

Cada ensayo comenzaba con la aparición de un pequeño punto de fijación (PF) rojo o verde en el monitor de la computadora. El color del PF le señalaba al mono en cual de las dos superficies debía basar su discriminación. Luego de 200-400 ms de fijación las dos superficies aparecían en pantalla rotando rígidamente alrededor del PF y en oposición de fase (la roja a la derecha, la verde a la izquierda) durante 900ms luego de los cuales ambas superficies se trasladaban simultáneamente en distintas direcciones (escogidas, según la selectividad de la neurona, entre 8 posibles direcciones separadas por pasos de 45 grados) durante 200-300 ms. Terminada la traslación, las superficies y el PF desaparecían, y dos círculos con el color de la superficie atendida eran presentados centrados alrededor del PF. La posición de uno de los círculos se correspondía con la dirección presentada en la superficie atendida. El animal indicaba la dirección de movimiento percibida realizando una sacada hacia el círculo apropiado. La recompensa por la respuesta correcta consistió en una gota de agua o jugo. Las direcciones de la superficie atendida y no atendida, así como cual de las dos superficies debía ser atendida, variaron aleatoriamente de ensayo a ensayo.

La posición de los ojos del mono fue monitoreada con bobinas esclerales y un sistema de doble inducción magnética desarrollado en nuestro centro con este propósito. El movimiento de los ojos fue utilizado para controlar la ejecución del programa de estimulación y evaluar el rendimiento conductual del animal. En cada ensayo el mono debía mantener la fijación dentro de una pequeña ventana electrónica (aproximadamente de 2x2 grados) definida alrededor del PF. Los ensayos en los cuales el animal interrumpía la fijación prematuramente fueron abortados sin recompensa.

Electrofisiología: Los registros

electrofisiológicos fueron realizados con microelectrodos de tungsteno manufacturados o comerciales (FHC), ambos con impedancia entre 0.5-2 Mohms a 1 kHz, insertados en la corteza a través de un tubo guía transdural. La señal de los microelectrodos fue amplificada y los potenciales de acción (PA) fueron aislados utilizando un discriminador de ventana tiempo- amplitud (Bak Electronics). El momento de ocurrencia de los PA fueron medidos con una resolución de 1 msec y almacenados en el disco de la maquina para su posterior análisis. La actividad unitaria fue monitoreada en línea a través de un osciloscopio, un amplificador de audio y mediante la graficación de histogramas peri-estímulo (HTPE). Cada vez que el mono rompía la fijación durante la presentación de los estímulos, el ensayo fue interrumpido y descartado, así mismo fueron descartados los ensayos donde los monos cometían errores en la discriminación.

A medida que el electrodo era descendido regiones de actividad neuronal y de silencio se correlacionaron con la secuencia de tejido cortical y surcos visibles en un atlas de Macaco rhesus (cortesía de WT Newsome, Stanford University). Esto nos permitió determinar la posición del electrodo y su entrada en el banco posterior del surco temporal superior (STS), donde se encuentra MT.

Análisis de los datos: Para cada neurona se calculó el índice de direccionalidad basado en la siguiente fórmula:

$ID = 1 - aP/P$, donde aP y P son las respuestas medias de la célula a la dirección anti-preferida y preferida respectivamente. Valores del índice cercanos a cero indican una pobre selectividad para la dirección, mientras que valores cercanos a la unidad indican una fuerte selectividad.

La cuantificación del efecto atencional se realizó comparando las respuestas de las neuronas cuando la dirección preferida era o no atendida. La respuesta neuronal fue medida como el número de PA que la célula disparaba durante el tiempo de duración de la traslación. Se utilizó como índice atencional la siguiente fórmula:

$$IA = (AP - AaP)/(AP + AaP),$$
 donde AP y AaP son las respuestas medias de la célula cuando la dirección preferida o la anti-preferida, respectivamente, era atendida. El IA toma valores entre -1 y 1, un valor cercano a cero indica que la respuesta de la célula no es modulada por la atención a objetos. La significación estadística del efecto atencional fue testada con una t-test de dos colas. Sólo los ensayos en los cuales el mono respondió correctamente fueron utilizados en el análisis.

Resultados

Los resultados que se presentan a continuación son preliminares. Datos de otro mono macaca entrenado en la misma tarea continúan registrándose.

De un total de 49 de neuronas registradas sensibles al movimiento, 29 fueron identificadas, según los criterios establecidos (ver métodos), como pertenecientes al área MT/MST. De ellas 20 células tuvieron un índice de direccionalidad (ID) significativamente distinto de 0 (t-test de dos colas, $p < 0.05$) y fueron incluidas en los análisis subsiguientes. El rendimiento del animal en los ensayos incluidos en el análisis se mantuvo entre 70 y 100% de aciertos.

La Fig. 2 muestra el histograma peri- estímulo (HTPE) de una de las células donde el efecto atencional fue mayor. Como puede observarse, la respuesta de la célula fue de menor intensidad cuando el movimiento preferido era presentado en la superficie no atendida.

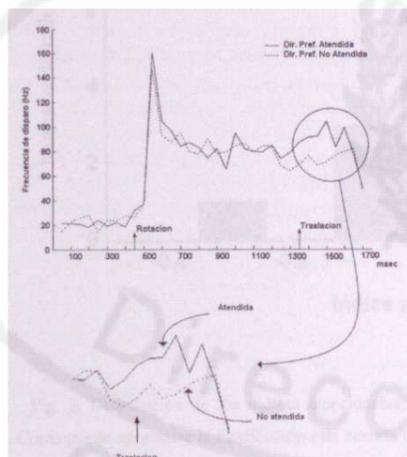


Fig. 2. Histograma peri-estímulo de una neurona del área MT cuya respuesta fue modulada por la atención selectiva a superficie.

Obsérvese como la respuesta a la dirección preferida es mayor cuando es atendida por el animal en comparación a cuando se presenta en la superficie no atendida.

Con el propósito de cuantificar la magnitud de la modulación atencional en cada célula, calculamos su índice atencional (IA, ver métodos). La Fig 3 muestra la distribución de los índices atencionales obtenidos durante la traslación de los puntos. Los IA significativos son mostrados en negro (t-test de 2 colas sobre la distribución de los índices). Obsérvese que la distribución de los IA está corrida hacia la derecha, lo cual indica que como promedio las

neuronas respondieron con menor intensidad cuando la dirección de traslación preferida de la célula era presentada en la superficie no atendida. La magnitud de este efecto es modesto pero significativo (t-test de dos colas, $p < 0.02$). El IA promedio fue 0.06, lo que se corresponde con un 10% de incremento en la frecuencia de disparo de las neuronas cuando el animal atendía la traslación preferida. El IA promedio fue significativamente distinto de 0 (t-test de dos colas, $p < 0.00001$).

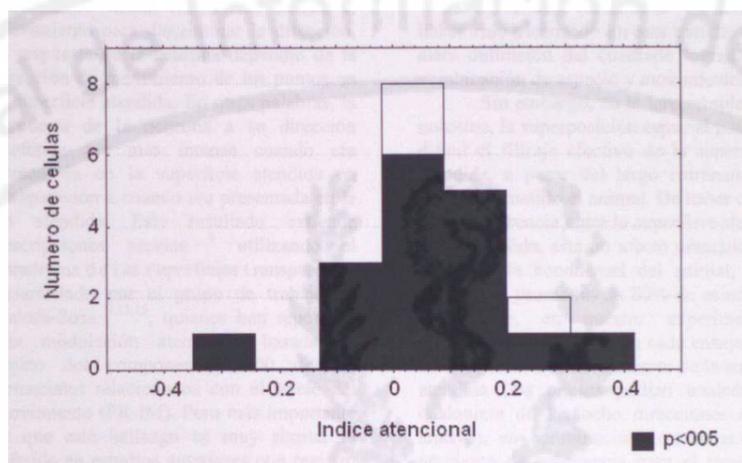


Fig. 3. Distribución de los índices atencionales. Los índices estadísticamente significativos son mostrados en negro. Como puede apreciarse la distribución está corrida hacia la derecha, lo cual indica que como promedio las neuronas respondieron con menor intensidad cuando la dirección de traslación preferida de la célula era presentada en la superficie no atendida.

Cuando se compararon las condiciones donde el animal atendía activamente una de las dos superficies, con la condición neutra donde ambas superficies eran ignoradas y sólo se atendía el PF, se observó que las neuronas incrementaron su respuesta en un 10% durante la traslación en las condiciones de atención comparada con la condición neutra.

Discusión

Los resultados demuestran el efecto de la atención orientada a objetos en el procesamiento de la información de movimiento visual. Cuando se atendía el movimiento para discriminar la dirección, la respuesta de la neurona dependió de la dirección de movimiento de los puntos en la superficie atendida. En otras palabras, la respuesta de la neurona a su dirección preferida fue más intensa cuando era presentada en la superficie atendida en comparación a cuando era presentada en la no atendida. Este resultado extiende descripciones previas⁹ utilizando el paradigma de las superficies transparentes desarrollado por el grupo de trabajo de Valdés-Sosa^{9,13,15}, quienes han reportado una modulación atencional basada en objeto del componente N200 de los potenciales relacionados con el inicio del movimiento (PR-IM). Pero más importante es que este hallazgo es muy similar al referido en estudios anteriores con registro intracerebral, lo cuales habían descrito efectos atencionales tempranos en las áreas extraestriadas de la vía dorsal (MT/MST)¹⁴ en una tarea de atención al espacio.

Sin embargo, la modulación atencional encontrada en el presente trabajo, (10% más intensa si la dirección preferida era atendida) aunque significativa, es mucho menor que la reportada por Treue y Maunsell¹⁴ utilizando una tarea de atención espacial. En dicho trabajo, la detección de un cambio de velocidad de un cuadrado atendido en movimiento produjo una

modulación de la descarga neuronal que fue un 86% mayor cuando el cuadrado se movía en la dirección preferida comparado con el movimiento en la dirección no preferida. Diferencias en el grado de modulación lograda entre ambos estudios pudieran deberse a razones metodológicas. En la tarea empleada por Treue y Maunsell, la atención al cuadrado atendido pudo haber estado beneficiada por la combinación del espacio ocupado por el mismo más su dirección no ambigua de movimiento. Es conocido que el movimiento relevante juega un rol importante en la ubicación de los recursos atencionales^{1,5,18}

Un filtraje atencional efectivo pudo haber sido alcanzado en este estudio dada la clara definición del cuadrado lograda por la combinación de espacio y movimiento.

Sin embargo, en la tarea empleada por nosotros, la superposición espacial pudo hacer difícil el filtraje efectivo de la superficie no atendida, a pesar del largo entrenamiento a que fue sometido el animal. De haber ocurrido una interferencia entre la superficie atendida y la no atendida, esta no afectó dramáticamente la respuesta conductual del animal, el cual tuvo como promedio un 80% de aciertos. Por otra parte, en nuestro experimento la incertidumbre existente en cada ensayo acerca de la dirección de movimiento de la superficie atendida (los puntos podían trasladarse en cualquiera de las ocho direcciones en cada ensayo), en combinación con el uso de un porcentaje de coherencia para el movimiento de los puntos (60-70% de coherencia), podrían haber incidido en que el número posible de poblaciones neuronales activas en MT/MST para responder a las señales de movimiento generadas en las superficies fueran relativamente altas. Bajo una situación semejante, la dirección preferida no se procesaría con ventajas respecto al resto de las direcciones, determinando una tasa de modulación discreta. Seideman y cols¹² en un estudio de atención espacial durante la discriminación de la dirección de superficies no superpuestas, obtuvieron un porcentaje de modulación similar al encontrado por

nosotros. Estos autores analizan problemas similares a los referidos anteriormente.

En los estudios de PR-IM que han utilizado un paradigma similar al empleado en este estudio^{9,15} se ha observado que la modulación del componente N200 es proporcional a la carga perceptual a que son sometidos los sujetos durante la ejecución de la tarea y a la constancia de la configuración atencional. La diferencia obtenida entre la amplitud de la N200 asociada a la condición atendida y no atendida con superficies transparentes, fue mayor en el experimento de atención sostenida a misma superficie¹⁵ experimento con carga perceptual a lta- en comparación con experimentos donde la superficie atendida variaba de ensayo a ensayo⁹. Es probable que la atención mantenida a la misma superficie, o lo que es lo mismo, la constancia de la configuración de la atención, haya permitido una supresión más eficiente de la superficie no atendida que cuando de ensayo a ensayo los recursos atencionales deben reposicionarse en una nueva superficie. Si así fuera, esta pudiera ser una de las causas de la pobre modulación observada en nuestro estudio.

A diferencia de los estudios anteriores, la superposición espacial de las superficies utilizadas en este estudio impidió el uso de una estrategia basada en el espacio para realizar la tarea de discriminación de la dirección. La modulación atencional de la descarga neuronal encontrada en nuestro estudio, apoya la existencia de un mecanismo temprano basado en la representación de los objetos. Este hallazgo concuerda con estudios de imágenes por resonancia magnética funcional en los que se han descrito modulación del área de movimiento homóloga en el hombre a MT, en tareas de atención selectiva a objetos⁸.

Por otra parte, el hecho de que la respuesta de las neuronas de MT/MST fuera menor cuando la condición neutra era

presentada al animal, condición en la que el estímulo es irrelevante para el animal al no ser necesario prestar atención al movimiento, comparado a las condiciones de atención, aparentemente contradice los hallazgos referidos por otros autores^{7,10,12}. Según estos trabajos la respuesta a la condición neutra es intermedia entre la respuesta máxima que se obtiene a la presentación del estímulo preferido y la supresión de la descarga ante el estímulo no preferido. Como mencionamos antes, es posible que en nuestra tarea el animal no lograra una completa supresión de la superficie no atendida, y que la presentación de la dirección preferida en la misma influyera de cierta manera la tasa de respuesta de la célula. Las condiciones de atención difieren esencialmente de la neutra en que, en esta última, el estímulo puede ser ignorado completamente por no ser necesaria la evaluación del mismo, repercutiendo probablemente en una respuesta sensorial baja. No obstante, registros de un mayor número de neuronas son necesarios antes de arribar a conclusiones definitivas.

Resumiendo, podemos concluir que la atención basada en objetos, modula el procesamiento de movimiento en la vía dorsal de forma tan temprana como había sido referido para la atención basada en el espacio. Esta modulación es lograda modificando la frecuencia de disparo de las neuronas que representan el estímulo atendido. Estos resultados aunque preliminares constituyen la primera evidencia electrofisiológica no ambigua de atención basada en objetos en primates no humanos.

Referencias Bibliográficas

1. Abrams RA and Christ SE (2003) Motion onset captures attention. *Psychological Science*.
2. Chelazzi L (1995) Neural mechanisms for stimulus selection in cortical areas of the macaque subserving object vision.

- Behavioural Brain Research* 71, 125-134.
3. Desimone R and Moran J (1985) Selective attention gates visual processing in the extrastriate cortex. *Science* 229, 783-785.
 4. Duncan J. (1984) Selective attention and the organization of visual information. *J Exp Psychol Gen* 113, 501-517.
 5. Hillstrom AP and Yantis S (1994) Visual motion and attentional capture. *Percept Psychophys* 55, 399-411.
 6. Kramer A.F., Weber T.A., and Watson S.E. (1997) Object-based attentional selection—grouped arrays or spatially invariant representations?: comment on Vecera and Farah (1994). *J Exp Psychol Gen* 126, 3-13.
 7. Luck SJ, Chelazzi L, Hillyard SA, and Desimone R (1997) Neural mechanisms of spatial selective attention in areas V1, V2 and V4 of macaque visual cortex. *J Neurophysiol* 77, 24-42.
 8. O'Craven K, Downing PE, and Kanwisher NG (1999) fMRI evidence for objects as the units of attentional selection. *Nature* 401, 584-587.
 9. Pinilla T, Cobo A, Torres K, and Valdes-Sosa M (2001) Attentional shifts between surfaces: effects on detection and early brain potentials. *Vision Research* 41, 1619-1630.
 10. Reynolds JH, Chelazzi L, and Desimone R (1999) Competitive mechanism subserves attention in macaques areas V2 and V4. *J Neuroscience* 19, 1736-1753.
 11. Roelfsema PR, Lamme V, and Spekreijse H (1998) Object-based attention in the primary visual cortex of the macaque monkey. *Nature* 395, 376-381.
 12. Seidemann E and Newsome WT (1999) Effect of spatial attention on the responses of area MT neurons. *J Neurophysiol* 81, 1783-1794.
 13. Torriente I., Valdes-Sosa M, Ramirez D., and Bobes MA (1999) Visual evoked potentials related to motion-onset are modulated by attention. *Vision Res* 39, 4122-4139.
 14. Treue S and Maunsell J (2001) Effect of attention on the processing of motion in macaque visual cortical areas MT and MST. *J Neuroscience* 1-28.
 15. Valdes-Sosa M, Bobes MA, Rodríguez V, and Pinilla T (1998) Switching attention without shifting the spotlight: object-based attentional modulation of brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience* 10, 137-151.
 16. Vecera S.P. and Farah M.J. (1994) Does visual attention select objects or locations? *J Exp Psychol Gen* 123, 146-160.
 17. Vecera S.P. and Farah M.J. (1994) Does visual attention select objects or locations? *J Exp Psychol Gen* 123, 146-160.
 18. Yantis S and Egeth HE (1999) On the distinction between visual salience and stimulus-driven attentional capture. *Journal of Experimental Psychology* 25, 661-676.

La interferencia entre dos objetos depende de la configuración de la atencional

(Two-object interference depends on attentional set). *Internacional Journal of Psychophysiology*, 2003, enviado.



Title: Two-object attentional interference depends on attentional set.

Authors: Maykel López, Valia Rodríguez, Mitchell Valdés-Sosa

Department of Cognitive Neuroscience Cuban Neuroscience Center

Abstract

In this study, we explored the influence of an irrelevant translational event on the automatic capture of attention to one of two superimposed surfaces defined by transparent motion. The results showed that an irrelevant translation on one surface did not capture automatically subjects' attention if the attentional resources have been endogenously allocated on the other surface. Moreover, the reduction in the motion-onset component of the event-related potential observed in trials where the irrelevant event affected the uncued surface supports the existence of a top-down control of early sensorial processing in this paradigm. This study provides further evidence of the interaction of stimulus-driven and goal-directed mechanisms in the control of visual attention.

Keywords: visual attention, object, motion, attentional set, stimulus-driven, ERP.

Introduction

In everyday life we use goals and previous knowledge of visual scenes to define a set of information relevant to our current behavior. The perceptual/attentional set biases the subsequent processing of the incoming information in such a way that only

events that are behaviorally relevant are easily detected or identified (Bacon and Egeth, 1994; Folk CL et al., 1992; Folk CL et al., 1994). This characteristic of attentional control is present in a paradigm developed by Valdes-Sosa and coworkers (Pinilla T et al., 2001; Valdes-Sosa M et al., 2000) in which they examined the effect of object-based attention on the early modulation of event related potentials.

In these studies, subjects were cued by the fixation point color to selectively attend to one of two imaginary surfaces (one red, one green) induced by transparent motion. The two transparent surfaces can be conceived as two different object-files (Valdes-Sosa M et al., 2000) which are segregated on the basis of color and direction of rotation. Brief periods of rectilinear motion (events) interrupted the rotational motion of each surface. The conjunction of distinctive color and motion contributes to preserve the identity of each object-file despite changes in its direction of motion. The subjects' task consisted in reporting the direction of two such consecutive events that could affect the same (cued) surface on some trials, or different surfaces on other trials. Under these conditions a behavioral two-object cost was found for the second event in the different surface condition, accompanied by a reliable attentional modulation of the motion-onset ERP. The N200 component related to the second event was relatively suppressed for the uncued but not for the cued surface (Pinilla T et al., 2001).

Valdes-Sosa et al (Valdes-Sosa M et al.,

2000) interpreted the two-object interference as a consequence of a sluggish transition of attention from one surface to the other. This means that attention is initially assigned to one object-file and that it takes time to re-assign it to the other object-file. However, the selection of the initially attended object-file could be accomplished by either a use of the endogenous cue (subject's instruction to attend a specific set of dots) or by exogenous attentional capture (i.e. the first event would grab attention). The relative contribution of each type of mechanism was not explored in these initial reports.

In a recent study, Reynolds et al. (Reynolds JH et al., 2003) replicated the findings described above, but questioned the role of endogenous cueing in the initial allocation of attention in this paradigm. These authors obtained a two-surface cost even when their FP was uninformative (gray on all trials). They concluded that the first event exogenously captured attention, and that endogenous cueing played little role in Valdes-Sosa et al. experiments. Although the findings of Reynolds et al. convincingly demonstrate that purely exogenous capture of attention can lead to a two-object cost, they do not rule out the participation of endogenous cueing in the previous experiments with transparent surfaces. In fact, there is an important difference in procedure between these studies. In the original paradigm subjects were asked to focus attention on one surface at the beginning of each trial, whereas in Reynolds's study subjects had to divide attention between the two surfaces.

Previous work has shown that exogenous attentional capture is enabled by some, and precluded by other, attentional settings. For example, a color singleton will capture attention

automatically only if the subject is searching for singletons defined by another feature dimension like shape (singleton search mode) (Bacon and Egeth, 1994; Folk CL et al., 1992; Folk CL et al., 1994). Motion will capture attention automatically only when it is relevant to the subjects' task or when it defines a new object (Hillstrom AP and Yantis S, 1994) (Abrams RA and Christ SE, 2003). Therefore, it is possible that in the experiments carried out by Valdes-Sosa group endogenous cueing helped allocate attention to one surface, but that there is exclusively exogenous capture when attention must be divided between the surfaces (as in Reynolds' study).

This idea can be tested by symbolically cueing the subjects to attend to one surface and measuring the degree of attentional capture produced by an event on the other surface. If endogenous cueing plays no role, then automatic attentional capture would occur independently of where the subjects' attention was endogenously directed to. In the present study we show that the occurrence of an irrelevant translational event does not capture automatically the subjects' attention if the attentional resources have been endogenously placed elsewhere.

Material and Methods

The experimental methods are only outlined here, for more details readers are referred to previous articles (Pinilla T et al., 2001; Valdes-Sosa M et al., 2000). Ten subjects (five males) participated as volunteers in the experiments. Ages ranged between 22 and 28 years. All subjects had normal or corrected-to-normal vision and no history of neurological or psychiatric disorders. Due to the difficulty of the task, potential subjects first practiced and were replaced if accurate performance (above 75 % correct responses) was not obtained.

The stimuli consisted of two interspersed sets of moving dots, one colored green and the

other red (Fig. 1). Two experiments were carried out by the subjects. In both, after a

baseline period in which the two sets of dots

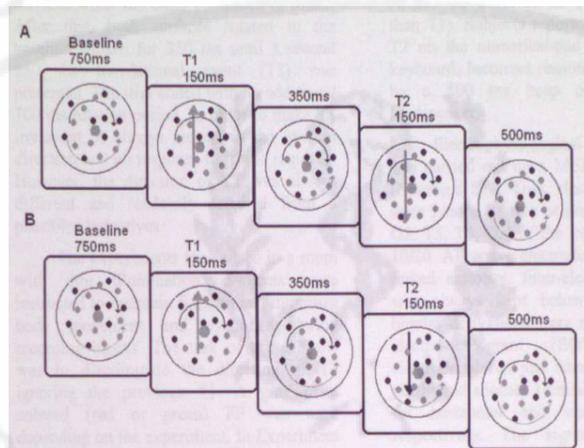


Fig. 1. Sequence of stimulus events in a trial. The background was actually black, and dots were either red or green isoluminant with the red (represented as black and gray). (A) Events in same-surface trials: both events, T1 and T2 affected the same surface. (B) Events in different-surface trials: T2 affected a different surface than T1. In Experiment 2, the FP was colored red or green warning the subject where T2 was going to occur. However in Experiment 1, the FP (gray) was uninformative.