox.nagoya-u.ac.jp)

北神 慎司 (名古屋大学 大学院環境学研究科, kitagami@cc.nagoya-u.ac.jp)

The load to distribute retrospective attention to multiple items within visual working memory

Masae Takeno (Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan)

Shinji Kitagami (Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan)

Abstract

A retrospective attention is known that it can enhance an accuracy of only one item within visual working memory, however, it is not clear whether this attention can enhance that of multiple items or not. The previous study showed a null effect of retrospective attention to multiple items (i.e., a limitation of retrospective attention). It assumed that the null effect caused an extra effort to maintain multiple split foci or the retrospective attention cannot enhance multiple items. Present study investigated whether the effort to separate the retrospective attention to multiple items decline the effect of the retrospective attention with a probed-recall paradigm which is assumed more sensitive than that of previous study. Experiment 1 showed that there was a large effect size of single cueing, but there was no difference between a control condition and a double-cue condition where participants needed to distribute attention. However, it detected a weak effect size of attention between the both conditions. It suggested that distributing attention generated the extra effort and load. Then in order to lighten this load, we eliminated ISI between memorized items and attentional cues to use the iconic memory in Experiment 2. As compared with the accuracies in Experiment 1, those in Experiment 2 improved except that in double-cue condition. It was not enhanced by reduction of ISI as well as by the distribution of the attention. This suggested that the attentional effect in double-cue condition decreased due to the load to separate the attention. Thus, to distribute retrospective attention imposes the load and effort. Moreover, it limits the retrospective attention.

Key words

visual working memory, iconic memory, retro-cue, effort, retrospective attention

1. 問題

我々は、日常的に視覚から大量の情報を得ているが、必ずしもすべての情報が記憶として保持されているわけではない。記憶は常に更新され、一度に保持できる量も決まっている。作動記憶の研究でも同時に保持できる事柄の量には制限があることが知られており、特に視覚的作動記憶では、オブジェクトであれば4つを同時に保持できるといわれる (Luck & Vogel, 1997)。視覚的作動記憶にはこのような容量の制限が存在しているため、必要な情報を選択的に保持するためのメカニズムとして、注意を向けることが記憶保持に与える影響についても研究されるようになった。複数の文字やオブジェクト注意を向けて覚えると、その注意を向けられた表象の記憶成績は、特に注意を向けなかったときよりも良くなることが示されている (Kramer & Hahn, 1995)。近年では、目の前から覚えるものが消えた状態で、視覚的作動記憶内で保持されている表象のみを頼りにして注意を配分したときの影響について検討されるようになった。具体的には、視覚的作動記憶内の情報、つまり、符号化後に、1項目に注意を向けるように教示すると、そのような教示を行わない統制条件に比べて、注意を向けた項目の記憶成績が高

くなることが複数の研究で示されている (Griffin & Nobre, 2003; Lepsien, Griffin, Devlin, & Nobre, 2005; Makovski & Jiang, 2007)。このような作動記憶内で操作することが可能であり、覚えるべき項目の消失後に逆向的に向けることができる注意を、本研究では、逆向的注意 (retrospective attention) と呼ぶことにする。また、この逆向的注意を向けたことによって記憶成績が上昇することを逆向的注意の効果であると定義する。この逆向的注意の効果に関して、Makovski & Jiang (2007) は、2項目以上に逆向的注意を分配した場合について検討している。その結果、逆向的注意を複数項目に分配すると正解率は上昇しなかったことから、彼らは逆向的注意の効果には特定の制約があると主張した。このような制約が存在する理由として、彼らは2つの可能性を挙げている。その一つは、注意を複数項目に配分しその状態を維持するために、相応の努力を要することになり負荷がかかるために、制約がかかっているとする説である。そして、もう一つは、逆向的注意の効果は、1つの項目にしか現れないという説である。しかし、この2つは、あくまで説明仮説に過ぎず、この仮説を検証する実験も行われていなければ、仮説を支持する根拠も得られていない。さらに、逆向的注意の効果により複数項目の記憶成績を上げられるという実験報告もあり (Delvenne & Holt, 2012; Li & Saiki, 2014; Matsukura & Vecera, 2015)、Makovski & Jiang (2007) の実験は、単に、実験手続き上の理由によって、効果の検出力が低かった

ために、複数項目の記憶成績上昇を統計的に検出できなかった可能性も考えられる。そこで、本研究では、まず実験1にて逆向的注意の効果をより敏感に検出できる実験手続きを用いた場合、複数項目の記憶成績が上昇するか否かを検討した。もし先行研究の検出力不足が原因で複数項目の成績上昇が観察できなかったのであれば、2項目に逆向的注意を向けたときの記憶成績も上昇すると予測する。さらに、実験2では、アイコニックメモリ内に情報が存在する時に注意の分割ができるように手続きの一部を変更して、逆向的注意を分割するときの負荷を軽減するようにした。もし認知的負荷によって逆向的注意の効果を制約が生じており、注意配分の負荷をアイコニックメモリの作用で軽減できるなら、2つの注意項目の記憶成績は上昇すると予測される。また、実験1と比べて2項目注意条件の成績が他条件よりも大きく改善されるだろう。一方、アイコニックメモリの作用により注意分割の負荷が軽減できなかった場合、2項目注意条件の正答率は改善されず、負荷がかかることによってISI短縮による成績改善の効果も弱まるだろう。

2. 実験 1

先行研究 (Makovski & Jiang, 2007) では、6つの項目を記憶項目として実験参加者に覚えさせ、その後特に注意を向けるべき項目の位置を注意手がかりによって示していた。また、テスト段階では注意を向けた項目と同じ色、あるいは新しい色のプローブが呈示され、プローブの色と注意を向けた項目の色が一致しているか一致していないかの判断を実験参加者に求めている。しかし、この方法では回答は二通り（一致 or 不一致）しかなく、チャンスレベルは高い（50%）。したがって、当て推量が正答率に影響を与える可能性が高く、逆向的注意を向けた項目と向けなかった項目の記憶成績差がつきにくい手続きとなっていた。そこで本研究では、テスト時のチャンスレベルを低くし（12.5%）、実験参加者の保持している記憶をより詳しく調べることでできる実験手続きとしてプローブ再生法を用いることにした。

実験1では、Ueno, Mate, Allen, Hitch, & Baddeley (2011) が使用したオブジェクトのプローブ再生法をもとに、注意手がかりを使って逆向的注意の操作を行った。そして、2項目に逆向的注意の配分をすると、注意項目の記憶成績が統制条件と比べて上昇するかどうかを検討した。

2.1 方法

2.1.1 実験参加者

実験参加者は18歳から23歳 ($M = 18.8$, $SD = 1.32$) の色や形の知覚に問題のない大学生20名（男性6名、女性14名）であった。

2.1.2 実験装置・刺激

実験は、富士通製のLIFEBOOK SH90/S FMVS90SWD1のパーソナルコンピュータにて、HSP (Hot Soup Processor, ver3.) で作成した実験プログラムを作動させて

行った。刺激はDELL製のE198FPb、19インチのディスプレイに呈示された。実験刺激には、8色（青、赤、緑、紫、水色、黄色、灰色、黒）と8形（アーチ、矢印、丸、十字、ダイヤモンド、旗、星、三角）を組み合わせた視角約 $1.2^\circ \times 1.2^\circ$ の64種類の色のついた形（オブジェクト）を用意した。再生時に呈示されるプローブ刺激として、実験刺激と同じ8色のついた雲と無色の8形を用いた。また、注意手がかりには、視角約 $1.2^\circ \times 1.2^\circ$ の4方向（左上、右上、左下、右下）を指し示す矢印を用いた。

2.1.3 実験手続き

実験は、個別に行われた。実験参加者はスクリーン前に頭部固定がない状態で画面から約60cmの位置に着席した。毎試行、図1に1試行の流れを示したとおり、最初にピッピというビーブ音とともに背景が白色のスクリーン中央に十字の注視点が400ms呈示された。10msの空白の後、64種類の色のついた形からランダムに選択した4つのオブジェクト（記憶項目）がスクリーン中央を中心として視角約 $5^\circ \times 5^\circ$ の範囲の左上、右上、左下、右下に2000msの間、同時呈示された。実験参加者はこれらのオブジェクトを記憶するよう求められた。記憶項目消失後、1000msの遅延があり、4つの記憶項目が呈示されていた空間位置を示す矢印（注意手がかり）がスクリーン中心から視角約 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ の範囲の四隅のどこかに呈示された。矢印は注意無し条件では0個、1項目注意条件では1個、2項目注意条件では2個が呈示された。実験参加者は矢印で示された位置に呈示されていた項目に特に注意を払うように求められた。1項目注意条件では、矢印は左上、右上、左下、右下の4つの位置をそれぞれ25%の確率で指し示した。2項目注意条件では、矢印は左上・右上、左上・左下、左上・右下、右上・左下、右上・右下、左下・右下の6パターンで2つの位置を示し、各パターンの出現率は等しかった。注意手がかりの呈示後、800msの空白があり、図1に示すような色つきの雲（図1の2段目のプローブ刺激）あるいは無色の形（図1の1、3段目のプローブ刺激）がプローブとしてスクリーン中心から視角約3.7約下方に呈示された。参加者には、プローブの持つ特徴とペアになっていたもう一方の特徴の口頭再生を求めた。例えば、丸のプローブが呈示された場合、丸であった記憶項目の色を回答した（図1の場合、丸が正解）。形が呈示された場合は、色の回答が求められた（図1では黄色が正解）。テスト段階において、4つの物体のどの色・形が検査されるかは、完全にランダムであった。これによって、チャンスレベルを25%以下に抑えた。なお、構音抑制のため、実験参加者には注視点呈示からプローブが呈示され、口頭で回答するまで「ダ、ダ、ダ」と繰り返し言うように教示されていた。実験参加者が口頭回答を終えた後、再びビーブ音とともに注視点が呈示され、次の試行が始まった。

実験は4ブロックに分けて行われ、各ブロック間で休憩を挟んだ。1ブロックは72試行で構成され、実験参加者毎に全288試行が実施された。全試行の順序は、実験

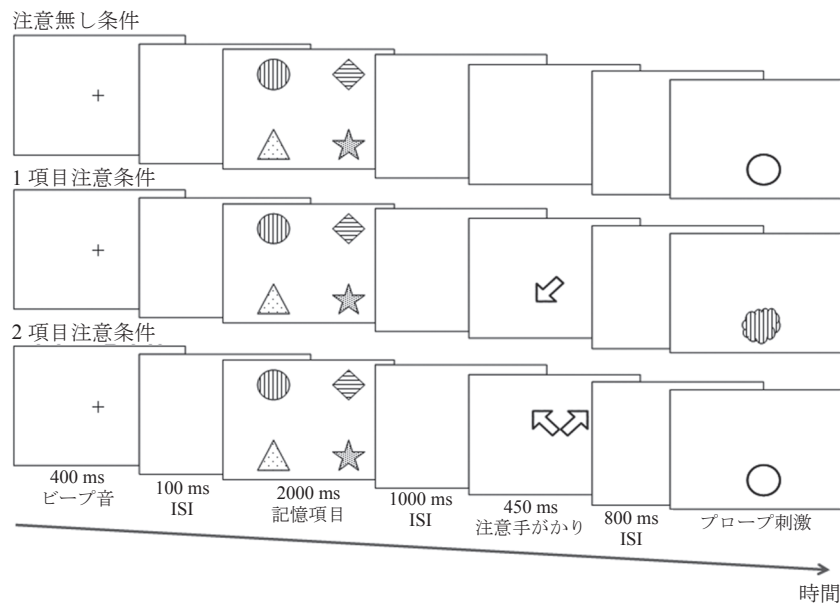


図1：各条件の試行の流れ

注：記憶項目は、黄色の丸、青のダイヤモンド、水色の三角、緑の星を表している。

参加者毎にランダムに並べ替えた。

2.2 結果

注意無し条件（統制条件）、1項目注意条件、2項目注意条件の1要因3水準で分散分析を行った（図2）。その結果、注意の主効果が認められた、 $F(2, 38) = 7.98, p = .001, \eta p^2 = 0.30$ 。さらに、Holm法を用いて多重比較を行ったところ、注意無し条件（ $M = 0.57, SD = 0.13$ ）よりも、1項目注意条件の正答率（ $M = 0.67, SD = 0.13$ ）の方が有意に大きかった（ $t(19) = 4.83, p < .001$ (adjusted), Cohen's $d = 1.14, 95\%CI = [0.42, 1.85]$ ）。一方で、注意無し条件と2項目注意条件の正答率（ $M = 0.61, SD = 0.13$ ）の間に有意な差は認められなかった（ $t(19) = 1.47, p = .16$ (adjusted), $d = 0.35, 95\%CI = [-0.32, 1.01]$ ）。

2.3 考察

実験1では、上述の通り、1項目に逆方向的注意を向けることによって記憶成績が上昇し、大きな効果量が示された（Cohen's $d = 1.14$ ）。したがって、実験1で用いたプロブ再生手続きは、逆方向的注意の効果に対して十分な検出力を持っていたといえる。一方でこのような検出力の高い手続きを用いたにもかかわらず、2項目に注意を向けたときには統制条件と比べて注意の配分による記憶成績の上昇は示されなかった。これらの結果から、Makovski & Jiang (2007)と同様に、逆方向的注意を配分して視覚的ワーキングメモリ内の複数の表象の記憶成績を上昇させるには厳しい制約があることが再現された。一方で、2項目注意条件と統制条件との間に有意差はないものの、注意が配分されることによって、弱い効果が検出されている

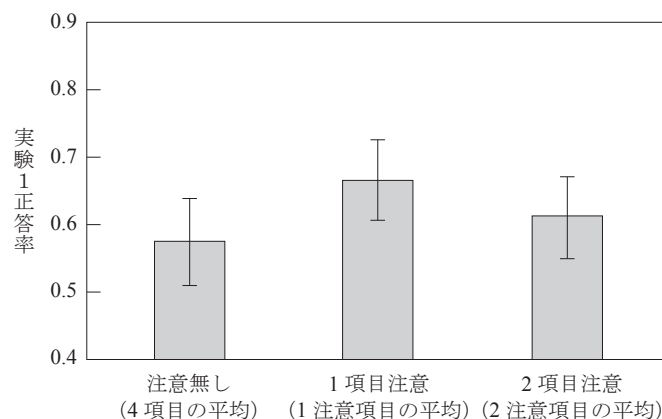


図2：各条件の注意項目正答率（実験1）

注：各エラーバーは正答率の95%信頼区間を示す。また、1項目注意、2項目注意では注意を向けた項目の平均正答率を示している。

(Cohen's $d = 0.35$)。これは、逆向的注意の効果では1項目の記憶成績しか上昇できないといった個数の制約があるのではなく、2項目に注意を配分するときの負荷が大きいため複数項目の維持ができなくなっているという説に一致する結果である。すなわち、2項目注意条件の時に制約がかかる原因は、複数項目に注意を配分する際、ワーキングメモリ内での注意の自発的分割が必要となり、こういった注意の操作自体が負荷となっている可能性が考えられる。そこで実験2においては、注意配分にかかる認知的負荷を軽減するように実験手続きの一部を変更し、上述の可能性について検討する。

3. 実験2

実験1では、1項目に注意を限定的に向ける場合は、記憶成績が統制条件と比べて上昇するが、2項目以上に注意を向けようとした場合、その記憶成績が1項目注意条件と比べて大きく上昇しないことが示された。一方で、アイコニックメモリに関する研究では、記憶すべき項目が消失した直後に複数項目に対して手がかりを出した場合、記憶成績は良くなることを示したものがある (Sperling, 1960)。したがって、本研究においても、アイコニックメモリが働くときに注意配分の手がかりを呈示する、つまり記憶項目消失直後に手がかりを呈示することで、注意配分時の負荷が軽減され、これによって注意が配分された項目の保持も促進されると考えられる。そこで実験2では、記憶項目消失の直後に注意配分の手がかりを呈示し、注意配分時にアイコニックメモリの支えが得られるよう実験手続きの一部を変更した。そして、2項目に注意を向けると、注意の効果によって記憶成績は上昇するかどうかを検討した。さらに、実験1の各条件の正答率と比較し、ISIの短縮による成績改善の効果について検討した。もし負荷が軽減されていれば実験2の2項目注意条件では成績が大きく改善されるだろう。一方で、ISIの短縮による成績改善が他条件よりも小さいならば、注意分割の負荷が記憶成績改善を妨げていると考えられる。

3.1 方法

3.1.1 実験参加者

実験参加者は、実験1に参加していない18歳から22歳 ($M = 21.0$, $SD = 1.02$) の色や形の知覚に問題のない女子大学生21名であった。このうち1名のデータ記録に不足箇所があったため、分析対象からは除外した。

3.1.2 実験装置・刺激

実験は、12.1インチのディスプレイが付属しているLenovo製のThinkPad X61 7675A51のパーソナルコンピュータにて、HSP (Hot Soup Processor, ver3.) で作成した実験プログラムを作動させて行った。実験刺激・注意手がかりともに、実験1と同じ色と形を組み合わせたオブジェクトと矢印を用いた。大きさは視角約 $1.1^\circ \times 1.1^\circ$ であった。

3.1.3 実験手続き

実験参加者は頭部固定がない状態で画面から約50cmの位置に着席した。覚えるべき4つの項目はスクリーン中心から視角約 $4.6^\circ \times 4.6^\circ$ の範囲で呈示され、注意手がかりはスクリーン中心から視角約 $2.3^\circ \times 2.3^\circ$ の範囲で呈示された。プローブはスクリーン中心から視角約 3.4° の下の位置に呈示された。また、実験手続きの流れは、試行内のISIの変更を除いて、実験1と同様であった。具体的には、記憶項目消失から注意手がかりを呈示するまでのISIを0msに設定し、注意を配分する際にアイコニックメモリ内に記憶表象が存在していると考えられる実験手続きを用いた。

3.2 結果

1項目と2項目に注意配分した条件の正答率を統制条件(特定の項目への注意無し条件の4項目の正答率)の正答率と比較した(図3)。1要因3水準実験参加者内分散分析を行い、有意な逆向的注意の主効果を確認した後 ($F(2, 38) = 9.63$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.34$)、Holm法を用いて多重比較を行った。その結果、1項目に注意を向けた条件(1項目

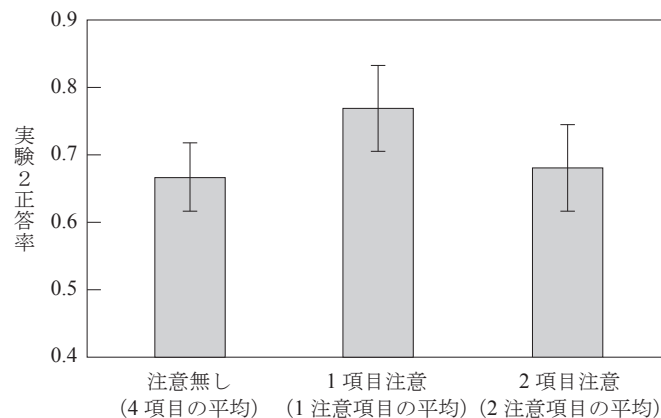


図3：各条件の注意項目正答率（実験2）

注：各エラーバーは正答率の95%信頼区間を示す。また、1項目注意、2項目注意では注意を向けた項目の平均正答率を示している。

注意条件)の正答率は統制条件より上昇した ($t(19) = 4.22$, $p = .001$ (adjusted), $Cohen's d = 0.97$, $95\%CI = [0.27, 1.67]$)。しかし、注意を2項目に配分すると、その正答率と統制条件との間には有意な差はなかった ($t(19) = 0.65$, $p = .52$ (adjusted), $n.s.$, $Cohen's d = 0.15$, $95\%CI = [-0.51, 0.81]$)。また、実験1と実験2の各条件の成績を実験参加者間で比較すると、統制条件と1項目注意条件においては実験2の成績の方が有意に高くなった ($t(38) = 2.36$, $p = .02$, $Cohen's d = 0.75$, $95\%CI [0.08, 1.41]$; $t(38) = 2.43$, $p = .02$, $Cohen's d = 0.77$, $95\%CI [0.10, 1.43]$)。一方で、実験1と実験2の2項目注意条件の間には、有意差は認められなかった ($t(38) = 1.70$, $p = .10$, $n.s.$, $Cohen's d = 0.54$, $95\%CI [-0.11, 1.19]$)。

3.3 考察

実験2では、記憶項目が消失した直後に注意手がかりを呈示することによって、実験1に比べて、注意配分時にアイコニックメモリがより情報保持を支える事が可能な実験手続きを採用したものの、2項目に注意を配分した場合の記憶成績は上昇しなかった。したがって、アイコニックメモリの働きによって注意配分時の認知的負荷が減少しなかった、あるいは、アイコニックメモリ自体が作用しない状況にあったと考えられる。一方で、ISIの短縮による記憶成績の上昇について分析した結果、実験1と実験2の2項目注意条件の間でのみ、有意差は認められなかったことから、2項目注意条件は、その他の条件よりも成績が大きく上らなかったといえる。その原因として、注意を複数項目へ配分することによって他条件よりも認知的負荷がかかっていたことが考えられる。

4. 総合考察

本研究では逆向的注意の効果の制約が生じる原因について、実験手続きの検出力の影響と複数項目に注意を逆向的に配分したときの認知的負荷の影響について検討を行った。序論で述べたように、先行研究の検出力不足の可能性を実験1で検討したが、2項目注意条件では有意に記憶成績が高くなるほどの成績改善は見られず、逆向的注意の効果の厳しい制約が存在することは再現された。一方で、弱い注意の効果量 ($Cohen's d = 0.35$) が認められ、逆向的注意は複数項目に配分でき、個数に依存する制約はないことが示唆された。制約が生じるもう一つの仮説として、注意を分割することが負荷となり制約が生じることが考えられていた。実験2にてアイコニックメモリによって負荷の軽減を行ったが、2項目注意条件の記憶成績は特に高くならなかった。複数項目の記憶成績上昇がなかったことは、従来のアイコニックメモリ研究 (Sperling, 1960) と一致しない。そのため、アイコニックメモリによる記憶保持や注意操作が十分に機能しなかったと考えた。Rensink (2014) によると、アイコニックメモリは個々の項目を個別に記憶する必要がある場合はそうでない場合よりも記憶成績を改善しない、とされる。本研究で用いた手続きでも4つの項目の色形を個別に覚えておくこ

とが必要であり、Rensink (2014) のいう項目の個別化 (individuated) が必要な手続きに該当する。したがってアイコニックメモリの機能は実験方法によって妨げられ、注意配分による認知的負荷が軽減されなかった可能性がある。アイコニックメモリが機能しなかったとすると実験1と実験2の記憶成績を比較して、ISI短縮によって上昇した記憶成績の大きさについて検討できる。実験毎の2項目注意条件の成績を比べるとISI短縮によって改善した成績の大きさは他条件と比べて小さかった。ISIを除いたことによって上昇した記憶成績が他条件より低かったことは2項目注意条件のみが持っている要因が関係していると解釈でき、それが逆向的注意を複数項目へ分配するといった操作の負荷であると考えられる。

Makovski & Jiang (2007) は逆向的注意の効果の制約が生じる原因について個数に制限があるという説と注意の分割にかかる負荷が制限を生じさせているという説の2つを上げていた。この2つの説について、逆向的注意の効果の制約は個数に依存しないことが本研究の結果から示唆された。さらに、2項目ないし複数項目に逆向的注意を配分する時の操作が負荷を与え、逆向的注意を向けることによる記憶成績上昇を妨げていることを支持する結果を得た。したがって、逆向的注意の効果に全く複数項目の記憶成績を上げることができないという制約があるわけではなく、注意配分の認知的負荷の軽減によって複数項目の記憶成績は上昇すると考えられる。これは複数項目の正答率を逆向的注意によって上昇させることができる報告している複数の研究 (e.g., Delvenne & Holt, 2012; Li & Saiki, 2014; Matsukura & Vecera, 2015) とも一致している。しかしながら、これらの研究では注意手がかりの有効性と記憶成績の上昇に関する検討が中心であり、認知的負荷の軽減による記憶成績の上昇について検討を行ったものはほとんどない。本研究では注意手がかりの有効性に関係なく、手続きの検出力を高め、注意配分時の負荷を軽減することで、逆向的注意の効果によって複数項目の記憶成績が上昇することを示唆する結果が得られたことから、今後の研究では認知的負荷の軽減と逆向的注意の効果についてさらに詳細に検討していく必要がある。

引用文献

- Delvenne, J. F. & Holt, J. L. (2012). Splitting attention across the two visual fields in visual short-term memory. *Cognition*, 122(2), 258-263.
- Griffin, I. C. & Nobre, A. C. (2003). Orienting attention to locations in internal representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(8), 1176-1194.
- Kramer, A. & Hahn, S. (1995). Splitting the beam: Distribution of attention over noncontiguous regions of the visual field. *Psychological Science*, 6(6), 381-386.
- Lepsien, J., Griffin, I. C., Devlin, J. T., & Nobre, A. C. (2005). Directing spatial attention in mental representations: Interactions between attentional orienting and working-memory

- load. *Neuroimage*, 26(3), 733-743.
- Li, Q. & Saiki, J. (2014). The effects of sequential attention shifts within visual working memory. *Frontiers in Psychology*, 5, 965.
- Luck, S. J. & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279-281.
- Makovski, T. & Jiang, Y. V. (2007). Distributing versus focusing attention in visual short-term memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(6), 1072-1078.
- Matsukura, M. & Vecera, S. P. (2015). Selection of multiple cued items is possible during visual short-term memory maintenance. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 77, 1625-1646.
- Rensink, R. A. (2014). Limits to the usability of iconic memory. *Frontiers in Psychology*, 5, 971.
- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological monographs: General and applied*, 74(11), 1.
- Ueno, T., Mate, J., Allen, R., Hitch, G., & Baddeley, A. (2011). What goes through the gate? Exploring interference with visual feature binding. *Neuropsychologia*, 49(6), 1597-1604.

(受稿：2016年3月15日 受理：2016年4月11日)