

TESIS DOCTORAL

MODULACIÓN ATENCIONAL EN MOVIMIENTOS BALÍSTICOS Y CONTROLADOS

(Attentional modulation in ballistic and controlled movements)

DOCTORADO EUROPEO



Germán Gálvez García

Director

Juan Lupiáñez Castillo

Departamento de Psicología Experimental y Fisiología del Comportamiento



Universidad de Granada
Mayo 2009

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: Germán Gálvez García
D.L.: GR. 2649-2009
ISBN: 978-84-692-4177-6



MODULACIÓN ATENCIONAL EN MOVIMIENTOS BALÍSTICOS Y CONTROLADOS

(Attentional modulation in ballistic and controlled movements)

Tesis Doctoral presentada por Germán Gálvez García en el Departamento de Psicología Experimental y Fisiología del Comportamiento, para aspirar al grado de Doctor en Psicología, en el programa de doctorado de Psicología Experimental y Neurociencias del Comportamiento, de la Universidad de Granada. La tesis ha sido realizada bajo la dirección del profesor Juan Lupiáñez Castillo, quien avala la calidad de la misma, así como la formación del doctorando para aspirar al grado de doctor.

Firmado en Granada, a 15 de Mayo de 2009

El doctorando

El director de la tesis:

Fdo. Germán Gálvez García

Fdo. Juan Lupiáñez Castillo
Profesor titular de Universidad

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por transmitirme sus valores (El pum pum pum pum de mi padre y la dedicación de mi madre).

A Juan Lupiáñez, por su esfuerzo en formar un buen tándem, muchas gracias.

A Pío Tudela, por confiar en mí y darme la gran oportunidad de seguir formándome.

A Irene, por sufrir los dos partos con paciencia “torera”.

A mis hermanos/as, porque después de tantos años son como de la familia.

A Juan Carlos, porque es como un hermano.

A Daniel, por intentar escucharme sin dormirse.

A mi familia en Madrid, por hacerme sentir como uno más.

A Isidoro Rodríguez, porque es más que un “coach”.

Al matrimonio Rubio-Tejedor, por sacarme del cascarón.

A mis compañeros en Granada y Nottingham, porque verlos trabajar motiva.

A Esteban, Pedro, Carlos y Cesar Arenas, por el apoyo técnico.

A Carolina, por desvelarme los secretos del papeleo doctoral.

A mis Utreranos, por hacerme soleados los días en Utrecht.

A Jose y a Inma, por sobrevivir al paso del tiempo.

A K, por esos interminables cafés.

A Jordi, porque a su lado canto bien, y eso refuerza bastante.

A Oscar (Nancy anoréxica), por cuidar mi línea.

A Mateo, porque aceptó resignado ser esloveno.

PREFACIO

Le propongo al lector que en estos momentos se imagine su escritorio, los distintos objetos que hay: ordenador portátil, libros, papeles, una taza de café... Si nos encontramos enfrente del ordenador y quisiéramos coger esa taza, una multitud de procesos mentales entrarían en juego. Para asir esa taza se podría pensar que simplemente es necesario estirar el brazo para agarrarla y que, por tanto sólo son necesarios activar los músculos que mueven el brazo hasta esa posición. Sin embargo previamente a la activación de los músculos hay muchos procesos de selección de información, establecimiento de metas, planificación de la acción, etc. Del estudio de todos estos procesos se ha encargado áreas como la biomecánica y el control motor. El problema de los manuales clásicos de control motor es que en general describen que hay fases previas antes de la programación motora, pero sólo en muy pocos casos ofrecen una explicación global en la que se dé a otros procesos cognitivos como la atención la relevancia que tienen. Sin esos elementos en el cuerpo de la explicación es difícil explicar que por ejemplo, para asir la taza hace falta seleccionar la posición, frente a la situación de otros elementos distractores, al tiempo que se tienen en cuenta a éstos para programar adecuadamente la acción para así evitarlos y no chocar con ellos. En un primer momento tendríamos que seleccionar el estímulo relevante, en este caso la taza de entre todos los objetos que hay en la mesa. Para ello tendríamos por una parte que focalizar nuestra atención en la taza y por otra realizar el movimiento de agarre. Esta secuencia implica que deberemos de escoger un movimiento que lleve con éxito la acción de agarre evitando esos obstáculos que hay en la mesa.

La atención se ha encargado tradicionalmente del estudio de los mecanismos implicados en esa selección de estímulos y será objeto de estudio de esta tesis, más concretamente los mecanismos atencionales de Facilitación e Inhibición de retorno. Hay que destacar que la acción tiene que ser programada y realizada en el momento adecuado. Por ejemplo, si apartamos un objeto con una mano y utilizamos la otra para asir la taza, tendremos que determinar qué momento es el propicio para comenzar la acción de agarre. Por tanto, tendremos que focalizar nuestra atención en el momento exacto para efectuar la acción correctamente ya que en caso contrario podremos chocar la mano que va a asir la taza con el otro objeto. La preparación temporal también será

objeto de estudio de esta tesis. Por último, si esa taza quemara ¿Como reaccionaríamos antes detectando el calor, asiéndola con la mano o con los dedos? ¿Son diferentes estas áreas en cuanto a la rapidez de detección?... Como demostraremos, la atención también puede jugar un papel fundamental para determinar qué áreas corporales detectan antes los estímulos y qué relación tienen estas áreas entre si.

Por tanto, como podrá comprobar el lector el objetivo principal de esta tesis es el estudio conjunto de la atención y el control motor, que como se podrá comprobar no son independientes entre si, sino que mantienen una estrecha relación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

EXTENDED SUMMARY	17
CAPITULO 1	
INTRODUCCIÓN	27
CONTROL MOTOR: MAPAS MENTALES Y CONDUCTA MOTORA.....	29
MAPAS MENTALES.....	29
CONDUCTA MOTORA.....	32
ACCIÓN DE ALCANCE Y AGARRE DE OBJETOS.....	32
MIOGRAFÍA.....	35
COMPLEJIDAD MOTORA EN EL MOVIMIENTO.....	40
ATENCIÓN COMO MODULADORA DEL CONTROL MOTOR.....	43
ATENCIÓN SELECTIVA Y CONDUCTA MOTORA.....	43
ORIENTACIÓN DE LA ATENCIÓN EN EL TIEMPO Y CONDUCTA MOTORA.....	52
ATENCIÓN Y MAPAS MENTALES; UNA NUEVA APROXIMACIÓN.....	53
CAPITULO 2	
OBJETIVOS E HIPÓTESIS POR CAPÍTULOS	51
CAPITULO 3	
MANIPULACIÓN DE LA COMPLEJIDAD MOTORA INICIAL EN UNA ACCIÓN DE ALCANCE DE OBJETOS	65
RESUMEN.....	67
INTRODUCCIÓN.....	68
EXPERIMENTO 1: Sin respuesta previa.....	75
MÉTODO.....	76
RESULTADOS.....	82
DISCUSIÓN.....	86
EXPERIMENTO 2: Acción inicial de presionar teclas con dedos de las manos.....	88
MÉTODO.....	88
RESULTADOS.....	90
DISCUSIÓN.....	93
EXPERIMENTO 3: Acción inicial de presionar pulsadores con palmas de las manos.....	94
MÉTODO.....	94
RESULTADOS.....	95
DISCUSIÓN.....	98

ANÁLISIS CONJUNTO DE LOS EXPERIMENTOS.....	99
DISCUSION GENERAL.....	103

CAPITULO 4

MANIPULACIÓN DE LA COMPLEJIDAD MOTORA EN ACCIONES DE ALCANCE

Y AGARRE DE OBJETOS.....111

RESUMEN.....	113
INTRODUCCIÓN.....	114
EXPERIMENTO 1: Alcance Diana vs Alcance botón.....	118
MÉTODO	119
RESULTADOS.....	120
DISCUSIÓN	126
EXPERIMENTO 2: Agarre objeto vs Alcance Diana.....	127
MÉTODO	128
RESULTADOS.....	129
DISCUSIÓN	134
DISCUSION GENERAL.....	135

CAPITULO 5

AN ATTENTIONAL APPROACH TO STUDY MENTAL REPRESENTATIONS OF

FINGERS AND HANDS.....141

ABSTRACT.....	143
INTRODUCTION.....	144
EXPERIMENT 1:	146
METHOD	146
RESULTS AND DISCUSSION.....	149
EXPERIMENT 2:	153
METHOD	154
RESULTS AND DISCUSSION.....	155
GENERAL DISCUSSION.....	157

CAPITULO 6

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....161

REFERENCIAS.....175

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS POR CAPÍTULOS

CAPÍTULO 1

Figura 1. En la parte izquierda de la figura se presenta el homúnculo sensorial. En la parte derecha el homúnculo motor.....30

Figura 2. En la izquierda, visión anterior del tronco en el que se observan la porción clavicular del deltoidees, formada por dos vientres musculares. A la derecha la porción espinal del deltoidees formada por cuatro vientres musculares. Imagen adaptada del libro Anatomy of the Human Body de Henry Gray.....38

CAPÍTULO 3

Figura 1. Representación gráfica de la disposición de instrumentos y personas en experimento 1 “Sin respuesta previa”77

Figura 2. Secuencia de eventos en el procedimiento experimental. Se muestra un ejemplo de un ensayo inválido, en el que el objetivo se presenta en el lugar opuesto a la señal.....79

Figura 3. Esquema de variables dependientes medidas en experimento 1.....80

Tabla 1. Promedio en las diferentes condiciones experimentales en las variables de la línea temporal (Tiempo de Contacto dividido en Tiempo de Reacción Premotor Agonista y Tiempo de Movimiento) y proceso muscular (Tiempo de Reacción Premotor antagonista dividido en Tiempo de Reacción Premotor Agonista y Tiempo Intramuscular) en experimento 1. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y lateralidad (Simon) y su nivel de significatividad estadística.....82

Figura 4. En la izquierda, media de las variables no aditivas en línea temporal (Tiempo de Reaccion Premotor Agonista + Tiempo de Movimiento) en las diferentes condiciones de correspondencia objetivo-mano de respuesta: Ipsilateral y Contralateral. A la derecha se representa el efecto Simon en el Tiempo Intramuscular del proceso muscular.....83

Figura 5. En la izquierda, media de las variables no aditivas en línea temporal (Tiempo de Reaccion Premotor Agonista + Tiempo de Movimiento) en los diferentes niveles de la variable SOA: 100 ms y 1000 ms . A la derecha se representa el efecto de la variable SOA en el Tiempo Intramuscular del proceso muscular.....84

Figura 6. Media del Tiempo de Reacción Premotor agonista (TRPAg) y Tiempo de Movimiento (TM) en la interacción SOA x Validez.....85

Tabla 2. Porcentaje de Errores de Contacto en las diferentes condiciones experimentales del experimento 1.....86

Figura 7. Esquema de variables dependientes medidas en experimento 2.....89

Tabla 3. Promedio en las diferentes condiciones experimentales en las variables de la línea temporal (Tiempo de Reacción Premotor Agonista, Tiempo de Reacción Premotor y Tiempo de Movimiento) y proceso muscular (Tiempo Intramuscular) en experimento 2. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y lateralidad (Simon) y su nivel de significatividad estadística.....91

Tabla 4. Porcentaje de errores en las diferentes condiciones experimentales en las variables de Errores Cinemáticos y Errores de Contacto en el experimento 2. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y lateralidad (Simon).....92

Tabla 5. Promedio en las diferentes condiciones experimentales en las variables de la línea temporal (Tiempo de Reacción Premotor Agonista, Tiempo de Reacción Premotor y Tiempo de Movimiento) y proceso muscular (Tiempo Intramuscular) en experimento 3. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y lateralidad (Simon) y su nivel de significatividad estadística.....96

Tabla 6. Porcentaje de errores en las diferentes condiciones experimentales en las variables de Errores Cinemáticos y Errores de Contacto en experimento 3 Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y lateralidad (Simon) y su nivel de significatividad estadística.97

Figura 8. Media del Tiempo de Reacción Premotor Agonista (TRPAg), Tiempo Intramuscular (TI) y Tiempo de Contacto (TC) en los tres experimentos analizados.....100

Figura 9. Media del Tiempo de Reacción Motor (TRM) y Tiempo de Movimiento (TM) en los experimentos 2 y 3.....101

Tabla 7. Resumen de los efectos de Facilitación, IR, Simon y Preparación en el tiempo en los tramos temporales medidos. En negrita se resatan los efectos que son significativos.....106

CAPÍTULO 4

Figura 1. Disposición de dianas y pulsadores en el experimento 1.....119

Tabla 1. TR promedio en las diferentes condiciones experimentales en el TC en la línea temporal en los experimentos 1 y 2. 1. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y tipo de movimiento y su nivel de significatividad estadística.....121

Tabla 2. TR promedio en las diferentes condiciones experimentales en las variables de la línea temporal (Tiempo de Contacto dividido en Tiempo de Reacción Premotor Agonista, Tiempo de Reacción Motor y Tiempo de Movimiento) y proceso muscular (Tiempo Intramuscular) en el experimento 1. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y tipo de movimiento y su nivel de significatividad estadística.....121

Figura 2. Efecto SOA en Tiempo de Contacto y subtramos temporales en experimento 1.....123

Figura 3. Interacción SOA x Validez en el TRPAg del experimento 1.....124

Figura 4. Efecto Tipo de Movimiento en Tiempo de Contacto y subtramos temporales en el experimento 1.....124

Tabla 3. Porcentaje de errores en las diferentes condiciones experimentales en las variables de Errores Cinemáticos y Errores de Contacto en experimento 2. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y tipo de movimiento y su nivel de significatividad estadística.....	125
Figura 5. Disposición de dianas y objetos de agarre en el experimento 2.....	128
Tabla 4. TR promedio en las diferentes condiciones experimentales en las variables de la línea temporal (Tiempo de Contacto dividido en Tiempo de Reacción Premotor Agonista, Tiempo de Reacción Motor y Tiempo de Movimiento) y proceso muscular (Tiempo Intramuscular) en el experimento 2. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y tipo de movimiento y su nivel de significatividad estadística.....	130
Figura 6. Efecto SOA en Tiempo de Contacto y subtramos temporales en experimento 2.....	131
Figura 7. Interaccion SOA x Validez en el TRPAG en el experimento 2.....	132
Figura 8. Efecto Tipo de Movimiento en Tiempo de Contacto y subtramos temporales en el experimento 2.....	133
Tabla 5. Porcentaje de errores en las diferentes condiciones experimentales en las variables de Errores Cinemáticos y Errores de Contacto en experimento 2. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y tipo de movimiento y su nivel de significatividad estadística.....	134

CAPÍTULO 5

Figure 1. Tapper locations and Schematic drawing in experiment 1.....	147
Figure 2. Intra-Area Cueing effect (Same area vs. Same Place) as a function of SOA in experiment 1.....	150
Figure 3. Inter-Area Cueing effect (Opposite area-Same area) as a function of SOA in experiment 1.....	151

Table 1. Mean RT and SD (in bracket) per experimental condition for each experiment.....	152
Figure 4. Cue above Target effect in experiment 1.....	153
Figure 5. Tapper locations in experiment 2.....	154
Figure 6. Intra-Area Cueing effect (Same area vs. Same Place) as a function of SOA in experiment 2.....	155
Figure 7. Inter-Area Cueing effect (Opposite area-Same area) as a function of SOA in experiment 2.....	157

Extended summary

The present doctoral thesis aimed at studying the interaction between attentional processes, motor responses and mental maps. In other words, the main goal of this work is to examine the relationship between motor control and attention. In the first chapter these two literatures are reviewed for the reader to be able to contextualized our object of study and the specific goals and predictions we had, which are specified in chapter 2. The series of experiments that were carried out in this dissertation are presented in three major chapters where the aforementioned relationship is analyzed at different levels. In chapter 3 we study the impact of the complexity of an initial motor action on the action itself, its influence on attentional effects such as Facilitation, Inhibition of return, and temporal preparation (i.e., foreperiod effect), as well as on rather motor effects such as the Simon effect. In chapter 4 we study the interrelation between attention and motor control by manipulating the degree of complexity of the motor action itself, i.e., its stimulus-response mapping, in order to see its impact on the size of the attentional effects (Facilitation, Inhibition of return and temporal preparation). Finally, in chapter 5, the motor control is analyzed on its most basic level, i.e., the mental representations, in order to learn more about the mental representation of different body parts in the brain.

In chapter 3, entitled “The manipulation of the initial complexity of a reaching motor action”, we study the interrelation between attention and the control of the initial movement. In the experimental task participants were asked to reach a bull’s eye located one on each side of a computer screen. Participants were to reach one of the bull’s eyes depending on the color of the target that was presented on the screen. The target was preceded by a peripheral non-predictive spatial cue in order to be able to measure spatial attentional orienting (Facilitation at the short cue-target SOA and Inhibition of return at the long SOA). Although location of the target was irrelevant (responses depended only on target color), the target was presented either to the left or to the right, in order to be able to measure the Simon effect. Our main interest was to study these attentional effects (Facilitation, IR, Simon, and the foreperiod or SOA effect) in order to see how they influence and are influenced by the initial complexity of the motor action. Three experiments were performed where we manipulated the difficulty of an initial motor action preceding the reaching action. In the first experiment, the subjects did not perform any action before the reaching action. In the second experiment, they had to

press the “z” key and the “m” key on a computer keyboard with the index fingers of both hands. In the third experiment they started each trial by pressing an extended surface with both hand. The key difference between experiment 2 and experiment 3 consisted in the use in the initial action of the same (experiment 3) or different (experiment 2) muscles as those involved in the reaching movement. In other words; the key-press action of experiment 2 is performed with the extensor muscle of the fingers whereas the reaching action is performed with the deltoids muscles. Nevertheless the hand-press and reaching actions of experiment 3 are both performed with the deltoids muscles. Our hypothesis was that the latencies would be longer when the same muscle must perform two consecutive actions because the associated sequencing process is more complex.

Furthermore, in order to study the progress of the effects in time and in muscular mechanics, we divided the overall reaction time (RT) of the reaching action (Contact Time) in several stages. On one hand, the time line consisted of Contact Time (CT; Time since the target’ appearance until participants completed the motor action), which was divided in several time segment: Agonist premotor reaction time (APT; Time since the target’ appearance until the muscle starts to burn), Motor Reaction Time (MRT; Time since the agonist muscle starts to burn until the arm starts to move) and Movement Time (MT; Time since the arm starts to move until the participant complete the action). On the other hand, we measured what we called the Intramuscular reaction time (IT; Time between the activations of the Agonist and the Antagonist muscles).

The manipulation of the initial complexity leads to shorter latencies in the final action (CT) the simpler the preceding action. The slowest CT was observed in experiment 3 where the initial action was performed with the same muscles that the reaching action, thus involving the execution of sequential actions. This result has been previously reported in literature. In 1960 Henry and Rogers performed several studies, inspired by their “memory drum” theory, in which they examined the effect of movement complexity and its influence on reaction time. They concluded that more complex movements (i.e. motor actions involving various movements and various muscles) required more time in order for the action to be initiated and executed. This is because they involve a motor program which is more complicated in complex than in

simpler movements. Even though our results in terms of CT are in line with this theory, in experiments 1 and 2 there were no differences neither in the initial action (APT) nor in the muscular process (IT). In fact, the action involved in experiment 2 is more complex because two sequential actions had to be performed as compared to experiment 1. In summary, there seem to be no significant difference in terms of action initiation between the conditions with one and two preceding movements (Franks, Nagelkerke y Van Donkelaar, 1998; Ketelaars, Garry y Franks, 1998). This is so despite the fact that the action complexity does affect the resulting CT. However, in experiment 3 the pre-motor reaction time is significantly longer in comparison with the experiments 1 and 2. This is in line with our hypothesis stating that the key-press movements does not interfere with the reaching action because different muscle groups are involved. In experiment 3, however, participants had to use the same muscles in both the reaching action and the preceding starting action. That is why the agonist pre-motor reaction time is longer in this condition than in experiment 2. This result leads to two conclusions. First, we have seen that the initial hands position may have an impact on the muscle latency. On the other hand, despite the fact that a sequential movement (experiment 2) leads to a longer CT in comparison with a simple movement (experiment 1), there are no differences in terms of action initiation (APT) between the two conditions. Therefore we can conclude that part of the motor action is programmed on-line while the movement is in progress.

Another important goal of the present study was to examine the motor vs. pre-motor nature of attentional effects such as spatial attentional orienting (facilitation and IOR), temporal preparation (i.e., the SOA effect) and the Simon effect. The IOR effect was only detected in the action initiation stage (APT) but sometimes it was counteracted by facilitative sub-effects during the motor stages, despite the fact that IOR (i.e., slower RT to cued vs. uncued locations) was not present in any of these stages. Therefore the IOR effect, as observed in the final action (CT in our experiments and RT in other studies), seems to be in fact a compound of facilitative and inhibitive sub-effects, depending on the specific time stage (Howard, Lupiáñez & Tipper, 1999) or the processing component (Lupiáñez et al., 2007) which are analyzed. Since we have not found any relationship between the IOR and the Simon effect (which is considered a rather motor effect), it can be concluded that the nature of the IOR effect is mostly pre-

motor (Chica & Lupiáñez, 2004; Howard, Lupiáñez & Tipper, 1999; Li y Lin, 2002a; Lupiáñez et al., 2001; Prime & Ward, 2004)

The facilitation effect is present however during the motor stages, even though it appears mainly and more strongly during the pre-motor stages. Therefore we may conclude that the facilitation effect has a more pronounced motor component than the IOR effect. This is in line with several studies (Tipper, Rafal, Reuterlorenz et al., 1997; Tassinari, Aglioti, Chelazzi et al., 1994; Kathoon, Briand & Sereno, 2002; Mele, Savazzi, Marzi y Berlucchi, 2008; Posner & Cohen, 1984) suggesting that both mechanisms have rather different characteristics.

The Simon effect is present in pre-motor stages of the movement (APT) in all the experiments, but also in the motor stages (MRT and MT) in experiment 3, which involves greater initial motor demands. Therefore we may conclude that the Simon effect affects stages subsequent to response selection and it can be observed during motor stages of the action, at least when the initial action complexity is increased. Hence our data from experiment 3 are not consistent with authors postulating a purely premotor nature for the Simon effect (Hommel, 1993a)

Finally, the present research also sheds new light on several aspects of the SOA or Foreperiod effect. Our goal was to see whether this temporal orienting effect was present in the motor stages of the action in order to see whether temporal orienting mechanisms take place during the early stages of information processing, being independent from the motor programming or the action control in real time. We have observed that the effect of preparation in time also appears in the MRT when the complexity of the initial action is increased in experiment 2. This is so despite the fact that it arises during the pre-motor stages of movement (pre-motor agonist reaction time). Therefore we think that when the complexity of the initial action is increased, the influence of orienting mechanisms goes beyond the early perceptual processing stages, response selection and response preparation. This result is not totally new. Bjørklund (1992) found that the motor reaction time could be influenced by the SOA. When the complexity of the action further increased in experiment 3, there was an inversion of the temporal orienting effect, in the two motor stages that were analyzed. In other words, in MRT as well as in MT the main effect of SOA reversed, so that now participants were

faster in the short SOA condition than in the long SOA condition. Therefore we can conclude that the difficulty of the initial action mainly influences the motor stages of the SOA effect. In addition, when this difficulty is raised there is an inversion of the SOA effect, most probably due to an increased need of control of the movement when the muscular activation is fast. In other words, it is possible that at the long SOA condition a greater control of response execution is necessary as a consequence of the early action initiation.

The main goal of chapter 4 is to study the interrelation between attention and motor control, in particular the last stage of the motor program (v.gr., motor programming and movement execution). Our interest was to see how the complexity of the action, as indexed by the directness of the stimulus-response mapping, affected our attentional effects. More specifically, we wanted to analyze the impact of motor complexity (i.e., directness of the action) on the effect size of facilitation, IOR and foreperiod effects. In order to do so, we carried out two experiments, comparing the bull's eye reaching action (as described in chapter 3) with two different actions of a greater complexity in movement programming and execution: an action consisting in reaching and pressing a small button, and the action of grasping a small cubicle and changing its position. We used the same temporal and muscular division used in chapter 3. We considered that the motor manipulation has an influence in the stimulus-response (S-R) mapping, so that simple movement (reaching bull's eye) has a more direct S-R mapping, and therefore bigger IOR effects were expected in this condition, according to Maylor (1985) and Pratt y Neggers (2008) results. We found that cueing effects (Facilitation and IR) were bigger when the motor complexity was lower or the movement was more direct, but only in premotor phases (APT). This is another evidence of the premotor nature of these effects. On the other hand, we can conclude that the reduction in facilitation is not the key to explain the beginning of IOR (Tipper et al., 1997), as greater IOR was observed in the condition producing also greater facilitation. One possible explanation is that the greater implication of prefrontal cortex in more controlled tasks such as those involving rather indirect S-R mapping entails tonic control of reflexive orienting structures (Khathoon et al., 2004). Therefore, the automatic effects of the signal (positive at the short SOA and negative at the long SOA) had a smaller size.

Finally we found an inversion of the SOA effect in the motor phases (MRT and MT) as in the previous chapter, in special in high motor demand tasks, the inversion being greater the more motor demanding the task. Therefore, we can confirm that this inversion of the effect arises because in the long SOA condition a greater control of response execution is necessary as a consequence of the early action initiation.

In chapter 5 we point to other aspects of motor control beyond the movement itself (movement programming and execution), such as sensory-perceptual stages that take place before motor programming: mental maps that are used to represent sensory-motor information. In the previous chapter we found attentional differences when we manipulated the motor component of the movement. In the experiments described in chapter 5 we wish to know whether similar differences could be found in the different mental representations of the body parts. For this purpose we designed two experiments to study attentional differences between the two parts that conform the motor executor of our previous chapter; the whole fingers-hand.

In order to study this dissociation we used an exogenous spatial orientation paradigm where participants had to detect a tactile stimulus that could appear on the back of their left hand or on the ring finger. The target was presented to one of the possible target locations (two locations in the finger and two locations in the hand) and preceded at either a short or a long stimulus-onset asynchronies (SOA) by a non predictive cue. The distribution of tappers in fingers and hand allowed us to make two different types of analyses. The intra-area analysis evaluated attentional effects in finger and hand separately. The inter-area analysis evaluated the same effects, i.e., facilitation and IOR, across the two adjacent areas, to see whether different effects are observed between and within areas.

The results confirm the dissociation between these two areas. At the short SOA in the interarea analysis, where facilitation is expected, the data from both experiments clearly reveals an interaction between areas regarding the attentional effects that are observed. At the short SOA facilitation was in general observed only when the cue was presented in the hand. Thus, facilitation was observed at the hand (i.e., responses were faster when cue and target were presented in the hand, than when the cue was presented in the finger and the target in the hand), whereas IOR was observed in the finger (i.e.,

responses were faster when the cue was presented in the hand and the target was presented in the finger, than when both were presented in the finger). This process provides evidence about the main role of the hand in the activation of mental representations of fingers and hands, and at the same time support the hypothesis that fingers and hands have different mental representations. If they shared the same reference frame we should find the same pattern of cueing effects. In other words, the general facilitation observed when the cue is presented in the hand altered the normal cueing effect. Further evidence for different representations for fingers and hand came from the interareas IOR effect observed at the long SOA. The same way that IOR is reliably observed between hemifields (surely supporting a role of different hemifields representations, in different cerebral hemispheres) (Weger, Al-Aidroos & Pratt, 2008) IOR was observed between finger and hand in our two experiments, thus supporting that they are represented as different areas. In this vein, Haggard (2005) showed that the hands are allocentrically represented, whereas fingers are coded somatotopically. Similarly, the studies about finger agnosia (Benton, 1959; Gerstmann, 1942, Mayer, Martory et al., 1999; Kinsbourne & Warrington, 1962; Anema, Wokswijk, Ruis and Dijkerman, 2008) conclude that fingers could have separate representations from the hand.

Finally, in Chapter 6 a general discussion of the results is presented, in the context of the discussion about the relationship between attention and motor control that is the main theme of our thesis. Also, some general conclusions are extracted, which are also provided in English.

Capítulo 1

Introducción

Como comentábamos en el prefacio, varias disciplinas científicas se han encargado de estudiar la conducta motora. Por ejemplo la física mediante la biomecánica, la química mediante la bioquímica del ejercicio, la biología mediante la fisiología del ejercicio, la sociología mediante la sociología de la motricidad. En el caso de la psicología cognitiva el control motor ha sido el encargado del estudio de la conducta motora. Esta tesis presenta una postura integradora en la que se investigan otros procesos cognitivos como la atención, que juegan un papel fundamental en la conducta motora y por tanto en el control motor. Para introducir nuestra investigación continuaremos con el ejemplo de la taza de café e iremos introduciendo los conocimientos fundamentales para entender la investigación realizada. La introducción se divide en dos grandes apartados. El primero habla de la acción motora y los mapas mentales; dos grandes campos de estudio dentro del control motor que van a ser estudiados en esta tesis. En el segundo apartado trataremos la importancia de la modulación de la atención tanto sobre la conducta motora como sobre los mapas mentales.

CONTROL MOTOR: MAPAS MENTALES Y CONDUCTA MOTORA

En este apartado trataremos los aspectos del control motor que van a ser estudiados en esta tesis; la conducta motora y los mapas mentales. Los campos de estudio dentro del control motor se podrían dividir en tres grandes apartados, siguiendo una estructura de arriba a abajo en el procesamiento de la información. En el primer estadio tendríamos los mapas mentales, y en el segundo y el tercero la programación motora inicial y la retroalimentación respectivamente. Empezaremos esta introducción describiendo los aspectos fundamentales en esta tesis sobre mapas mentales y conducta motora.

MAPAS MENTALES

El control motor se encarga de responder a cuestiones relacionadas con los diversos parámetros del movimiento; cómo se programa la acción, si hay interferencia en los programas motores, patologías del movimiento, aunque su campo de estudio no

se reduce a cuestiones meramente cinemáticas. Otro de los tópicos estudiados desde este campo son los procesos somatosensoriales. Continuando con el ejemplo del prefacio de la taza del café, si cuando la agarráramos quemará, ¿Qué parte de nuestro cerebro se encargaría de procesar esa sensación?, ¿Cómo reaccionaríamos antes, asiéndola con la mano o con los dedos? ¿Son diferentes estas áreas? ¿Cómo influye la sensación del objeto en el programa motor? El control motor también ha estudiado de forma profunda los procesos sensoriomotores encargados de responder todas estas preguntas ya que, por ejemplo, hemos de tener en cuenta que los dedos que cogen la taza no son meramente músculos que mueven palancas, sino que transmiten sensaciones que a la vez pueden variar el programa motor (Dijkerman y De Haan, 2007a, 2007b).

Penfield (1950) llevo cabo durante muchos años un meticuloso análisis de la superficie del cerebro. Descubrió que la sensación que producía la estimulación eléctrica de una región del cortex somatosensorial era indistinguible de la sensación que ocurría cuando se tocaba la parte del cuerpo representada por esa región cerebral. Cuando recibimos estimulación táctil ésta es captada por las terminaciones de los nervios sensoriales que llevan la información a la medula espinal y de ahí al cerebro, de tal manera que la sensación es solo sentida cuando alcanza el cortex somatosensorial. Si esas mismas neuronas son estimuladas por impulsos eléctricos se tendrá la misma sensación. Con la información recibida de los pacientes, Penfield refinó poco a poco el mapa cortical. Uno de sus principales descubrimientos fue que en el giro postcentral había una representación somatotópica del cuerpo, al que denominó homúnculo sensorial, que se muestra en la figura 1.

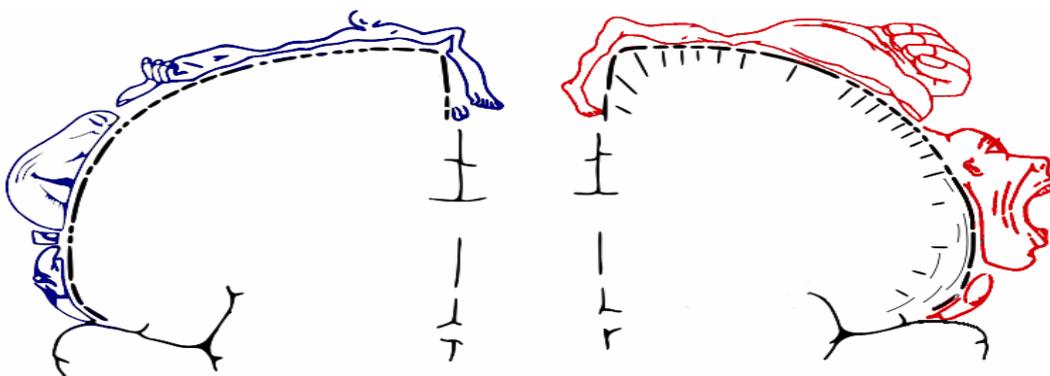


Figura 1: En la parte izquierda de la figura se presenta el homúnculo sensorial. En la parte derecha el homúnculo motor.

El mapa somatotópico sensorial se sitúa en la Corteza Somestésica Primaria formada por las áreas de Brodmann 1, 2 y 3. No obstante, este mapa no conforma la totalidad del sistema somatosensorial, ya que el sistema somatosensorial completo lo forman la corteza somatosensorial primaria y secundaria. La corteza somatosensorial primaria incluye la circunvolución postcentral y su extensión medial en el lobulo paracentral (áreas 1, 2 y 3). Recibe las proyecciones del núcleo ventral posterolateral del tálamo ordenadas somatotópicamente, es decir el homúnculo sensitivo tiene la cabeza representada en la región ventral cerca de la cisura lateral, luego el miembro superior, el tronco y el miembro inferior hacia el lobulo paracentral. El mapa somatotópico no tiene la misma representación en el cortex somatosensorial primario para todas las partes del cuerpo. Dedos y manos son una de las partes que mayor tamaño o representación tienen junto a los labios. Esta proporción se mantiene en el mapa somatotópico del cortex motor cuyas características son muy parecidas al sensorial, con la principal diferencia que dedos y manos tienen aún mayor representación (ver figura 2).

Otras áreas que conforman el sistema sensorial es el área sensitiva secundaria. Se localiza en el extremo inferior de la circunvolución postcentral. También está somatotópicamente organizada respecto a las modalidades de tacto, sentido de posición, presión y dolor. La información somatosensorial es procesada luego en áreas de asociación del lóbulo parietal superior (áreas 5 y 7) y el giro supramarginal (área 40). En estos niveles se produce la integración de la información lo que permite la percepción de la forma, textura, tamaño, y la identificación de un objeto al tocarlo con las manos. Estas áreas tienen abundantes y desarrolladas conexiones recíprocas con el pulvinar del tálamo.

Las representaciones del homúnculo sensorial que nos interesa en esta tesis son las de manos y dedos, dos zonas anatómicas sobre las que no existen muchos estudios que determinen si están representadas en el mismo mapa mental con características comunes o si tienen diferente representación mental, aunque todos concluyen que dedos y manos son dos áreas independientes con mapas mentales distintos. Dentro de estas investigaciones se podrían destacar los estudios de agnosia del dedo, en la que los pacientes con este déficit tienen dificultad para reconocer alguno de sus dedos, y

no la totalidad de éstos o la mano entera (Benton, 1959; Gerstmann, 1942, Mayer, Martory et al., 1999; Kinsbourne y Warrington, 1962; Anema et al., 2008).

Un aspecto fundamental que no se ha estudiado hasta ahora es el tipo de relación que existe entre estas estructuras (p.ej. jerárquica vs al mismo nivel). Este tipo de investigación es fundamental para rehabilitaciones neuropsicológicas de trastornos como la agnosia táctil, agnosia del dedo, miembro fantasma y en líneas generales para entender como funciona el efector de gran parte de nuestras acciones cotidianas, como es el conjunto dedos-mano.

CONDUCTA MOTORA

Como comentábamos anteriormente los mapas mentales han sido estudiados dentro del control motor, aunque si algo ha caracterizado a esta disciplina es el estudio de la conducta motora; su programación y en líneas generales los parámetros biomecánicos asociados a ella. En este apartado describiremos los aspectos fundamentales de la conducta motora que estudiaremos en esta tesis siguiendo un orden jerárquico. En primer lugar describiremos la acción motora que vamos a estudiar en los capítulos 3 y 4; la acción de alcance y agarre de objetos. En segundo lugar describiremos los músculos implicados en las acciones de alcance-agarre. Concluiremos este apartado describiendo los parámetros que determinan la complejidad de la acción que serán a posteriori una de las principales manipulaciones experimentales que realizaremos.

Acción de alcance y agarre de objetos

En nuestro ejemplo de asir una taza de café realizamos lo que denomina técnicamente una acción de agarre de objetos, que tiene unas características propias que la diferencian de otras acciones motoras estudiadas tradicionalmente en el control motor como es por ejemplo pintar, sonreír, escribir, teclear.

Las acciones de alcance y agarre han sido estudiadas a menudo conjuntamente (Rosenbaum, 1991). Ambos movimientos son manuales y presentan muchas semejanzas entre ellos, lo que ha llevado incluso a que algunos autores los traten indistintamente. Se caracterizan porque son acciones motoras programadas con respecto a una intención. Es

decir, no es igual alcanzar/agarrar un objeto para lanzarlo, que para recolocarlo en otro sitio (Marteniuk, Mackenzie, Jeannerod, Athenes y Dugas, 1987). Igualmente no es igual agarrar un objeto para conocer su textura o su temperatura (Klatzy y Lederman, 1987).

El alcance y el agarre dependen de un balance de la programación inicial y la subsiguiente corrección. La programación inicial está basada en parte en la percepción visual del objeto que va a ser alcanzado o agarrado. Basándonos en la información visual decidimos si alcanzar/agarrar el objeto con una mano o dos, y la orientación de una mano respecto a la otra (Rosenbaum, Vaughan, Barnes, et al., 1990), si todos los dedos o sólo alguno/s de ellos realizará la acción (Arbid, Iberall y Lyons, 1985). La precisión de la programación inicial depende de la precisión de la percepción visual, por lo que muchos investigadores han estudiado el alcance/agarre como parte del aprendizaje de capacidades perceptuales (Bower, 1974).

Por todo lo descrito anteriormente, el control visual se torna fundamental en este tipo de tareas. Si, por ejemplo, cerramos los ojos cuando vamos a coger un objeto, la ejecución se verá severamente perjudicada, de lo que se deduce que hay una relación muy estrecha entre la visión y el tacto. George Berkeley (filósofo del siglo dieciocho) defendía que el tacto es más fidedigno que la visión por el contacto directo con el ambiente. Se ha demostrado que esta afirmación es incorrecta ya que la visión predomina sobre el tacto (Gibson, 1933, Rock y Harris, 1967). Investigadores como Posner, Nissen y Klein (1976) mantienen que la visión captura la atención de forma menos efectiva que el tacto. Así, por ejemplo, cuando tocamos a alguien en el hombro, estamos seguros de capturar su atención; pero cuando un estudiante levanta la mano en clase, posiblemente será menos efectivo ya que el tacto provoca una mayor alerta que la visión. Estos autores mantienen que la visión es favorecida atencionalmente para compensar esa menor capacidad de alerta en relación a otras modalidades sensoriales como el tacto. Esta predominancia de la visión es crucial en acciones de alcance y agarre ya que el tiempo que tarda el feedback visual es el verdadero limitador de la ejecución de movimientos manuales. Así, si el tiempo para procesar el feedback visual es x , todos los movimientos que se produzcan por encima de ese umbral, serán defectuosos por lo que muchos investigadores se preocuparon de estimar ese umbral.

Keele y Posner (1968) delimitaron el umbral en 200 ms. Otros autores (Carlton, 1981; Zelaznik, Hawkins y Kisselburgh, 1983) postularon que ese tiempo sería menor. La conclusión general es que en ningún caso ese umbral puede ser menor a 100 ms.

Más interesantes que las semejanzas entre las acciones de alcance y agarre son las diferencias, en las que pondremos especial énfasis en este manuscrito. En primer lugar las diferencias en el control motor entre estas dos acciones se podrían resumir en dos. La primera es el mayor control en la ejecución que se necesita en la acción de agarre en líneas generales, por lo que el programa motor es mucho más elaborado y necesita de mayor feedback visual que el movimiento de alcance. Además, la acción de alcance se suele realizar con un solo dedo, mientras que la acción de agarre necesita minimamente dos dedos (pulgar e índice) y la coordinación entre ellos para realizar la “pinza” del agarre, por lo que sin lugar a dudas es una acción con una mayor complejidad en la ejecución, ya que precisa de un mayor número de elementos motores (músculos) a mover y por tanto, como vimos anteriormente, necesitará de un programa motor más complejo que la acción de alcance. Por otro lado, mientras la acción de alcance solo tiene una fase, la de agarre tiene dos; la acción de transporte y la de agarre. Durante la acción de transporte la mano es llevada hacia el objeto, mientras que en la de agarre la mano agarra el objeto. Estas dos fases parecen ser controladas por dos áreas distintas del cerebro. La lesión del tracto piramidal (fibras que van desde el cortex motor a las moto-neuronas) afecta a la fase de agarre, en tanto que la lesión del tracto extrapiramidal afecta al movimiento del brazo, incluida la fase de transporte de la mano (Kuypers, 1973). El tracto piramidal se desarrolla sólo después del tracto extrapiramidal, lo que explica por qué el control de los dedos es solo posible después de adquirir el control del brazo (Lawrence y Hopkins, 1972). Esta diferenciación provoca que el cambio del tamaño del objeto no afecta a la velocidad del brazo pero sí a la separación de los dedos cuando se acercan al objeto (Jeannerod, 1981, 1984), aunque otros estudios (Jackson, Jackson y Husain, 2000) indican que el tamaño del objeto sí puede influir en cierta medida en el Tiempo de Movimiento del brazo, ya que un objeto más pequeño requiere de un mayor feedback visual para agarrarlo. De hecho, entre las fases en la acción de agarre hay también dependencia, la máxima separación entre el pulgar y el dedo índice cuando la mano es llevada hacia el objeto depende de la velocidad de la fase de agarre. Así, cuando se dirige la mano hacia el objeto

rápidamente, la apertura de los dedos se realiza también de una forma más rápida (Wing, Turton y Fraser, 1986).

Miografía

Para entender correctamente las acciones de alcance y de agarre hay que comprender los músculos que las realizan. Siguiendo con nuestro ejemplo, cuando cogemos una taza de café, el brazo se desplaza hacia la taza mediante la acción de un programa motor que determina qué músculos son los encargados de contraerse. La programación motora se reduce en su nivel más simple a la contracción de músculos que mueven palancas (los huesos) para alcanzar los objetivos marcados. A continuación describiremos las nociones de miografía importantes para entender cómo se realiza el movimiento de alcance, que será el que estudiaremos en parte de esta tesis.

Existen dos tipos de músculos, según pertenezcan al aparato locomotor o no. El músculo con el que realizamos parte de nuestra investigación es el deltoides (ver figura 2) por lo cual nos vamos a centrar en él para explicar este apartado introductorio de miografía. Los músculos del aparato locomotor se diferencian en que son mucho más grandes que los que no pertenecen a éste, están controlados por diferentes estadios del sistema nervioso y suelen ser redondeados, cilíndricos y más o menos regulares (De la Cruz, 2000). Además, tienen una mayor irrigación que los que no son del aparato locomotor y están cargados de proteínas de manera ordenada. Los músculos que no son del aparato locomotor son músculos de carácter involuntario. Se llaman músculos de la vida vegetal, en relación con órganos y vísceras, estando cargados de fluidos móviles. Son mucho más pequeños que los del aparato locomotor, se contraen lenta y gradualmente, y se relajan lentamente en oleadas, es decir, mientras unos se contraen otros se relajan. Son fusiformes –es decir, tienen forma de huso- por lo que no son muy distintos en cuanto a morfología de los músculos del aparato locomotor. Tienen escasa irrigación y aunque también están cargados de proteínas, éstas no están ordenadas. Por ello se les llaman músculos lisos, no estriados, o fibras blancas. Es importante controlar la cercanía de estos músculos ya que si, por ejemplo, medimos la actividad electromiográfica del músculo deltoides del hombro izquierdo, puede aparecer ruido de fondo del corazón que se encuentra muy cerca.

Según su función los músculos se pueden clasificar en agonistas o antagonistas de la acción. Los músculos agonistas son los músculos que apoyan el movimiento, es decir, que van a favor de éste, su contracción va a tender a realizar un movimiento. Se clasifican en:

-Principales: son aquellos que determinan el movimiento y, sin los cuales, éste no se ejecutaría con la potencia o velocidad requerida o no se completaría. Son insustituibles. En las acciones de alcance y agarre que medimos serían los deltoides anteriores (entre otros) como se muestra en la figura 2.

-Secundarios: Son aquellos que aumentan la amplitud del movimiento, al aplicar más fuerza, es decir, que ayudan a los principales para darles más velocidad o para vencer mejor la resistencia. Son sustituibles. En las acciones de alcance y agarre sería el deltoides medio.

-Auxiliares: Son los principales o secundarios de otro movimiento, interviniendo en gesto de emergencia o en esfuerzos máximo o supramáximos. En las acciones de alcance y agarre sería por ejemplo el músculo trapecio, situado en la parte superior de la espalda.

Por otro lado, los músculos antagonistas son aquellos que se oponen o limitan el movimiento agonista. Se clasifican también en las tres categorías que hemos visto en los músculos agonistas. Es muy importante tener en cuenta que todo músculo agonista de un movimiento es antagonista de otro o viceversa. Para movimientos contrarios cambian los papeles. Por ejemplo, el deltoides anterior (parte delantera del hombro) es agonista de la anteversión (subir el brazo) y antagonista en la retroversión (mover el brazo hacia atrás).

Respecto al funcionamiento de los músculos, podemos definir varios tipos de contracción muscular. La contracción concéntrica, consistente en que el músculo genera tensión en su interior y se acorta como consecuencia de la misma. Normalmente son aquellas en las cuales se modifica la posición anatómica de partida o de reposo. En el caso de los experimentos que vamos a llevar en parte de esta tesis sería el deltoides anterior el que se contrae de forma concéntrica (ver figura 2). La contracción excéntrica

se produce cuando el músculo genera tensión en su interior pero esta tensión lo que hace es frenar, modular otra fuerza externa (la gravedad, la inercia, la contracción de otro músculo) para restablecer la posición anatómica o de reposo de ese músculo, en otras palabras; el músculo se alarga. En nuestro experimento el deltoides posterior realizaría la contracción excéntrica (ver figura 2). Habitualmente estos dos tipos de contracción están asociadas y lo apreciamos en todos los movimientos cíclicos como andar, correr, golpear, etc. Los movimientos de contracción concéntrica se hacen de forma muy segmentaria y sólo utiliza el músculo que se opone a la gravedad (deltoides anterior en nuestro experimento), mientras que normalmente en los movimientos de contracción excéntrica la creación de tensión es mucho mayor (por ejemplo bajar la pesa haciendo bíceps). Hay otro tipo de contracciones como la isométrica (no hay acortamiento de la fibra muscular) y la isotónica (el músculo genera la misma tensión en la fase concéntrica y la excéntrica).

Centrémonos ahora en el deltoides que será el músculo efector que mediremos en parte de la investigación de esta tesis. Su nombre viene a significar fuerza. Pero hace referencia más bien a la letra griega delta, ya que tiene forma de uve redondeada. Es un músculo aplanado, de aspecto redondeado, que forma el relieve del hombro (De la Cruz, 2000). Es un músculo muy externo, multigástrico, es decir, con muchos vientres musculares. En concreto consta de 7 cuerpos musculares, diferenciados tanto por su topografía como por su función.

Su origen determina las tres porciones del deltoides, que se describen a continuación:

- La porción clavicular en la cara anteroinferior del extremo externo de la clavícula (ver figura 2) Está formada básicamente por dos vientres musculares. Esta porción del deltoides es la agonista del movimiento de la elevación-flexión del brazo en el movimiento de alcance de objetos. Es decir, este músculo es el que comienza a realizar la acción y esto es determinado porque se contrae concéntricamente, es decir se “acorta”. Este es el músculo agonista de las acciones de alcance y agarre de objetos que estudiaremos. Para colocar los electrodos y medir su actividad, hay que realizar una maniobra de producción de fuerza isométrica que combina la flexión y la aducción de

brazo en extensión (Gribble y Ostra 1998, 1999) siguiendo las orientaciones de Cram y Pasma (1998).

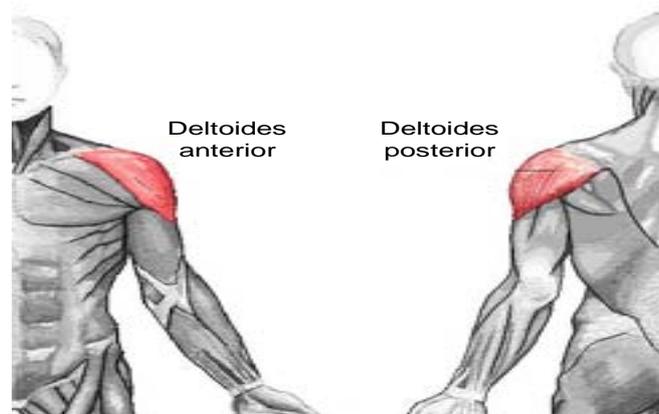


Figura 2. En la izquierda, visión anterior del tronco en el que se observan la porción clavicular del deltoides, formada por dos vientres musculares. A la derecha la porción espinal del deltoides formada por cuatro vientres musculares. Imagen adaptada del libro Anatomy of the Human Body de Henry Gray.

-Porción espinal: Esta porción ocupa toda la espina del omoplato, excepto en su parte más vertebral. Está formada por cuatro vientres musculares que son los que determinan las máximas funciones del deltoides. Se observa si le damos la vuelta al acromio. Este músculo presentó muchas dificultades para la colocación de los electrodos, dificultad que se solventó con el estudio anatómico de cadáveres para ver cuál era la mejor localización, y se concluyó que lo mejor era establecer una diagonal de 300° respecto al 60% de la porción espinal del omoplato (desde el acromio). Este es el músculo antagonista de la acción, es decir sus fibras se extienden para “retener” la acción del músculo agonista en acciones controladas o semibalísticas.

-La porción acromial, en el acromión, es sólo un vientre muscular. Se observa si vemos al deltoides de lado. Hay que destacar que es un solo vientre pero suele ser muy voluminoso; de ahí que sea esta porción la que da la forma redondeada al hombro.. Esta parte del músculo no es importante en nuestras investigaciones.

Respecto a la inserción es importante comentar que todos los vientres musculares van a confluir en la cara lateral externa del tercio medio del húmero. Se disponen para formar un tendón muy corto y muy fuerte.

Hasta ahora hemos hecho una aproximación descriptiva del deltoides, pero la anteversión no es una acción propia de un músculo en concreto. El movimiento agonista-antagonista del deltoides se enmarca dentro de una cadena cinética más compleja que describiré a continuación. En un primer momento el movimiento empieza por la contracción del pectoral como agonista y dorsal como antagonista. El segundo estadio de la cadena cinemática lo conforman el deltoides anterior como agonista y su porción posterior como antagonista. Finalmente el bíceps y el tríceps actúan en el tercer estadio de la cadena cinética (como agonista y antagonista respectivamente). De los tres agonistas esenciales, el pectoral mayor es, en estado de reposo, el que posee mejores condiciones mecánicas para actuar; los otros dos presentan una acción laxante secundaria, debido a la dirección casi vertical de su tracción. Así, debe ser el pectoral mayor quien inicie el movimiento, ajustando de esta forma los “movimientos” de los otros dos músculos para que su acción sea práctica y efectiva. Nosotros medimos la actividad en el deltoides anterior, ya que la colocación de los electrodos se torna más sencilla, que el uso del pectoral y dorsal, ya que aunque sean los primeros músculos en actuar en la cadena cinética, presentan la desventaja de la colocación de los electrodos en el pectoral en la población femenina. La entrada en acción de esta triada agonista presupone la intervención simultánea de un grupo numeroso de sinergistas que son los encargados de estabilizar el movimiento.

Cómo últimas consideraciones del deltoides se ha de comentar que es un músculo largo, por lo que tendremos que tener en cuenta que cruza varias articulaciones y habrá que ser especialmente cuidadoso con la colocación de los electrodos ya que las articulaciones se deben encontrar en posición anatómica o de reposo para no contraer el músculo.

El origen de un músculo es aquel punto que queda quieto cuando el músculo realiza una contracción. Como hemos comentado anteriormente, es muy importante colocar los electrodos en los vientres musculares, es decir, en la mitad del músculo, evitando el origen y la inserción ya que el registro es menos nítido a la vez que puede medirse la actividad de músculos colindantes.

Una vez que hemos descrito las nociones básicas musculares importantes para esta tesis, y continuando con nuestro ejemplo de la taza de café, la preguntas que nos

haríamos en este punto, es ¿Cómo programamos la acción de los músculos para asir la taza?, ¿Qué factores influyen en esa programación motora? Por una parte los conocimientos de neuroanatomía proveen un basto conocimiento sobre el cómo programamos. La actividad de las neuronas motoras es coordinada por circuitos neuronales dentro de la medula espinal y el tronco cerebral que modula los reflejos sensoriales y sustenta los movimientos complejos. Las neuronas motoras de la medula espinal y tronco cerebral están bajo el control de las neuronas motoras del cortex cerebral. Las neuronas de estas estructuras programan el movimiento via descendente. Así, estos centros están encargados de planificar, coordinar e iniciar una secuencia compleja de movimiento. Circuitos adicionales de los ganglios basales y cerebelo modulan estas señales adaptando los movimientos a los cambios del ambiente. Contestando a la segunda pregunta ¿Qué factores influyen en la programación motora?, tenemos que decir que hay bastante consenso es estimar que el factor principal que determina el programa motor es la complejidad, tanto la perceptual como la motora, que serán descritas en el siguiente apartado

Complejidad motora en el movimiento

Hasta ahora hemos descrito la acción motora que vamos a estudiar en parte de esta tesis, pero no hemos hablado de los factores que determinan la complejidad de esta acción. Ya que la programación de un movimiento como el de alcance o agarre no conlleva *per se* una gran demanda cognitiva o motora, lo que dificulta la acción es el contexto, los objetos que rodean al estímulo objetivo, el posicionamiento inicial del miembro efector... En este apartado veremos cuales son los grandes condicionantes de la conducta motora, a posteriori una de las manipulaciones experimentales que utilizaremos.

Los factores que determinan la complejidad del movimiento se pueden dividir en dos grandes grupos: la complejidad del movimiento basada en aspectos perceptivos y procesamiento de la información, y la complejidad del movimiento basada en la dificultad de su ejecución.

Hay muchas clasificaciones de la complejidad motora basadas en aspectos perceptivos y de procesamiento de la información. Estos factores que modulan la

dificultad de la tarea se pueden clasificar siguiendo distintas premisas, de las que describiremos aquí las más importantes siguiendo el libro de Oña, Martínez, Moreno y Ruiz (1999). En primer lugar tendríamos las condiciones del entorno. Según Knapp (1989) podemos dividir la conducta motora en dos categorías. La primera serían tareas predominantemente perceptivas y la segunda, predominantemente habituales. En tareas predominantemente perceptivas el individuo está mediatizado en su ejecución motriz por los cambios situacionales que se produzcan en el entorno (actividades deportivas como el fútbol se englobaría dentro de esta categoría). Por el contrario tareas como escribir con el ordenador son predominantemente habituales, ya que las condiciones del entorno son las mismas. La segunda clasificación atendería a la movilización de objetos. Así, Fitts (1975) propuso un sistema para analizar la complejidad de la conducta motriz atendiendo al objeto: Persona y objetos inicialmente estáticos, persona estática y objeto en movimiento, persona en movimiento y objeto estático, y persona y objeto en movimiento. La clasificación de Higging (1977) utiliza los conceptos espacio-tiempo introduciendo el concepto de incertidumbre espacial y temporal, clasificando la complejidad motriz en tareas sin grandes condicionamientos espaciales ni temporales (p.ej., escribir en el teclado del ordenador), conductas motoras con predominio de los condicionamientos del espacio sobre los temporales (p.ej., salida en barra fija), conductas motoras en la que predominan los condicionamientos del tiempo (p.ej., tareas donde se manipula la preparación de la atención en el tiempo, como en la salida de los 100 metros lisos) y conductas con grandes condicionamientos espaciales y temporales (p.ej., entrada a canasta en baloncesto sorteando los contrincantes).

Para nosotros una de las clasificaciones de la complejidad motora basada en aspectos perceptivos más interesante es la que realizó Billing (1980). En ella señala el grado de dificultad perceptiva en referencia al nivel de estimulación de acuerdo a los siguientes factores: Número de estímulos a los que hay que atender, número de estímulos que se encuentran presentes, la velocidad y la duración del estímulo, la intensidad del estímulo, y la extensión el la que el estímulo puede ser conflictivo o difuso.

Por otra parte hemos de tener en cuenta los factores que determinan la complejidad del movimiento basada en la dificultad de su ejecución. Se pueden

clasificar en factores cualitativos y cuantitativos de la ejecución del movimiento. Los factores cuantitativos de la ejecución del movimiento son el biotipo, el número de y composición de fibras musculares implicadas, el tiempo de reacción, etc. Estas características no son, básicamente, susceptibles de mejora.

Los aspectos cualitativos hacen referencia al número de músculos o grupos musculares implicados, la estructura del movimiento, la velocidad de ejecución requerida y la precisión requerida de la ejecución. El número de músculos implicados determina la complejidad en la ejecución ya que cuando un movimiento implique un mayor número de músculos será más complejo, diferenciándose la conductas motoras en globales (conducción de un vehículo) o finas (una tarea de alcance de objetos). La estructura del movimiento se define como la organización jerárquica que implica la movilización de unos músculos concretos en un orden secuencial determinado y con una cierta intensidad, diferenciándose las conductas motoras en (Singer, 1980) discretas (conducta motora con un principio y fin determinado), seriadas (varias conductas motoras discretas unidas) y continuas (igual que las seriadas, pero sin un final determinado; por ejemplo, ciclismo). En cuanto a la velocidad y la precisión, la complejidad motora en la ejecución será mayor cuanto mayor velocidad y precisión se requiera.

Para hablar de complejidad motora en la ejecución, tenemos que hablar de la teoría del “memory drum” (Henry y Rogers, 1960), la cual mantiene que los modelos de coordinación neuromotora o programas motores son almacenados en los niveles más altos del sistema nervioso central. La teoría del “memory drum” es tan importante en el control motor como la ley de Fitts's (1954), o la teoría de los esquemas motores de Schmidt (1975). Se investigó la naturaleza específica de los movimientos y cómo las diferencias en complejidad podían afectar al tiempo de reacción, concluyendo que los movimientos más complejos requerirán más tiempo para iniciarse, ya que un programa más complejo debe de ser puesto en marcha. Así, el Tiempo de Reacción aumentará en función de la complejidad del movimiento. Dentro de la teoría del “memory drum” merecen especial atención los estudios de secuencias de movimientos y en especial las manipulaciones del tiempo entre ellos (Fishman, 1984; Canic y Franks, 1989, Van Donkelaar y Franks, 1991). Franks et al., (1998) llegaron a la conclusión general de que

la programación de la secuencia de movimientos complejos es más lenta que la de simples, excepto cuando se pausa el movimiento más complejo por encima de un umbral temporal, causando la programación durante la programación de la segunda parte de la secuencia de movimiento.

ATENCIÓN COMO MODULADORA DEL CONTROL MOTOR

En este apartado exponemos el papel crucial que juega la atención en el control motor, actuando como moduladora de la conducta motora y los mapas mentales.

ATENCIÓN SELECTIVA Y CONDUCTA MOTORA

Revisando la literatura (véanse revisiones de LaBerge, 1995; Parasuraman y Davies, 1984; Pashler, 1997) podemos observar que son muchas y muy diferentes las concepciones del término “atención” y “proceso atencional”, con lo que plantear una única definición resulta tarea ardua si pretendemos que ésta contemple todas sus características funcionales. En un intento de clarificar y organizar teóricamente tanta diversidad de concepciones sobre el término atención, Posner y colaboradores propusieron una teoría integradora (Posner y Petersen, 1990; Posner y Rothbart, 1991) que defiende que tal variedad de manifestaciones de la atención está producida por la existencia de distintos subsistemas atencionales que estarían relacionados entre sí. Así, para ellos la atención es un sistema modular compuesto por tres redes: una Red Anterior o de Control Ejecutivo, una Red de Vigilancia o Alerta y una Red Atencional Posterior o de Orientación. Cada una de estas redes estaría encargada de funciones atencionales distintas, aunque, a su vez, las redes estarían interconectadas entre sí, dando de esta forma lugar al comportamiento coordinado y armónico. El modelo otorga un papel especial a la red anterior, que tendría capacidad de modular a las otras dos redes a través del desarrollo de estrategias, cuando las condiciones de la tarea así lo requieran.

La Red Atencional Anterior o de control ejecutivo se encargaría de ejercer un control voluntario sobre el procesamiento ante situaciones que requieren algún tipo de planificación, desarrollo de estrategias, resolución de conflicto entre estímulos o diferentes opciones de respuesta, o situaciones que impliquen la generación de una respuesta novedosa. Además, se ha constatado una relación muy estrecha entre esta red

y los procesos de detección consciente de los estímulos (Posner y Rothbart, 1992), así como con procesos de memoria (Posner y Dehaene, 1994).

La Red Atencional de Vigilancia o Alerta, estaría implicada en el mantenimiento de un estado preparatorio o de “arousal” general mínimo, necesario para el funcionamiento del sistema en general. Aunque hay estudios que enfatizan la función tónica o duradera del estado de alerta en tareas de vigilancia, también se atribuye a esta red la función de alerta fásica o de corta duración producida por la presentación de señales de aviso que anuncian la inminente llegada de un estímulo. Se suele encontrar que aunque estas señales inespecíficas no informan del lugar o identidad del estímulo objetivo, somos más rápidos en responder a éste ante señales de alerta que en ausencia de ellas.

La Red Atencional Posterior o de Orientación participaría en la orientación de la atención hacia un lugar en el espacio donde aparece un estímulo potencialmente relevante bien porque posee propiedades únicas, es novedoso, o porque aparece de manera abrupta en la escena visual.

Por tanto y de acuerdo con esta teoría podemos definir la atención como un mecanismo central de capacidad limitada cuya función primordial es controlar y orientar la actividad consciente del organismo de acuerdo a un objetivo determinado (Tudela, 1992). Así, la atención actuaría sobre los diferentes sistemas de procesamiento, perceptuales, motores, de memoria, pensamiento, etc. y estaría íntimamente relacionada con los sistemas de activación emocional y motivacional. En esta tesis estudiaremos la forma como la atención influye en los sistemas perceptuales y motores tanto en el espacio (orientación espacial) como en el tiempo (preparación temporal).

La orientación de la atención en el espacio se refiere a cómo la atención se orienta hacia estímulos o lugares que son potencialmente relevantes para el comportamiento, por tanto su estudio es fundamental en la conducta motora, ya que es indispensable para el correcto desarrollo de ésta, tanto para atender a los estímulos relevantes, como hemos dicho anteriormente, como para inhibir estímulos irrelevantes. Podremos orientar nuestra atención, alineándola con la orientación de los receptores (p.ej; disparar con un arco), aunque también podremos disociar la atención de la

orientación de los receptores (p.ej; recordemos los pases de Magic Johnson a sus compañeros mirando hacia otro lado). A estos dos tipos de atención se les ha llamado atención abierta y encubierta.

Para el estudio de la atención se ha utilizado varios procedimientos, siendo quizá el paradigma de Costes y Beneficios de Posner y colaboradores (Posner, 1978; 1980; Posner, Nissen y Odien, 1978) el más usado en el estudio de la orientación atencional, que por su simplicidad será el que se use en esta tesis.

En la versión de este paradigma para medir la atención exógena, los participantes deben identificar un estímulo visual que aparece en la pantalla del ordenador, a la izquierda o a la derecha del punto de fijación. Mediante una respuesta arbitraria, como presionar una de dos teclas (en el caso de los experimentos de este trabajo, tocar una de dos dianas) el participante debe indicar qué estímulo se ha presentado. Este estímulo es un punto luminoso y se denomina “target” u objetivo. En los estudios sobre atención exógena, como el que presentamos en este trabajo, previamente a la aparición del objetivo, se presenta una señal visual en uno de los marcadores de posición que se encuentran a derecha e izquierda del punto de fijación (p.ej., un incremento en la luminancia y el perímetro de uno de los marcadores), que hace de señal de orientación. Trascurrido un intervalo de tiempo del orden de varios cientos de milisegundos desde la aparición del destello del marco, se presenta el objetivo a detectar. Para asegurar que el efecto se debe a la orientación exclusiva de la atención y no de los receptores (atención encubierta), el tiempo entre la señal y el estímulo debe ser inferior a 250 ms, que es el tiempo aproximado necesario para realizar un movimiento sacádico. En el caso de señales exógenas, cuando transcurre poco tiempo entre la señal y el objetivo los individuos son más rápidos cuando el objetivo aparece en la misma posición que la señal, efecto conocido como Facilitación. No obstante, cuando el tiempo entre la presentación de la señal y el target (asincronía entre comienzo de estímulos; SOA, en inglés, de Stimulus Onset Asynchrony) es mayor, del efecto se invierte dando lugar al efecto conocido como Inhibición de Retorno que consiste en mayores latencias cuando la señal y el estímulo objetivo aparecen en el mismo sitio en comparación a cuando se presentan en sitios distintos (véase Klein, 2000, o Lupiáñez, Rueda y Tudela, 1999, para una revisión sobre este fenómeno).

Además de señales exógenas, como las que hemos descrito en la ejemplificación del paradigma de costes y beneficios ya que en esta tesis nos centraremos en el estudio de la atención exógena, se pueden utilizar señales endógenas (por ejemplo una flecha en el mismo lugar del punto de fijación). Este tipo de señal es conocido como señal central. Esta señal no proporciona información directa sobre la aparición del objetivo sino que es simbólica. Es decir, para que produzca algún efecto de orientación espacial, la señal debe ser procesada, interpretada, y de esa manera la atención debe dirigirse hacia el lugar señalado. La presentación de una señal exógena o endógena activa dos sistemas atencionales distintos; las señales periféricas activan la red atencional posterior y las señales centrales el sistema atencional anterior, habiéndose encontrado diferencias sustanciales en los procesos que desencadenan una señal u otra.

Dentro del sistema de orientación exógena, una cuestión muy interesante, que será central en esta tesis, es la naturaleza de los efectos de facilitación e IR. Hay dos grandes teorías explicativas de la IR. La primera hipótesis sobre la naturaleza de la IR mantiene que ésta es un mecanismo de carácter más general y robusto que actuaría en estadios perceptivos de la información, anteriores por tanto, a la respuesta motora. La presencia de IR en tareas de discriminación (donde es más importante el componente perceptual que el motor para la realización de la tarea, Lupiáñez et al., 1997; Pratt et al., 1997) se ha interpretado como una prueba de que son procesos perceptivo-atencionales los que juegan un papel importante en la IR, más que otros procesos relacionados con la programación y ejecución de respuestas. Es más, en muchos de estos estudios con tarea de discriminación, se ha observado el efecto de IOR no sólo como un mayor TR en el lugar señalado, sino también como un mayor porcentaje de errores (Lupiáñez et al., 1997; Lupiáñez, Milliken, Solano, Weaver y Tipper; 2001, Pérez-Dueñas, Acosta, Lupiáñez, en prensa). Handy, Jha, y Mangun (1999) analizaron sus datos mediante la teoría de detección de señales y observaron que la IOR va acompañada de una disminución en la sensibilidad perceptual en la posición señalada. En su estudio presentaban una señal periférica, y una máscara tras el estímulo objetivo. Encontraron que cuando el SOA era corto, el porcentaje de errores disminuía y la d' aumentaba en la posición señalada. Sin embargo, cuando el SOA era largo, el porcentaje de errores aumentaba y la d' disminuía en esa misma posición señalada. Es decir, la IR producía un empeoramiento del procesamiento perceptual de la posición no señalada.

Por otro lado, Prime y Ward (2004) también estuvieron interesados en estudiar si la IR tenía un componente perceptual o motor, realizando un estudio de potenciales evocados. Para ello utilizaron una señal periférica, seguida de un estímulo que había que discriminar, y estudiando la amplitud de componentes tempranos (P1 y N1), como del componente motor lateralizado relacionado con la respuesta (LRP)). Este componente es una medida de la actividad generada en el cortex motor en la selección y preparación de respuesta, por lo que la latencia de la aparición de este componente respecto al estímulo objetivo se relaciona con el estadio de selección de respuesta (Se denomina LRP anclado al target). Mientras que el intervalo que transcurre entre la aparición del potencial hasta la respuesta (LRP anclado a la respuesta) nos indica la latencia de los procesos de planificación y ejecución de respuesta. La lógica que subyace a este estudio es que si la IR consiste en la inhibición de movimientos hacia una posición que previamente se ha atendido, el intervalo entre el anclado a la respuesta y la aparición de la respuesta deberá ser más largo en los ensayos señalados que en los no señalados. Pero, si la IR se debe a la inhibición de procesos anteriores a la programación de la respuesta, el LRP “anclado al target” deberá aparecer más tardíamente en los ensayos señalados. Los resultados de esta investigación mostraron que los componentes tempranos de los potenciales evocados (P1 y N1), relacionados con el análisis perceptual del estímulo objetivo, se reducían en los ensayos señalados. Además, mientras que la aparición del LRP “anclado a la repuesta” era similar en los ensayos señalados y no señalados, el LRP “anclado al target” aparecía más tardíamente en los ensayos señalados. Es decir, estos datos indican que la IR tiene más relación con procesos perceptuales que con procesos de inhibición motora.

Tian y Yao (2008) encontraron resultados en esta línea usando una tarea Go/Nogo. Estudiaron los componentes tempranos (P1, N1) y posteriores (Go/Nogo N2 y P3) de los potenciales evocados. Los resultados indicaron que el componente Nogo-N2 fue más pequeño y temprano en los ensayos validos respecto a los inválidos, sugiriendo este resultado como una evidencia de que un componente tardío de la IR fue modulado por la inhibición de la preparación de respuesta. Por otra parte, el componente Nogo-P3 fue más grande y posterior en ensayos validos que en inválidos indicando que el control del sistema no ejerció una inhibición en las localizaciones señaladas. Estos datos significan que la Inhibición de Retorno es un mecanismo de inhibición sensorial y de

preparación de respuesta, es decir actúa en estadios premotores, no afectando a la conducta motora.

La naturaleza de la IR ha sido también estudiada manipulando el componente motor en la ejecución del movimiento concluyendo mayoritariamente que la IR tiene un mayor componente perceptual. Autores como Maylor (1985) y Pratt y Neggers (2008) estudiaron las diferencias en los efectos de Facilitación e IR en respuestas manuales y sacádicas concluyendo que los efectos de facilitación son los mismos en ambos movimientos, aunque se produce una mayor IR en movimientos sacádicos, cuyo mapping estímulo-respuesta es más directo. Esto apoyaría el hecho de que la IR tiene un mayor componente perceptual. En esta línea, Reuter-Lorenz, Jha y Rosenquist (1996) y Briand, Larrison y Sereno (2000) no encontraron diferencias en la IR al comparar estos movimientos (sacádico y manual), lo que también apoya que el componente motor no tiene influencia en el efecto de IR.

La segunda hipótesis sobre IR es la defendida por autores como Taylor y Klein (1998), que mantienen que la IR es un sesgo de respuesta para no responder a objetivos que aparecen en localizaciones señaladas. Hay mucha evidencia a favor de la implicación de los procesos motores en la IR. Por ejemplo, Rafal, Calabresi, Brennan y Sciolto (1989) propusieron que las señales exógenas producían IR aunque no se realizase o incluso prepare un movimiento ocular ya que estas señales pueden programar un movimiento sacádico de manera involuntaria. Sin embargo, esto no ocurría con las señales centrales, siendo necesario preparar o realizar un movimiento ocular para observar IR. Otra prueba a favor de la relación entre los movimientos oculares y la IR proviene de los experimentos de Posner, Rafal, Choate y Vaughan, (1985). En ellos aparecía una señal periférica seguida de una señal central (que supuestamente reorienta la atención al centro). Posteriormente aparecían dos estímulos objetivo (uno en la posición señalada y otro en la no señalada). Los participantes tenían que realizar un movimiento sacádico al estímulo que les resultara más cómodo. Los resultados indican que los participantes realizaban más movimientos al lugar no señalado. Sin embargo, cuando se pedía a los participantes que realizaran un juicio de qué estímulo se presentó primero, no se encontró una tendencia a decir que se había presentado primero el estímulo de la posición no señalada, en otras palabras, la IR no parecía afectar a los

juicios de orden temporal. En esta línea, Li y Lin (2002b) usando también una tarea de este tipo, observando que cuando el SOA era mayor de 100 ms y se pedía a los participantes que realizasen un movimiento ocular hacia el estímulo que se presentó primero, los participantes realizaban más movimientos hacia el estímulo de la posición no señalada. Esto significa que se puede observar IR en una tarea de juicios de orden temporal, pero únicamente cuando se pide a los participantes que realicen un movimiento ocular, lo que puede ser entendido como una evidencia a favor del componente motor de la IR.

Desde otra perspectiva diferente se estudiado la interrelación de la IR con el efecto Simon como una forma de investigar los componentes motores de la IR, dado que el Simon se considera un efecto motor o premotor (de selección de respuesta). Introduzcamos el efecto Simon para pasar luego a describir la relación descrita en la literatura de estos dos efectos.

El efecto Simon (Simon, 1969; Hommel, 1995), consiste en la tendencia automática a responder ipsilateralmente al lugar de estimulación, esto es, si un estímulo aparece en el campo visual izquierdo se activa automáticamente la respuesta izquierda, aún siendo la localización del estímulo irrelevante para resolver la tarea. Por ejemplo: si sale un círculo rojo a la izquierda, y el color rojo le indica al sujeto que debe responder con la mano derecha, éste deberá de controlar su tendencia automática a dar la respuesta izquierda, y se producirá un mayor tiempo en la respuesta o una mayor probabilidad de error. La explicación de este efecto es que hay un conflicto en el procesamiento de la información visual codificando dos estímulos con la respuesta. Por una parte, un estímulo es la localización espacial del objeto y, por otro, el significado que tenga ese objeto en la tarea. El significado es el realmente importante y la localización es irrelevante, por tanto se deberá de suprimir (la localización) para conseguir que el objetivo de la tarea tenga éxito. Cuando localización espacial y significado de la tarea (respuesta asignada al target presentado) coinciden las latencias son menores, ya que el sujeto no debe de inhibir la representación espacial del estímulo. Esta hipótesis es afín a la hipótesis de dos vías paralelas de selección de respuesta (Hommel 1997) en la que la primera vía procesa la información relevante para la ejecución de la tarea (esta vía sería

indirecta), y la otra procesa la localización espacial del objetivo (vía directa) que es irrelevante para la tarea.

Otras investigaciones han estudiado el efecto Simon como un indicador de déficits neuronales como el síndrome de touret (Georgiour, Bradhaw, Phillips, Bradshaw y Chiu, 1995), o el parkinson (Fielding, Georgiou-Karistianis, Bradshaw, Millist, White, 2005). También ha sido utilizado por múltiples enfoques atencionales para dar consistencia a su teoría. Por ejemplo, Hommel (1993b), evalúa una aproximación intencional, en lugar de atencional, al efecto Simon, explicando el efecto en términos de acción.

La naturaleza de este efecto, ha sido ampliamente discutida en la literatura. Hommel (1993a) mantiene que el efecto Simon está modulado por factores atencionales, postulando que este mecanismo se da en la fase de percepción del estímulo. Otros autores como Rowarski y Proctor (2003) encontraron que no había efectos atencionales sobre el efecto Simon, pero en líneas generales parece que la naturaleza de este efecto se vincula con la activación automática de respuestas a partir del procesamiento preferencial de los atributos más evidentes del objetivo, en este caso, su localización espacial, respecto a los más demandantes de recursos perceptivos para la tarea (discriminación de color, texto, orientación,...). Por tanto el estudio de este efecto motor es una herramienta fundamental para el estudio de la atención y el control motor, máxime si tenemos en cuenta su relación con el efecto atencional de IR

La relación entre el efecto Simon y la IR ha sido estudiada para aportar evidencias a cerca de la naturaleza de ambos efectos, ya que como hemos indicado anteriormente la independencia del efecto Simon de factores moduladores de la ejecución de la respuesta hace que este mecanismo se relacione con los fenómenos de selección de respuesta (Lu y Proctor, 1995). Si como muestran los resultados de trabajos como los de Abrams y Dobkin (1994); Fuentes, Vivas y Humphreys (1999) o Ivanoff y Klein (2001), la IR es el resultado de procesos de selección de respuesta, de acuerdo a la lógica de los procesos aditivos (Sternberg, 1969), debería de observarse una interacción entre la IR y el efecto Simon. Ivanoff y Klein (2001) estudiaron la interacción de la IR con la presencia de un efector no-respondiente. Su punto de partida fue el siguiente; la posición espacial de un estímulo no afecta al TR cuando se responde solamente con una

mano. Sin embargo, cuando la otra mano se coloca en el teclado, el efecto Simon aumenta de manera significativa. Por tanto, si la IR interactúa con la presencia de un efector no respondiente, sería una prueba a favor de que la IR afecta a procesos motores. Siguiendo esta lógica, Ivanoff y Klein (2001) realizaron un experimento en el que se presentaba una señal seguida de un estímulo go o no-go. En un bloque la mano que no respondía estaba lejos del teclado, debajo de la mesa, mientras que en el otro bloque los participantes debían colocar la mano de no respuesta sobre el teclado. Encontraron que los efectos de compatibilidad E-R sólo aparecían cuando la mano respondiente se encontraba en el teclado. Por otro lado, la IR era mayor en este bloque que en el bloque en el que la mano estaba lejos del teclado. Es decir, que la IR interactuaba con la presencia del efector no-respondiente. Este resultado apoya la idea de que la IR afecta a componentes motores, ya que comparte al menos algún mecanismo con un efecto como el Simon, considerado de naturaleza motora.

Otra evidencia que pone en duda la relación entre la IR y el efecto Simon es la que proviene del estudio realizado por Abrahamse, Rob, Van der Lubbe (2008) que encontraron una interacción entre Simon y orientación atencional pero sólo con señales de orientación endógena. Así, contradiciendo la hipótesis enunciada anteriormente, numerosos estudios han descartado la interacción entre ambos mecanismos (Lupiáñez et al., 1997; Lupiáñez y Milliken, 1999; Lupiáñez y Solano, 1998; Pratt et al., 1997). Sólo los estudios de Lupiáñez et al., (1997) en la condición de SOA de 1000 ms, y Fuentes, Vivas, de Labra, Valle-Inclán y Alonso (2002) informaron de una interacción significativa entre la IR y el efecto Simon, similares a los resultados de Pratt et al., (1997). En ambos estudios la interacción indicaba un mayor efecto Simon en los ensayos señalados respecto a los no señalados. Posteriormente, Ivanoff, Klein y Lupiáñez (2002) trataron de profundizar en el estudio de esta interacción mediante un metaanálisis de 6 trabajos donde se manipulaban distintos tipos de tareas y SOAs. Los resultados de este trabajo muestran una clara interacción entre la IR y el efecto Simon (el efecto Simon duplica su magnitud en los ensayos señalados) que parece apoyar la hipótesis de que ambos mecanismos se originan si no completamente al menos en parte en una misma fase de procesamiento: la selección de respuesta. Estos resultados fueron replicados por Huertas (2005)

ORIENTACIÓN DE LA ATENCIÓN EN EL TIEMPO Y CONDUCTA

MOTORA

A parte de la orientación de la atención en el espacio, la orientación de la atención en el tiempo es fundamental dentro del control para la acción, ya que determinará el momento exacto para el inicio de ésta. El “*timing*” es fundamental en la realización de una secuencia motora y como apuntábamos anteriormente, un error en determinar el inicio de la secuencia motora puede acarrear la falta de eficacia de ésta. Los orígenes de los estudios de la atención en el tiempo se remontan a la mitad del siglo XX. Los resultados de los estudios de orientación atencional manifestaban que los participantes eran sensibles a regularidades temporales que se manifestaban en expectativas temporales que mejoraban sus tiempos de reacción. Por ejemplo, en la prueba de 60 metros lisos de atletismo, imagine que sabemos que el juez de salidas siempre emplea el mismo intervalo de tiempo entre la voz de “¡listos!” y el disparo de salida. Si sabemos que este juez dará la salida de nuestra prueba y que la velocidad de reacción es clave en esta modalidad deportiva, una parte importante del entrenamiento se centrará en el ensayo de la puesta de acción, dado que sabremos el intervalo de tiempo que transcurrirá entre esos estímulos e intentaremos estar preparados al máximo para responder ante la voz de “listos”, ya que tenemos una expectativa temporal (Huertas, 2005). La generación de expectativas provoca una mejora en las latencias y precisión (véase revisión de Niemi y Naätänen, 1981) cuando hay un mayor tiempo para la preparación ,

Estudios más recientes como el de Coull y Nobre (1998) estudiaron como los sujetos utilizan la información que tienen sobre la duración de los intervalos de tiempo para dirigir su atención visual. Por tanto, los resultados de estas investigaciones concluyen que las personas pueden asignar y dirigir sus recursos atencionales hacia un momento concreto en el tiempo. Nosotros estudiaremos estos procesos mediante el estudio del efecto de Foreperiod o efecto de SOA (Niemi y Naätänen, 1981), que se explica por procesos de cómputo de probabilidades de aparición del target, que se usan en la preparación y repararación temporal: si el target aparece siempre (es decir, no hay *catch trials*), y se manipulan varios SOAs de forma aleatoria dentro del mismo bloque, conforme más tiempo pasa más probable es que aparezca el target. De esta

forma, cuando se llega al SOA más largo, la probabilidad es del 100%. Este efecto se relaciona con la orientación temporal de la atención o la generación de expectativas, causadas por la una señal de aviso (en nuestro caso la cue espacial). Esto significa que cuando el sujeto tiene más tiempo para preparar su respuesta en los ensayos con SOA largo es más rápido. En nuestros estudios, como usaremos sólo dos SOAs, uno de 100 y otro de 1000 ms, cuando el individuo observa que no aparece el target en los 100 primeros milisegundos, incrementa su nivel de activación ya que sabe que la aparición del target se va a producir a los 1000 ms, especialmente cuando el objetivo se presenta en todos los ensayos como es también nuestro caso.

La naturaleza de este efecto también ha sido estudiada. Los estudios iniciales de potenciales evocados mostraron una modulación de componentes relacionados con preparación motora pero no con preparación perceptual (Griffin, Miniussi y Nobre, 2002; Miniussi, Wilding, Coull y Nobre, 1999). Además, los estudios con técnicas de neuroimagen revelan activaciones de áreas relacionadas con procesamiento motor tales como el Área Premotora (Coull, Frith, Büchel y Nobre, 2000; Coull y Nobre, 1998). Más recientemente la investigación realizada (Correa, Lupiañez y Tudela, 2005; 2006; Correa, Sanabria, Spence, Tudela y Lupiañez, 2006,) ha demostrado que estos resultados pueden ser debidos en parte a las demandas específicas de la tarea que utilizaron, es decir, en tareas de detección que demandaban una respuesta motora rápida, las cuales no serían las más adecuadas para enfatizar el procesamiento perceptual, hallaron que la preparación atencional también puede afectar a estadios perceptivos. Cuando en estos estudios se usaron tareas más sensibles a la modulación perceptiva (tareas de discriminación de forma, o de discriminación de orden temporal) se observaron de una forma clara modulaciones de la orientación temporal sobre medidas de sensibilidad perceptual o componentes tempranos (perceptuales) en los potenciales evocados.

ATENCIÓN Y MAPAS MENTALES; UNA NUEVA APROXIMACIÓN

La interrelación entre el control motor y la atención no se circunscriben sólo al estudio por parte de la atención (sus paradigmas y efectos) a la conducta motora. La atención puede jugar un papel determinante en el estudio de otros tópicos dentro del control motor como son los mapas mentales. Así, por ejemplo, mediante el estudio de la

atención con estímulos táctiles se puede discernir si estructuras como dedos o manos comparten la misma representación mental y qué tipo de naturaleza tienen esas representaciones, y sobre todo, qué relación tienen entre ellas. Este conocimiento, como apuntábamos anteriormente, es fundamental para rehabilitaciones neuropsicológicas de trastornos como la agnosia táctil, agnosia del dedo, miembro fantasma y en líneas generales para entender cómo funciona el efector de gran parte de nuestras acciones cotidianas; el conjunto dedos-mano.

Los precedentes en la literatura en el estudio de las representaciones mentales y atención son escasos. Haggard et al., (2005) realizaron una investigación donde los participantes recibían estímulos táctiles en las puntas de los dedos con las manos en dos posturas; mano derecha sobre mano izquierda o ambas manos entrelazadas. Los participantes tenían que responder rápidamente con respuestas verbales para identificar el dedo o la mano a la que pertenecía el dedo (según el experimento). Los resultados revelaron que la posición de los dedos y manos en el espacio influyen en la identificación de las manos pero no de los dedos, lo que implica que los dedos tienen una representación somatotópica, mientras las manos usan un esquema más general del cuerpo (“body representation”) influenciado por localizaciones espaciales externas. Similares resultados fueron encontrados por Spence, Pavanne y Driver (2000) ya que demostraron que un estímulo visual en el hemisferio derecho puede interferir con el procesamiento de un estímulo táctil en la mano derecha cuando las manos están cruzadas. Azañón y Soto Farazo (2008) realizaron un experimento donde se presentaba una señal no informativa que consistía en un estímulo táctil presentado en la parte dorsal de las puntas de los dedos, y los participantes debían responder a un estímulo visual, que se presentaba en la pantalla. Los SOAs manipulados fueron de 30, 60, 180 y 360 ms. La posición de las manos también fue manipulada (cruzadas y no cruzadas). Los tiempos de reacción a los estímulos visuales presentados durante los primeros 100 ms después del target táctil fueron más rápidos en el lado opuesto (congruente anatómicamente pero incongruente espacialmente) que en el mismo lado. Este patrón de datos cambiaba a los 200 ms; la señal táctil producía la facilitación de estímulos visuales presentados en la misma localización externa. Los autores concluyeron que en un primer momento los estímulos táctiles son codificados en el cortex somatosensorial

independiente de la postura del miembro estimulado. Tras ello, el cerebro codifica las coordenadas para localizar la estimulación en el espacio extra personal.

Por otra parte, autores como Röder, Spencey Rösler (2002) estudiaron la forma como afectaban los cambios en la postura de las manos en la IR táctil para determinar si la IR ocurre en un marco de referencia somatotópico (marco de referencia basado en la activación del cortex primario somatosensorial descrito en el apartado de mapas mentales) o espacial (los miembros del cuerpo son codificados en función de la posición que ocupan en el espacio) Para ello los participantes eran estimulados táctilmente en los dedos con las manos cruzadas o en posición normal, concluyendo que el tamaño de la IR dependía de la distancia somatotópica más que de la distancia alocéntrica entre la señal y el target. Por tanto, parecen existir representaciones somatotópicas, sobre las que pueden actuar los mecanismos atencionales de forma diferenciada para modular el procesamiento de información.

Así, teniendo en cuenta la literatura revisada en esta introducción podemos concluir diciendo que la atención juega un papel importante modulando los mapas mentales y la conducta motora. Realmente la atención y el control motor son dos campos de investigación profundamente relacionados, teniendo como objetivo esta tesis establecer un nexo de unión entre ellos mediante la investigación conjunta de la atención y la complejidad motora (capítulos 3 y 4) y la atención y los mapas mentales (capítulo 5).

Capítulo 2

Planteamiento de la investigación por capítulos

La presente tesis doctoral pretende investigar la forma como la atención influye y es modulada por la respuesta motriz y los mapas mentales, tópicos que han sido estudiados mayoritariamente por el control motor. Por tanto el objetivo general de esta tesis es establecer un nexo de unión entre los campos de la atención y el control motor. Como comentábamos en el prefacio, si pensamos en asir una taza de café, no solo será necesario estirar el brazo para agarrarla, activar músculos, en resumen, programar una respuesta motora. De todo ello se han encargado áreas como la biomecánica y el control motor. El problema de los manuscritos clásicos de control motor es que en general describen que hay fases previas antes de la programación motora, pero sólo en muy pocos casos ofrecen una explicación global en la que se dé a otros procesos cognitivos como la atención la relevancia que tienen, dejando en muchas ocasiones un vacío conceptual. Por otra parte en muchas investigaciones sobre atención y en líneas generales sobre procesos psicológicos básicos, medimos como variable dependiente el tiempo de reacción en una conducta motora muy simple como es presionar una tecla, pero desconocemos los mecanismos responsables de la respuesta motora y cómo las pequeñas modificaciones en aspectos como la postura inicial pueden alterar las latencias de ésta. Nosotros pretendemos aportar un granito de arena al entendimiento conjunto de ambos procesos. Para ello hemos desarrollado nuestra investigación, que describiremos en los siguientes capítulos, dividida en tres series experimentales.

CAPITULO 3: Manipulación de la complejidad motora inicial en una acción de alcance de objetos

En el capítulo 3 tenemos como objetivo estudiar la influencia que una acción inicial puede tener en la acción de alcance de objetos o “reaching”. En el campo de la atención se han estudiado habitualmente los movimientos sacádicos realizados por los ojos ante los estímulos presentados (v.gr., Rafal et al., 1989) y en menor grado movimientos con una mayor complejidad motora (Howard et al., 1999; Welsh y Elliot, 2004). La acción de alcance de objetos o “reaching” tiene un alto grado de complejidad motora comparada con movimientos sacádicos o la acción de presionar teclas tan habitual en las investigaciones en psicología experimental, ya que como señalamos en la introducción moviliza varios segmentos corporales (pecho, hombro, brazo y mano) y requiere por tanto de un programa motor mucho más complejo. Por otra parte es una

acción muy habitual en la vida diaria lo que aportará un mayor factor ecológico a la investigación.

Para estudiar detalladamente las acciones motoras descritas segmentaremos el tiempo de reacción medido habitualmente en la literatura (el Tiempo de Contacto en nuestro caso) en subtramos temporales para el estudio pormenorizado de los efectos atencionales y factores cinemáticos que estudiaremos. Por una parte tenemos el continuo tiempo, reflejado en el Tiempo de Contacto o tiempo de reacción total. Este tiempo se fragmentará siguiendo la nomenclatura empleada por Botwinick y Thompson (1966) dando como resultado el Tiempo de Reacción Premotor Agonista (TRPAg; Tiempo entre la presentación del estímulo hasta la activación del músculo que comienza la acción), el Tiempo de Reacción Motor (TRM; Tiempo entre la activación del músculo agonista y el inicio del movimiento) y el Tiempo de Movimiento (TM; Tiempo entre el inicio del movimiento y el final de la acción de alcance). Aparte del continuo tiempo analizamos el proceso muscular, es decir; la acción del músculo agonista (encargado de empezar la acción) que en nuestro caso sería el deltoides anterior y el músculo antagonista (encargado de frenar la acción) que sería en nuestros experimentos el músculo deltoides posterior. La medida del tiempo de reacción de estos músculos nos permitirá establecer el proceso muscular compuesto por Tiempo de Reacción Premotor Agonista y Tiempo de Reacción Premotor Antagonista (TRPAnt; Tiempo que transcurre desde que aparece el estímulo hasta que el músculo antagonista se activa). El problema que surge es que en acciones tan rápidas como la que medimos (acción de alcance a una diana) la activación del músculo antagonista puede ser debida a la tracción del antagonista y no a la programación motora de forma que la medida de los efectos atencionales estudiados pueden ser una copia de los obtenidos en el músculo agonista. Por tanto, para obtener una medida fiable del músculo antagonista mediremos el Tiempo Intramuscular (TI; Tiempo entre activaciones del músculo agonista y antagonista) lo que nos permitirá vislumbrar la diferencia de los efectos estudiados entre agonista y antagonista.

Realizamos tres experimentos en los que manipulamos la complejidad de la acción inicial; en el primer experimento no se realiza ninguna acción antes de la secuencia experimental; en el segundo se pulsaban dos teclas con los dedos antes de que

se produjera la secuencia de eventos experimentales; y finalmente, en el tercero, se pulsaban dos pulsadores con las palmas de las manos en vez de pulsar las teclas.

Es importante resaltar que, como se señala en la introducción, la manipulación que se ha realizado en la literatura hasta ahora en la secuencia de movimientos ha sido temporal (manipulando el tiempo entre movimientos). Nosotros estamos más interesados en manipular los músculos implicados en una secuencia de movimientos. La investigación realizada hasta ahora no ha comparado el uso secuencial de los mismos músculos en dos acciones con el uso secuencial de músculos distintos.

Nuestra hipótesis es que la acción de pulsar las teclas no interferirá en la acción de alcance de objetos porque el juego de músculos implicados es distinto (para pulsar teclas con los dedos se utilizan los músculos de los dedos y antebrazo, y para realizar la acción de alcance se utilizan los músculos del hombro (deltoides) principalmente, mientras que cuando se inicia la secuencia experimental presionando con las palmas de las manos los participantes tienen que usar los músculos implicados en la acción de alcance (para pulsar con las manos se utilizan los músculos deltoides al igual que para realizar la acción de alcance). Por tanto, hipotetizamos que el Tiempo de Reacción Premotor será mayor en el experimento de “Acción inicial de presionar pulsadores con palmas de las manos” que en el de “Acción inicial de presionar teclas con los dedos”.

Por otra parte, estamos interesados en el estudio de los efectos de Facilitación, Inhibición de retorno, Simon, y preparación en el tiempo para aportar evidencias sobre su naturaleza. Para ello diseñamos un protocolo experimental siguiendo el paradigma de costes y beneficios (Posner y Cohen, 1984). Creemos que la manipulación motora realizada en este capítulo permitirá establecer si los diferentes efectos atencionales son influidos por la dificultad motora previa al movimiento, lo cual es fundamental para determinar la naturaleza perceptiva o motora de los efectos estudiados en esta tesis. Hipotetizamos que si los efectos de IR facilitación y Simon se originan en etapas iniciales perceptivas, se manifestará en las fase premotoras del movimiento (Tiempo de Reacción Premotor Agonista y Antagonista) y no tendrán influencia sobre las fases motoras (Tiempo de Reacción Motor y Tiempo de Movimiento). Finalmente queremos comprobar si este efecto de preparación en el tiempo se manifiesta en las fases motoras del movimiento para comprobar si los mecanismos de orientación en el tiempo surgen

en estadios tempranos del procesamiento de la información, no teniendo relación con la programación motora o el control de la acción en tiempo real.

CAPITULO 4: Manipulación de la complejidad motora en acciones de alcance y agarre de objetos

En el capítulo 4 se describe una investigación que consta de 2 experimentos en el que se estudia cómo la complejidad del mapping estímulo-respuesta (E-R) influye en los efectos de facilitación, IR y preparación en el tiempo. Para este objetivo manipularemos la complejidad del movimiento utilizando tres tipos de movimientos: Acción de alcance a una diana, acción de alcance a un botón y acción de agarre de un objeto.

La complejidad en la ejecución del movimiento que utilizamos responde a la coordinación entre los músculos agonistas (aquellos que apoyan el movimiento, es decir, que van a favor de éste) y antagonistas (aquellos que se oponen o limitan el movimiento agonista) diferenciándose tres tipos de movimientos. En primer lugar, los movimientos controlados: los movimientos de este tipo (como son la acción de alcance a un pequeño botón o agarre de un objeto que vemos en esta investigación) deben de ser lentos y controlados y con *feedback* visual o retroalimentación. Los músculos agonistas y antagonistas interaccionan en un alto grado. En segundo lugar, los movimientos balísticos son movimientos que, una vez programados, se ejecutan sin ningún tipo de *feedback*. Como por ejemplo pegar un puñetazo. Son muy rápidos y en muchos casos no necesitan una acción de control del músculo antagonista (obviamente, el músculo antagonista se activa, pero sólo pasivamente). Estos movimientos no serán estudiados en nuestra investigación. En tercer y último lugar tenemos los movimientos semibalísticos o semicontrolados, que se encuentran a caballo entre los controlados y balísticos. Son movimientos balísticos que necesitan un cierto control del antagonista como puede ser tocar una diana aneja a los monitores (movimiento estudiado en capítulos 3 y 4).

Continuando con esta línea de investigación, para determinar si la complejidad motora del mapping estímulo respuesta influye en la magnitud de los efectos de Facilitación, IR y preparación en el tiempo llevaremos a cabo dos experimentos. Antes

de describirlos creemos importante matizar que, como mantiene Kathoon et al., (2002) y hemos señalado en el capítulo introductorio, el usar una tarea motora más compleja motormente requiere un mapping E-R más indirecto. En el primer experimento, se compara el movimiento de alcance a una diana, que hemos visto en el capítulo anterior, con un movimiento de alcance con un mapping estímulo-respuesta más indirecto como es pulsar un pequeño botón. En el segundo experimento se compara el mismo movimiento de alcance a la diana con una acción con un mapping E-R más indirecto que alcanzar un botón, como es el agarre de un pequeño objeto. Hipotetizamos que el tamaño de los efectos de validez será mayor cuando el mapping estímulo-respuesta sea más directo (acción de alcance a dianas en ambos experimentos) en las fases premotoras (TRPAg), lo que confirmaría nuestras predicciones sobre la naturaleza perceptivo-atencional de estos efectos. Por otra parte queremos comprobar si el efecto de preparación en el tiempo puede verse influido por esta manipulación del mapping e-r.

CAPITULO 5: An attentional approach to study mental representations of fingers and hands

En el capítulo 5 abordamos otro tema de interés del control motor; las representaciones mentales. Para ello diseñamos dos experimentos donde se estudia los efectos de orientación espacial exógena con estímulos táctiles. En el experimento 1 colocamos dos tappers (estimuladores táctiles) en el dedo medio y dos en la mano siguiendo una línea vertical. En el experimento 2 colocaremos tappers en dos dedos; uno en el dedo medio y anular y otro en el índice, más otros dos en las manos alineados verticalmente con los colocados en los dedos. El objetivo principal de estos experimentos es poder realizar comparaciones entre estas dos áreas de una manera conjunta o individualmente para poder determinar si dedos y manos comparten el mismo sistema de representación. Si encontramos diferencias en los efectos atencionales entre ambas áreas podremos concluir que dedos y manos difieren en su representación mental. Esta última parte de la investigación fue llevada a cabo en el Departamento de Psicología Experimental de la Universidad de Utrecht, bajo la codirección del profesor Chris Dijkerman, por lo que el capítulo está redactado en inglés.

CAPITULO 6: Discusión y Conclusiones

En el capítulo 6 resumiremos los resultados de las investigaciones que se incluyen en la tesis y los discutiremos en el marco de la relación entre el control motor y la atención.

Capítulo 3

Manipulación de la complejidad motora inicial en una acción de alcance de objetos

Resumen

En la presente investigación estudiamos la influencia de una acción inicial en la acción de alcance de objetos o “reaching”. Para ello diseñamos un protocolo experimental siguiendo el paradigma de costes y beneficios (Posner y Cohen, 1984) que permitía el estudio de los efectos de facilitación, Inhibición de retorno, Simon, y preparación en el tiempo. Realizamos tres experimentos en los que manipulamos la complejidad de la acción inicial; en el primer experimento no se realizaba ninguna acción antes de la secuencia experimental, en el segundo se pulsaban dos teclas con los dedos y en el tercero se pulsaban dos pulsadores con las manos. Segmentamos el Tiempo de realización de la acción de alcance en distintos subtramos temporales tanto premotores como motores. Los resultados muestran que cuando se utilizan los mismos músculos para realizar dos acciones consecutivas hay un enlentecimiento en la programación motora a nivel muscular y en general en toda la acción. Por otra parte, los efectos de orientación espacial (facilitación e Inhibición de Retorno), Simon y preparación temporal se manifiestan principalmente en el inicio de la acción (Tiempo de Reacción Premotor). Cuando aumenta la complejidad del movimiento los efectos Simon y de preparación temporal aparecen en las fases motoras del movimiento, mientras un efecto de facilitación (menores latencias para los ensayos válidos) aparece en las fases motoras en todos los experimentos. Estos resultados serán discutidos atendiendo a la naturaleza de estos efectos y la modulación de éstos por la complejidad motora inicial de la acción.

Palabras clave: Inhibición de Retorno, Facilitación, efecto Simon, efecto de preparación en el tiempo, complejidad motora inicial de la acción.

Introducción

Los estudios habituales en Psicología Experimental miden los distintos procesos cognitivos usando como variable dependiente el tiempo de reacción del movimiento a realizar, habitualmente presionar teclas, dejando a un lado los aspectos motores asociados a la respuesta y cómo éstos pueden influir en las latencias. En este estudio estamos interesados en manipular la complejidad del inicio de la acción y ver cómo éste influye en las latencias y en los efectos atencionales estudiados.

En tareas simples que no requieren procesamiento alguno sobre el target como las de detección, la acción se inicia en cuanto se detecta el target (p.ej; Egly, Rafal y Henick, 1992; Tanaka y Shimojo, 1996; Terry, Valdes y Neill, 1994), pero no así en otras tareas como las de discriminación en las que antes hay que seleccionar la respuesta adecuada (p.ej; Danziger, Kingstone y Snyder, 1998; Lupiáñez et al., 1997; Pratt, Kingstone y Khoe, 1997). Normalmente se ha manipulado la complejidad del procesamiento del target. En este contexto, se ha estudiado cómo variables perceptivas (tipos de target a detectar o discriminar), atencionales (orientación espacial, Facilitación e Inhibición de Retorno) y atencionales-motoras (preparación temporal o efecto de SOA y efecto Simon), etc. afectan al tiempo de reacción. Por otro lado, y en menor medida, se ha investigado cómo la complejidad motora afecta al inicio de la acción, para investigar si la preparación motora es completa cuando se inicia ésta, o es incompleta y se termina durante del desarrollo de la parte inicial de la misma.

El estudio más importante sobre complejidad motora fue desarrollado por Henry y Rogers a principios de los 60, postulando la teoría de “memory drum”, la cual mantiene que los modelos de coordinación neuromotora o programas motores son almacenados en los niveles más altos del sistema nervioso central. La teoría del “memory drum” es tan importante en el control motor como la ley de Fitts's (1954), o la teoría de los esquemas motores de Schmidt (1975). Se investigó la naturaleza específica de los movimientos y cómo las diferencias en complejidad podían afectar al tiempo de reacción, concluyendo que los movimientos más complejos (entendiendo complejo como aquel que utiliza más movimientos y por tanto más músculos) requerirá más tiempo para iniciarse, ya que un programa más complejo debe de ser puesto en marcha.

Así, el Tiempo de Reacción aumentará en función de la complejidad del movimiento. La investigación posterior sobre la teoría del “memory drum” ha tratado de determinar la forma como distintas variables afectan al movimiento y por tanto a los programas motores. Entre esas variables se encuentran la amplitud (p.ej; Glencross 1972; Klapp 1975; Klapp y Erwin 1976), y la dirección del movimiento (Spijkers, 1987), la precisión de la tarea (p.ej; Anson 1982; Christina, Fischman, Vercruyssen y Anson. 1982; Christina y Rose 1985; Christina. Fishman, Lambert and Moore, 1985; Larish y Frekany 1985), la cantidad de estímulos presentados (p.ej; Rosenbaum 1980; Rosenbaum, Inhoff and Gordon. 1984; Larish y Frekany 1985; Chamberlin y Magill 1989), la inercia del movimiento (p.ej; Anson, 1989), la cantidad de fuerza desarrollada, (p.ej; Baba y Marteniuk 1983; Ivry 1986; Carlton y Newell 1987; Carlton, Carlton y Newell, 1987; Siegel 1988; Kasai y Komiyama 1990) y contrastes temporales como pausas de respuesta por duración restringida del Tiempo de Movimiento (p.ej; Quinn, Schmidt, Zelaznik, Hawkins y. McFarquhar 1980; Siegel 1986; ver también Hayes y Marteniuk 1976; Kerr 1978; and Semjen 1984, para revisiones).

Dentro de la teoría del “memory drum” merecen especial atención los estudios de secuencias de movimientos y en especial las manipulaciones del tiempo entre ellos (Fishman 1984; Canic y Franks 1989, Van Donkelaar y Franks, 1991). Franks et al., (1998) compararon un movimiento de flexión con uno de flexión-extensión de codo, encontrando que los tiempos de reacción musculares en el inicio de la acción fueron más lentos en el movimiento de flexión-extensión. Lo más interesante es que manipularon el tiempo entre flexión y extensión y encontraron que cuando se fraccionaba el movimiento no había diferencias en los tiempos de reacción. Garcia-Colera y Semjen (1988) concluyen que la planificación de una secuencia de movimientos imprevisibles es realizada antes y después del inicio de la secuencia. Ketelaars et al., (1998) realizaron un experimento en esta línea y establecieron que cuando la pausa entre secuencias de movimientos es mayor de 200 ms, los participantes programan durante el transcurso de la acción. Por tanto la programación de la secuencia de movimientos complejos es más lenta que la de simples, excepto cuando se pausa el movimiento más complejo por encima de un umbral temporal, causando que parte de la programación se efectue en la segunda parte de la secuencia del movimiento.

La serie experimental que se plantea a continuación tiene como objetivo el estudio pormenorizado de las distintas fases del movimiento para ver cómo afecta la naturaleza de una acción inicial (que debe abandonarse para realizar la acción de alcance de un objetivo) a los diferentes tramos temporales de respuesta y a diversos efectos atencionales. Para ello usaremos el paradigma de costes y beneficios de Posner y Cohen (1984) para medir los efectos atencionales de preparación o “Foreperiod” (Niemi y Näätänen, 1981), Facilitación e Inhibición de Retorno (IR) (Posner y Cohen, 1984) y Simon (Simon, Hinrichs, y Craft, 1970). En la versión de este paradigma para medir la atención exógena, los participantes deben identificar un estímulo visual que aparece en la pantalla del ordenador, a la izquierda o a la derecha del punto de fijación. Mediante una respuesta arbitraria, como presionar una de dos teclas (en el caso de los experimentos de este trabajo, tocar una de dos dianas) el participante debe indicar qué estímulo se ha presentado. Este estímulo es un punto luminoso y se denomina “target” u objetivo. En los estudios sobre atención exógena, como el que presentamos en este trabajo, previamente a la aparición del objetivo, se presenta una señal visual en uno de los marcadores de posición que se encuentran a derecha e izquierda del punto de fijación (p.ej., un incremento en la luminancia y el perímetro de uno de los marcadores), que hace de señal de orientación. Trascurrido un intervalo de tiempo del orden de varios cientos de milisegundos desde la aparición del destello del marco, se presenta el objetivo a detectar. En el caso de señales exógenas, cuando transcurre poco tiempo entre la señal y el objetivo los individuos son más rápidos cuando el objetivo aparece en la misma posición que la señal, efecto conocido como Facilitación. No obstante, cuando el tiempo entre la presentación de la señal y el target (asincronía entre comienzo de estímulos; SOA, en inglés, de Stimulus Onset Asynchrony) es mayor, del efecto se invierte dando lugar al efecto conocido como Inhibición de Retorno que consiste en mayores latencias cuando la señal y el estímulo objetivo aparecen en el mismo sitio en comparación a cuando se presentan en sitios distintos (véase Klein, 2000, o Lupiáñez et al., 1999, para una revisión sobre este fenómeno).

Por otro lado, en tareas de discriminación, los participantes deben responder al objetivo presionando una de dos teclas, con una de las manos. La asignación de las teclas de respuesta es arbitraria (p.ej., se responde con la mano izquierda cuando el objetivo es verde y con la mano derecha cuando éste es rojo), dando lugar a efectos de

congruencia entre el lugar de presentación del estímulo (a la derecha o a la izquierda) y la mano de respuesta. Este efecto se conoce como efecto Simon y consiste en una mayor rapidez de las respuestas cuando el estímulo aparece en el mismo lado que la mano con la que se debe responder al mismo (respuestas ipsilaterales) que cuando aparece en el lado contrario (respuestas contralaterales). El efecto es debido a una tendencia automática a responder ipsilateralmente al lugar de estimulación, todo esto siendo la localización del estímulo irrelevante para resolver la tarea. En nuestros experimentos, la tarea consistía en atender a un punto de fijación, tras el cual se iluminaba una de las cajas que estaban a ambos lados de ese punto; y tras un periodo de 100 o 1000 ms (SOA) se presentaba un objetivo visual de color verde o rojo cuyo color los participantes debían discriminar, ya que indicaba la diana que debía ser alcanzada (se colocaron dos dianas a ambos lados del monitor en el que se presentaban los estímulos), con el brazo de ese lado de la diana. Esta acción de alcance ipsilateral a la diana correspondiente es considerada una acción semibalística (una vez que se empieza la acción es muy difícil detenerla).

Para estudiar detalladamente esta acción de alcance de una diana segmentaremos el tiempo de reacción medido habitualmente en la literatura en subtramos temporales, lo que permitirá un estudio pormenorizado de los efectos atencionales descritos y la influencia de la respuesta previa en estos tiempos. Por una parte tenemos el continuo tiempo, reflejado en el Tiempo de Contacto o tiempo de reacción total. Este tiempo se fragmentará siguiendo la nomenclatura empleada por Botwinick y Thompson (1966) dando como resultado el Tiempo de Reacción Premotor Agonista (TRPAg; Tiempo entre la presentación del estímulo hasta la activación del músculo que comienza la acción), el Tiempo de Reacción Motor (TRM; Tiempo entre la activación del músculo agonista y el inicio del movimiento) y el Tiempo de Movimiento (TM; Tiempo entre el inicio del movimiento y el final de la acción de alcance). Aparte del continuo tiempo analizamos el proceso muscular, es decir, la acción del músculo agonista, encargado de empezar la acción (que en nuestro caso sería el deltoides anterior), y el músculo antagonista, encargado de frenar la acción (que sería en nuestros experimentos el músculo deltoides posterior). La medida del tiempo de reacción de estos músculos nos permitirá establecer el proceso muscular compuesto por Tiempo de Reacción Premotor Agonista y Tiempo de Reacción Premotor Antagonista (TRPAnt; Tiempo que

transcurre desde que aparece el estímulo hasta que el músculo antagonista se activa). El problema que surge es que en acciones tan rápidas como la que medimos (acción de alcance a una diana) la activación del músculo antagonista puede ser debida a la tracción del antagonista y no a la programación motora de forma que la medida de los efectos atencionales estudiados pueden ser una copia de los obtenidos en el músculo agonista. Por tanto para obtener una medida fiable del músculo antagonista mediremos el Tiempo Intramuscular (TI; Tiempo entre la activación del músculo agonista y del músculo antagonista) lo que nos permitirá vislumbrar la diferencia de los efectos estudiados entre agonista y antagonista.

De forma más específica, y una vez descrito nuestro paradigma de investigación y las variables dependientes que mediremos, en este trabajo de investigación pretendemos por un lado estudiar cómo las diferentes variables que subyacen a los diferentes efectos atencionales afectan a los diferentes tramos de la acción. Por otro lado, pretendemos estudiar el efecto de la acción inicial sobre los diferentes tramos de respuesta al target (y sobre los diferentes efectos atencionales).

En el estudio de las diferentes variables que subyacen a los diferentes efectos atencionales afectan a los tramos de respuesta, queremos aportar evidencias que permitan aclarar diversas controversias sobre la Inhibición de Retorno y el Efecto Simon, ya que aunque la manifestación de estos fenómenos de orientación atencional ha sido ampliamente tratada por la literatura, existe cierta controversia en lo relativo a la naturaleza de estos mecanismos, sobre todo en lo que concierne a la Inhibición de Retorno. En esta línea, la ausencia de manifestación del efecto de Inhibición de Retorno en tareas que enfatizan los componentes perceptivos, como las tareas de discriminación, originó que autores como Klein y Taylor (1994) sostuvieran que la Inhibición de Retorno (IR) es de naturaleza motora, considerándola un sesgo de respuesta para no responder a objetivos que aparecen en localizaciones señaladas. Esta hipótesis fue apoyada por otros estudios como el de Terry et al. (1994) que no encontraron IR en tareas de discriminación, o los trabajos que no encuentran IR en juicios de orden temporal (Klein, Schmidt y Muller, 1998). Otros autores mantienen que la Inhibición de Retorno es un mecanismo más general y robusto que actuaría en estadios perceptivos de la información, anteriores por tanto, a la respuesta motora (Chica y Lupiáñez 2004,

Prime y Ward 2004). Por tanto podemos hipotetizar que si la Inhibición de Retorno se origina en etapas iniciales perceptivas, se manifestará en las fase premotoras del movimiento (Tiempo de Reacción Premotor Agonista y Antagonista) y no sobre las fases motoras (Tiempo de Reacción Motor y Tiempo de Movimiento).

Por otra parte, el protocolo experimental que hemos utilizado permite además el estudio del efecto Simon, y su modulación por la orientación espacial. Estudios previos sobre la modulación atencional del efecto Simon son señales de orientación endógena y exógena han mostrado resultados dispares. Así, Hommel (1993a) mantiene que el efecto Simon está modulado por factores atencionales, postulando que este mecanismo se da en la fase de percepción del estímulo. Otros autores como Rowarski y Proctor (2003) encontraron que no había efectos atencionales sobre el efecto Simon. Profundizando en esta cuestión, podemos hipotetizar que si el efecto Simon es un mecanismo de selección de respuesta que optimiza la ejecución de las respuestas ipsilaterales al lugar de aparición del objetivo, se observará en las etapas iniciales de la respuesta motriz (Tiempo de Reacción Premotor), no observándose en el desarrollo de la acción (Tiempo de Reacción Motor y Tiempo de Movimiento). En cambio si observáramos el efecto Simon en las fases premotoras y motoras, podríamos concluir que es un efecto de carácter más general que afecta a las fases premotoras y motoras de la acción. También estudiaremos la posible interacción entre ambos efectos de IR y Simon. Muchos trabajos mantienen la no interacción entre ambos efectos (p.ej; Lupiáñez y Solano, 1998). Pocos autores han encontrado interacción entre los efectos (Abrahamse et al., 2008; Huertas; 2005) aunque Ivanoff et al. (2002) han encontrado una interacción consistente y significativa entre IR y el efecto Simon (el efecto Simon duplica su magnitud en los ensayos señalados), en un metanálisis de varios estudios. Por tanto si la Inhibición de Retorno y el efecto Simon actúan en la misma fase de procesamiento de la información (selección de respuesta), deberemos encontrar una interacción significativa entre ambos efectos en las fases premotoras del movimiento (Tiempo de Reacción Premotor Agonista y Antagonista) y no en las fases motoras (Tiempo de Reacción Motor y Tiempo de Movimiento).

Por último investigaremos el efecto de preparación en el tiempo. Este efecto se relaciona con la orientación temporal de la atención o la generación de expectativas,

causadas por la una señal de aviso (en nuestro caso la señal espacial). Esto significa que cuando el sujeto tiene más tiempo para preparar su respuesta es más rápido, lo que ocurre en los ensayos con SOA largo. Cuando el individuo observa que no aparece el target en los 100 primeros milisegundos (SOA corto), incrementa su nivel de activación ya que sabe que la aparición del target se va a producir a los 1000 ms (SOA largo), especialmente cuando el objetivo se presenta en todos los ensayos como es nuestro caso. A este proceso se le ha llamado *repreparación* o *reorientación* (Karlin, 1959) que consiste en que cuando el sujeto ve eliminada la expectativa de que aparezca a los 100 ms, genera una nueva expectativa más eficiente que la anterior ya que la certidumbre de aparición en el SOA largo es total (véase Correa et al., 2006, para una revisión sobre este efecto). Queremos comprobar si este efecto de preparación u reorientación temporal se manifiesta en las fases motoras del movimiento para comprobar si los mecanismos de orientación en el tiempo surgen en estadios tempranos del procesamiento de la información, no teniendo relación con la programación motora o el control de la acción en tiempo real.

Por otro lado, estamos también interesados en la forma como la acción inicial afecta a los diferentes tramos de respuesta al target (y por tanto a los diferentes efectos atencionales). Los diferentes estudios descritos anteriormente muestran que la complejidad motora de la tarea a realizar, así como diferentes variables que afectan a uno o varios tramos de la secuencia de movimientos y la temporización de los mismos, pueden afectar al TR, es decir, al tiempo de inicio de la acción. No obstante, es más escasa la investigación de factores relacionados con la activación muscular previa al inicio de la acción, en el momento en que se presenta el estímulo objetivo que desencadena la acción. Como hemos comprobado, la manipulación que se ha realizado hasta ahora en la secuencia de movimientos ha sido temporal (manipulando el tiempo entre movimientos). Nosotros estamos más interesados en manipular los músculos implicados en una secuencia de movimientos. La investigación realizada hasta ahora no ha comparado el uso secuencial de los mismos músculos en dos acciones con el uso secuencial de músculos distintos. Consideramos que esta manipulación permitirá establecer si las latencias aumentan cuando se utilicen los mismos músculos para realizar dos acciones consecutivas; de forma que podamos averiguar a qué tramos del

movimiento afectarán y cómo, en caso de hacerlo. Para dar respuesta a todos estos interrogantes, realizamos una serie experimental, compuesta por 3 experimentos.

En el primer experimento al que denominaremos “Sin respuesta previa” los participantes no realizaban ninguna acción antes de que empezara la secuencia experimental; simplemente colocaban las manos en la mesa y el experimentador hacia que empezará la secuencia experimental en cada ensayo. Este experimento nos servirá de línea base para comparar el efecto de realizar una respuesta previa a la presentación de estímulos. En el experimento 2, al que denominaremos “Acción inicial de presionar teclas con los dedos”, los participantes tenían que presionar las teclas “z” y “m” del teclado con los dedos índices de cada mano para comenzar la secuencia experimental en cada ensayo. En el experimento 3, al que denominaremos “Acción inicial de presionar pulsadores con palmas de las manos”, los participantes colocaban sus manos sobre dos pulsadores para que comenzara la secuencia experimental. Como el lector puede comprobar, para apretar una tecla sólo el músculo extensor de los dedos y el propio del dedo índice son reclutados, mientras que la acción de pulsar con las manos y mantener la posición hasta que se procese el estímulo objetivo se realiza en gran parte con el músculo deltoides, implicado en la cadena cinética que se emplea para realizar la acción de alcance (es el segundo músculo tras el pectoral en comenzar la acción). Por tanto, nuestra hipótesis específica es que la acción de pulsar las teclas no interferirá en la acción de alcance de objetos porque el juego de músculos implicados es distinto, mientras cuando se inician los ensayos presionando con las palmas de las manos los participantes tienen que usar los músculos implicados en la acción de alcance. Por tanto el Tiempo de Reacción Premotor será mayor en el experimento de “Acción inicial de presionar pulsadores con palmas de las manos” que en el de “Acción inicial de presionar teclas con los dedos”.

Experimento 1: Sin respuesta previa

En este experimento, al que denominaremos “Sin Respuesta previa” (SRP), los participantes no tenían que realizar una respuesta previa a la acción de alcance de objetos. Simplemente colocaban las manos sobre la mesa en la posición indicada y debían esperar a que el experimentador hiciera que la secuencia experimental

comenzara. Este primer experimento tiene como objetivo establecer una línea base de resultados para ser posteriormente comparados con los experimentos 2 “Acción inicial de presionar teclas con los dedos” y 3 “Acción inicial de presionar pulsadores con las palmas de las manos. Lo más novedoso de este estudio respecto a los tradicionales trabajos donde se mide una respuesta motora (por ejemplo, presionar o soltar las teclas del ordenador) es la introducción de un polígrafo que mide la actividad electromiográfica de los deltoides anteriores y posteriores. Esto posibilitará la medida de nuevas variables dependientes como son el Tiempo de Reacción Premotor Agonista y Antagonista, Tiempo Intramuscular y el Tiempo de Movimiento. Es importante subrayar que en los experimento 2 “Acción inicial de presionar con los dedos” y 3 “Acción inicial de presionar con las manos” los participantes colocaban sus dedos y manos respectivamente sobre pulsadores y los soltaban cuando iniciaban la acción, lo que permitía medir en esos experimentos el Tiempo de Reacción Motor, mientras que en este experimento no se podía medir. Por tanto, en este experimento el Tiempo de Movimiento es el periodo desde que se activa el músculo agonista hasta que se alcanza la diana.

Antes de pasar a describir la secuencia experimental, es importante reseñar que la posición inicial de los miembros influye en las variables temporales y cinemáticas (Furubayashi y Kasai, 1990; Taniguchi, Nakamura y Kasai, 1984, Wallace, Frankeny y Larish, 1982). Por ello, y de acuerdo con esta literatura, en los tres experimentos realizados la posición de los miembros fue la misma; anterversión del antebrazo (palma de la mano hacia abajo), ya que esta posición es la menos compleja para ejecutar la acción posterior y como hemos descrito anteriormente, es fundamental para controlar que los músculos implicados en las dos acciones sean los mismos o distintos.

Método

Participantes

La muestra de este experimento está conformada por 18 estudiantes de psicología; 12 mujeres y 6 hombres, con una edad promedio de 21,2 años. El objetivo de la investigación les era explicado al finalizar su participación experimental.

Aparatos y estímulos

La figura 1 muestra la organización de los aparatos empleados en este experimento.

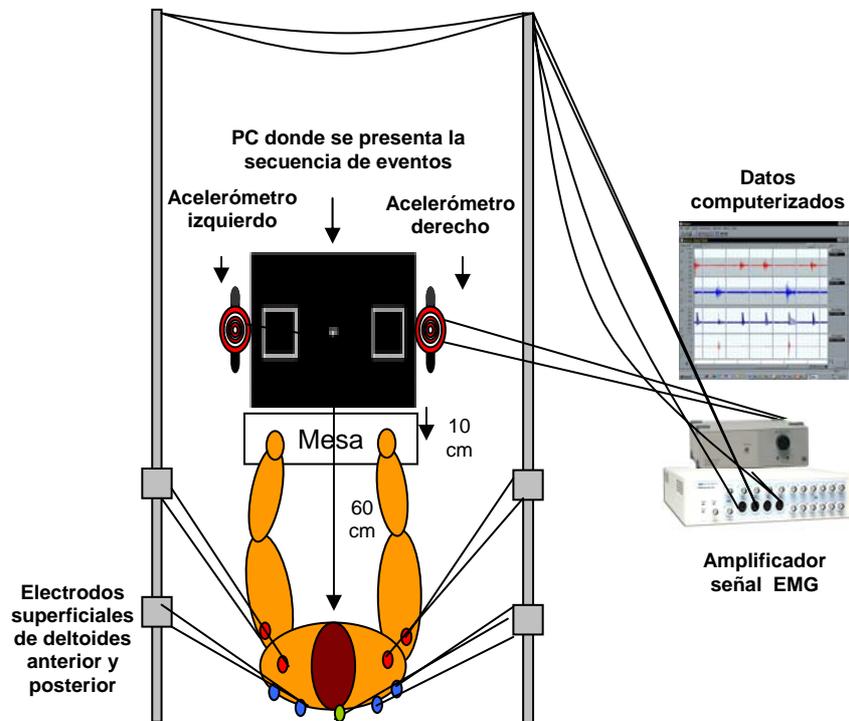


Figura 1. Representación gráfica de la disposición de instrumentos y personas en experimento 1 “Sin respuesta previa”.

La temporización, así como la recogida de datos de las condiciones experimentales se realizó con una rutina programada mediante el Software E-prime (Schneider, Eschman y Zuccolotto, 2002). El objeto diana consistía en un cuadrado con una diana en el centro de 5 cm de diámetro situado en ambos laterales exteriores del monitor donde se proyectaban los estímulos, a la altura de los marcadores y el punto de fijación. Anejos a cada diana se colocaron sendos sensores que medían el instante en que el sujeto tocaba la diana. Este acelerómetro (SignalMaster MS 023) tenía un rango de media de ± 10 G y una frecuencia de resonancia superior a 1 Khz, su rango de sensibilidad iba de 0.02 a 2.50 voltios, siendo calibrado a 0.18 voltios (nivel 2 de sensibilidad sobre 5). Para la medición de los tiempos de reacción musculares se colocaron electrodos para medir la señal electromiográfica superficial (EMG) de los deltoides anteriores y posteriores de cada brazo. Para ello fueron utilizados electrodos

desechables de superficie de Ag/AGCI bipolares circulares (3mm de diámetro) separados 30 mm entre sí, colocados paralelamente a las fibras musculares. Había 4 juegos de electrodos (2 electrodos por juego) que median los 4 músculos descritos. El electrodo de tierra se colocaba en la segunda vértebra cervical. Los datos electromiográficos fueron registrados para su análisis posterior en un segundo ordenador mediante un sistema de adquisición de 16 canales (PowerLab/8sp, ADI Instrument, Castle Hill, NSW). La señal era muestreada a una frecuencia de 100 Hz, siendo amplificada (x 1000) y filtrada con un paso de banda de 10-500 Hz para su análisis. Los datos electromiográficos fueron tratados con el software Chart 5.0. El ordenador que presentaba la tarea y el que registraba los datos electromiográficos estaban sincronizados mediante los puertos de comunicación LPT1.

Procedimiento

Se diseñó un protocolo experimental basado en una tarea de discriminación del color (rojo y verde) que determinaba la mano de respuesta (derecha o izquierda) con que se debía responder, siguiendo el paradigma de costes y beneficios de Posner y colaboradores (Posner, 1980; Posner y Cohen, 1984). Como se ha apuntado en la introducción de esta tesis, previamente a la recogida de datos, la localización de los músculos deltoides anteriores fue verificada mediante una maniobra de producción de fuerza isométrica que combinaba al flexión y la aducción de brazo en extensión (Gribble y Ostry, 1999), según la orientación de Cram y Pasmán (1998). La colocación de los electrodos posteriores se estableció con las prescripciones comentadas anteriormente. Los participantes se sentaban enfrente del monitor donde se presentaban los estímulos, separados 60 cm de éste. Una vez descrita la posición inicial, se explicaba a los participantes en qué consistía el experimento y la secuencia de estímulos que aparecerían en la pantalla, así como la forma como debían responder a ellos. La serie de acontecimientos que componían cada ensayo experimental comenzaba con la colocación por parte del sujeto de las manos en una tabla con unas marcas predefinidas, para controlar que el Tiempo de Movimiento fuera el mismo. El experimentador presionando un botón hacía que la secuencia experimental comenzara. En el monitor, centrado horizontal y verticalmente y sobre fondo oscuro, se presentaba un punto de fijación consistente en una cruz, donde el participante debía centrar su mirada al comienzo de cada ensayo. A ambos lados del punto de fijación, centradas

horizontalmente con aquel, se ubicaban unas cajitas o marcadores de color blanco. Tras un intervalo de 1000 ms, el incremento súbito y breve (50 ms) de la luminosidad de los bordes de uno de los marcadores daba lugar a una sensación de parpadeo que definía la señal atencional periférica de carácter exógeno o “cue”. Para asegurar la implicación de mecanismos atencionales de carácter involuntario o exógeno, la señal o “cue” no era predictiva del lugar de aparición del objetivo, lo que posibilitaba la medida de los efectos de Facilitación e Inhibición de retorno. Tras la señal, y tras un intervalo variable de 50 ms o 950 ms (determinando unos SOAs de 100 o 1000 ms) aparecía centrado en el interior de uno de los 2 marcadores y durante 33 ms el estímulo objetivo (círculo rojo o verde), indicador de la mano con que se debía emitir la respuesta. Ésta consistía en tocar alcanzando (“reach”) de forma rápida el objeto diana indicado por el color del objetivo. La diana se debía alcanzar con la mano del mismo lado. Por tanto, el lugar de aparición del objetivo no era un atributo relevante para la respuesta, sino el color del estímulo objetivo. Finalmente, el punto de fijación y los marcadores permanecían en pantalla hasta la respuesta del participante o hasta un máximo de 2000 ms si no existía respuesta. La figura 2 muestra la secuencia de eventos que acontecía en cada uno de los ensayos.

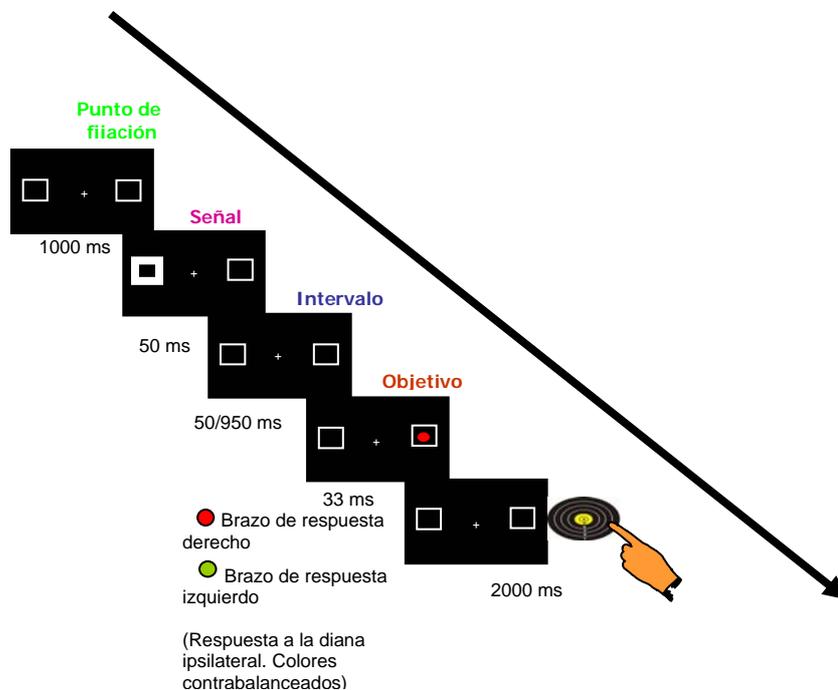


Figura 2: Secuencia de eventos en el procedimiento experimental. Se muestra un ejemplo de un ensayo inválido, en el que el objetivo se presenta en el lugar opuesto a la señal.

Diseño

Las variables manipuladas fueron tres: SOA (100, 1000), Validez (Válido, Inválido) y Lateralidad (respuesta ipsilateral o contralateral al objetivo), todas ellas manipuladas intraparticipantes. Como variables dependientes se midieron las siguientes (ver figura 3)

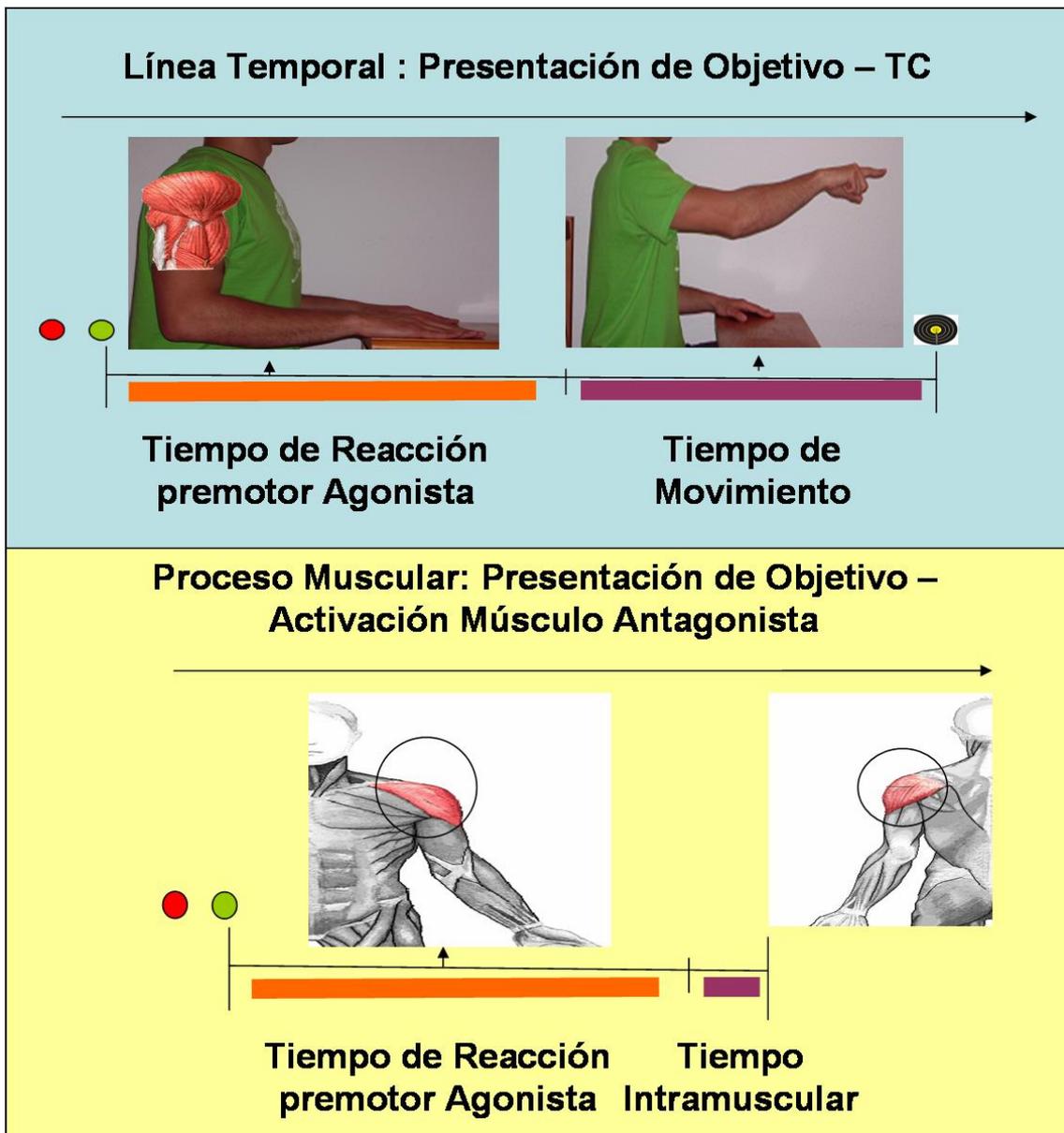


Figura 3: Esquema de variables dependientes medidas en experimento 1.

Línea temporal:

Tiempo de Contacto (TC): Tiempo entre la presentación del estímulo y el alcance a la diana. Este se divide en los siguientes tramos

Tiempo de Reacción Premotor Agonista (TRPAg): Tiempo que transcurre desde que el estímulo es presentado hasta que el músculo agonista se activa.

Tiempo de Movimiento (TM): Tiempo entre que el músculo agonista se activa y los participantes alcanzan el objeto diana

Proceso muscular

Tiempo de Reacción Premotor Antagonista (TRPAnt): Tiempo que transcurre entre que el estímulo es presentado y el músculo antagonista se activa. Este a la vez se divide en:

Tiempo de Reacción Premotor Agonista (definido anteriormente)

Tiempo Intramuscular (TI): Tiempo que transcurre entre la activación del músculo agonista y antagonista.

El diseño del experimento permite estudiar los efectos de Facilitación, IOR, Simon y Preparación en un continuo tiempo por una parte y en la mecánica muscular del movimiento por otra. Los participantes realizaron 4 bloques de 80 ensayos experimentales, precedidos de 1 bloque de práctica que contenía 32 ensayos, conteniendo cada bloque un muestreo equitativo de todas las condiciones experimentales. Cada bloque experimental estaba compuesto de 4 series de 20 ensayos (total 80 ensayos), por lo que cada uno contenía 10 ensayos de cada condición experimental. Los sujetos tenían 1 minuto de descanso después de cada bloque.

El presente protocolo no empleó ensayos vacíos o sin objetivo (“catch trials”), puesto que la naturaleza de la tarea (discriminación) reduciría las respuestas anticipatorias, ya que el participante ha de procesar el color para seleccionar la mano que ha de ejecutar la acción de alcance. Los experimentos se llevaron a cabo en una sola sesión experimental de aproximadamente 90 minutos de duración. La colocación de los electrodos duraba unos 20 minutos.

Resultados

En el análisis de los datos de latencia fueron descartados los ensayos donde los participantes tocaron el objeto diana incorrecto (errores de contacto; 1,53%) o el Tiempo de Contacto fue menor que 200 ms o mayor que 1500 ms (1,06%).

En la Tabla 1 se muestran los valores descriptivos de las variables temporales en cada una de las condiciones experimentales manipuladas.

Tabla 1. Promedio en las diferentes condiciones experimentales en las variables de la línea temporal (Tiempo de Contacto dividido en Tiempo de Reacción Premotor Agonista y Tiempo de Movimiento) y proceso muscular (Tiempo de Reacción Premotor Antagonista dividido en Tiempo de Reacción Premotor Agonista y Tiempo Intramuscular) en experimento 1. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y lateralidad (Simon) y su nivel de significatividad estadística.

LINEA TEMPORAL		TC				TRPAg				TM			
EFECTOS DE VALIDEZ		S 100		S 1000		S 100		S 1000		S 100		S 1000	
		I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V
	Contralateral	678	672	664	668	322	316	303	311	357	356	360	357
	Ipsilateral	656	641	641	647	298	287	278	287	359	354	363	359
		11 **		-5		8 **		-8 *		2		3	
EFECTO DE LATERALIDAD		Contral.		Ipsilat.		Contral.		Ipsilat.		Contral.		Ipsilat.	
		670		646		313		287		358		359	
		24 ***				26 ***				-1			
PROCESO MUSCULAR		TRPant				TRPAg				TI			
EFECTOS DE VALIDEZ		S 100		S 1000		S 100		S 1000		S 100		S 1000	
		I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V
	Contralateral	349	349	336	342	322	316	303	311	27	32	33	32
	Ipsilateral	333	318	314	321	298	287	278	287	35	32	37	34
		7		-7 *		8 **		-8 *		-1		2	
EFECTO DE LATERALIDAD		Contral.		Ipsilat.		Contral.		Ipsilat.		Contral.		Ipsilat.	
		344		322		313		287		31		34	
		22 ***				26 ***				-3 *			
<p>***P<.001 / **P<.005 / *P<.05 S100= SOA de 100 ms / S1000: SOA de 1000 ms / I= Ensayo inválido / V=Ensayo válido Contral.: Ensayo contralateral / Ipsilat.: Ensayo Ipsilateral Linea temporal = TC: Tiempo de Contacto dividido en TRPAg: Tiempo de Reacción Premotor Agonista + TM: Tiempo de Movimiento Proceso muscular = TI: Tiempo Intramuscular Los valores de la tabla son aproximativos ya que han sido omitidos los decimales</p>													

Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas de 2 x 2 x 2, recurriendo a comparaciones planeadas para concretar el tipo de interacción existente ente los distintos niveles de las variables analizadas. El ANOVA incluía los factores “Lateralidad” (2 niveles: ipsilateral y contralateral), “SOA” (2 niveles: 100 y 1000 ms) y “Validez” (2 niveles: Valido e Invalido) como variables independientes intraparticipante.

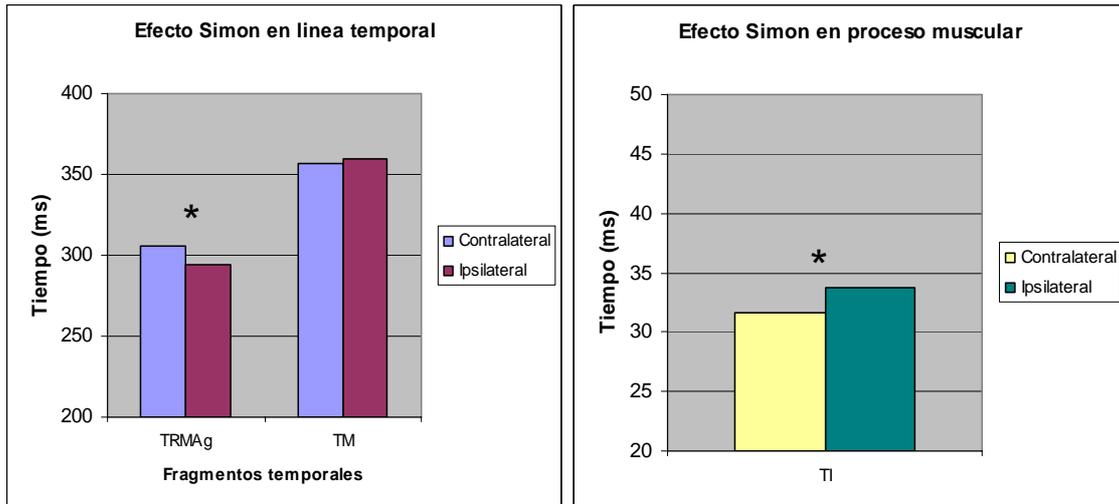


Figura 4 : En la izquierda, media de las variables no aditivas en línea temporal (Tiempo de Reaccion Premotor Agonista + Tiempo de Movimiento) en las diferentes condiciones de correspondencia objetivo-mano de respuesta: Ipsilateral y Contralateral. A la derecha se representa el efecto Simon en el Tiempo Intramuscular del proceso muscular.

Como puede observarse en la figura 4, se obtuvo un patrón típico de efecto Simon en el Tiempo de Contacto ($F(1, 17)=47,89, p<.0001$), consistente en latencias menores (24 ms) en los ensayos donde el participante respondió con la mano ipsilateral al objetivo. El origen de este efecto se produce en el desencadenamiento de la acción, es decir, en el TRPAg (26 ms, $F(1, 23)= 59,78, p<.0001$) no hallando significatividad en el Tiempo de Movimiento ($F(1,17)=,89, p=,3590$). Respecto al proceso muscular, en el TRPANT se produce un efecto Simon de 23 ms ($F(1, 17)=63,71, p<.0001$). El que se produzca menor efecto Simon en el TRPANT respecto al músculo agonista tiene su explicación en un activación más rápida para los ensayos contralaterales de 3 ms en el Tiempo Intramuscular, ($F(1, 17)=8,44, p=,0099$), es decir se produce una inversión de la tendencia en el efecto Simon en el TI.

El efecto principal de SOA permite estudiar la manifestación de la orientación temporal de la atención. Se halló un efecto de SOA significativo ($F(1, 17)=5,08$, $p=,0376$) sobre el rendimiento final de la acción (TC) (ver figura 5), observándose cómo la acción final de contacto se lleva 11 ms más rápida en el SOA largo que en el corto, es decir, cuando hay un mayor tiempo para prepararse.

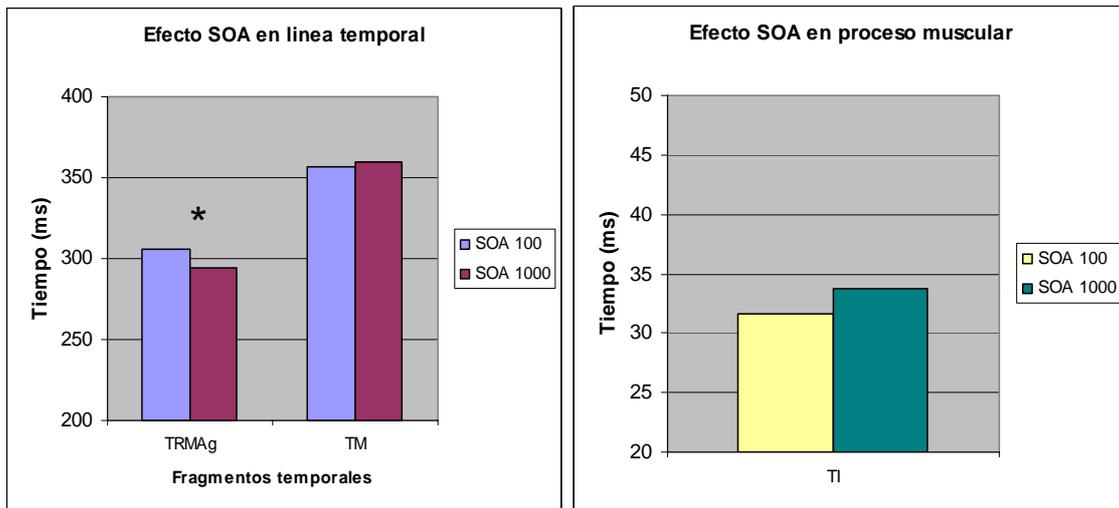


Figura 5 : En la izquierda, media de las variables no aditivas en línea temporal (Tiempo de Reaccion Premotor Agonista + Tiempo de Movimiento) en los diferentes niveles de la variable SOA: 100 ms y 1000 ms . A la derecha se representa el efecto de la variable SOA en el Tiempo Intramuscular del proceso muscular.

Este efecto se origina en el inicio del movimiento, en concreto, el efecto se manifiesta en el rendimiento de la acción con menores TRPAg (11 ms, $F(1, 17)=27,44$, $p<.0001$) en los ensayos con SOA largo. Nótese que al no incluir catch trials en nuestro estudio, los participantes sabían que si el objetivo no se presentaba pronto (en el SOA corto) aparecería después (en el SOA largo). En el Tiempo de Movimiento no hay efectos. En el TRPAnt se produce un efecto de 9 ms ($F(1, 17)=11,01$, $p=,0041$). No hay manifestación de este efecto en TI ($F(1, 17)=2,17$, $p=,1593$).

El ANOVA llevado a cabo no mostró la existencia de más efectos principales, aunque sí se hallaron interacciones significativas entre variables que son altamente interesantes para los objetivos del estudio.

En primer lugar, se observó una interacción significativa entre las variables SOA x Validez en la variable final Tiempo de Contacto ($F(1, 17)=11,17, p=,0039$), representando de forma muy clara el patrón típico del efecto de orientación atencional espacial: menores tiempos de ejecución final en los ensayos válidos respecto a los inválidos en el SOA corto (efecto facilitador de la señal= 11 ms; $p=,0031$), y el patrón contrario, con mayores TC en los ensayos válidos respecto a los inválidos en el SOA de 1000 ms aunque no alcanzó la significatividad estadística (efecto de IR= 5 ms, $p=,1317$). Al analizar los componentes de la respuesta de alcance, se puede observar que los efectos de Facilitación e IR aparecen en el desencadenamiento de la acción como se ve en la interacción SOA x Validez en el TRPAg ($F(1, 17)=21,66, p=,0002$) (ver figura 6). Hay un efecto facilitador de la señal (8 ms, $p=,0021$) en el SOA corto y un efecto de IR (8 ms, $p=,0096$) en el SOA largo. En el Tiempo de Movimiento no se observa la interacción SOA x Validez ($F(1, 17)=,077, p=,7850$), aunque hay un efecto de facilitación en la variable validez (los ensayos validos son 3 ms más rápidos que los inválidos, ($F(1, 17)=7,24, p=,0155$) (ver figura 6). En el Tiempo de Reacción Premotor Antagonista (TRPAnt) se observa la interacción SOA x Validez ($F(1, 17)=9,49, p=,0068$) con una facilitación marginal de 7 ms ($p=,0784$) y una IR de 7 ms ($p=,0495$). En el Tiempo Intramuscular (TI) la interacción SOA x Validez no es significativa ($F(1, 17)=1,43, p=,2477$).

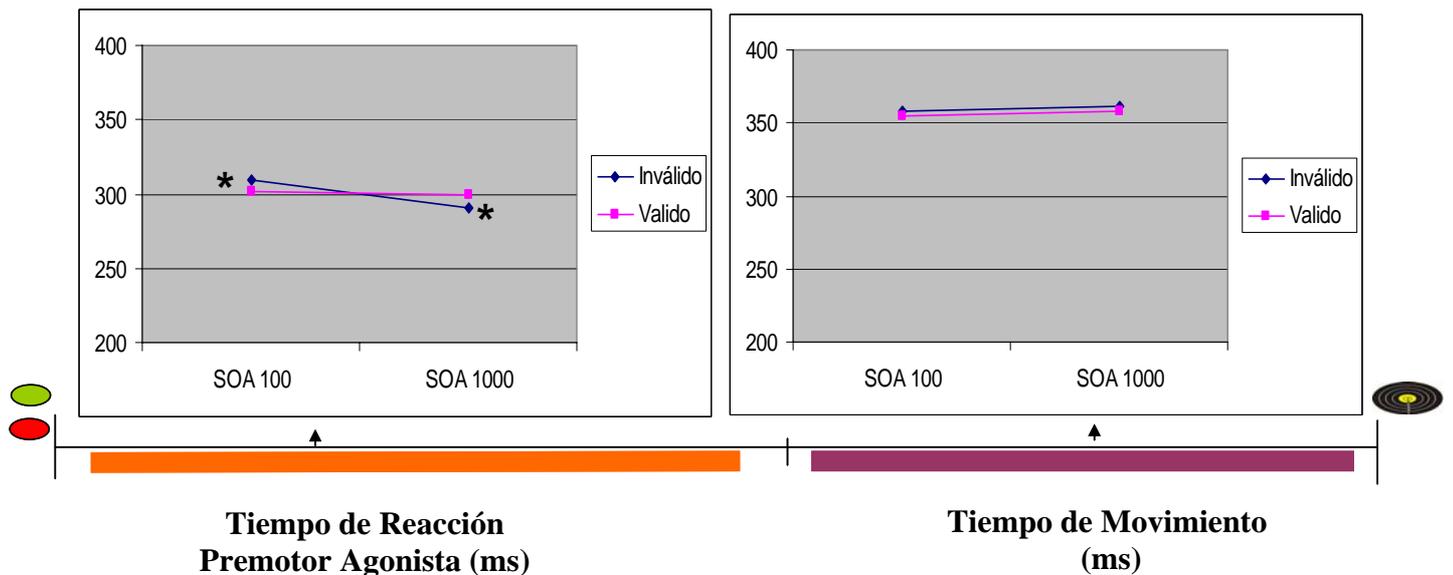


Figura 6. Media del Tiempo de Reacción Premotor agonista (TRPAg) y Tiempo de Movimiento (TM) en la interacción SOA x Validez.

La interacción SOA x Validez x Lateralidad no es significativa ni en el TC ($F(1, 17)=2,94$, $p=,1045$), ni en los subtramos que lo componen (TRPAg; $F(1, 17)=2,94$, $p=,1046$), TM; $F(1, 17)=,43$, $p=,5204$). Tampoco se da en el proceso muscular (TRPAnt; $F(1, 17)=2,93$, $p=,1046$, TI; $F(1, 17)=1,99$, $p=,1765$).

El análisis de los errores no nos proporciona tanta información como el de latencia. En la tabla 2 se presentan los porcentajes de errores de contacto en cada una de las condiciones experimentales manipuladas.

Tabla 2. Porcentaje de errores cinemáticos en las diferentes condiciones experimentales del experimento 1.

% de Errores	Errores Cinemáticos			
	SOA de 100 ms		SOA de 1000 ms	
	I	V	I	V
Contralateral	2,22	2,22	1,67	1,94
Ipsilateral	1,11	0,69	1,25	1,11

El ANOVA realizado con las variables SOA, Validez y Lateralidad muestra como unico resultado significativo la presencia de un mayor porcentaje de errores en la situación contralateral que en la ipsilateral en el SOA corto ($F(1, 17)=4,01$, $p=,0513$).

Discusión

Los resultados arrojan interesantes conclusiones sobre el efecto Simon ya que éste tiene su origen en las fases premotoras del movimiento (TRPAg) y no se manifiesta en los tramos motores (Tiempo de Movimiento) aunque sí se ha observado un efecto de facilitación de los ensayos contralaterales en el Tiempo Intramuscular (TI) por lo que podemos concluir que el efecto Simon, tiene un carácter preferentemente de preparación del movimiento, aunque pueda ser modulado en fases motoras (TI). En el efecto de preparación en el tiempo se ha encontrado que este efecto tiene su origen igualmente en las fases premotoras del movimiento (Tiempo de Reacción Premotor Agonista), no encontrándose tampoco en las fases motoras (Tiempo de Movimiento).

Por otro lado, se encuentra un efecto de Facilitación e Inhibición de Retorno en TC, en cual tiene su origen en TRPAg. Obsérvese que el efecto de IR sólo fue

significativo en el TRPAg, pero no en el TC. Eso era debido a que de hecho se produce una modulación de los efectos de validez en el Tiempo de Movimiento, en el que hay un efecto de facilitación de 3 ms. Esto nos lleva a pensar que los efectos de validez estén quizá compuestos de subefectos facilitatorios e inhibitorios. Así, mientras la señalización espacial por parte de la señal conlleva un coste en la detección del objetivo, y por tanto, en el inicio de la acción, la ejecución de la misma (el TM) puede verse beneficiada en el lugar de la señal. Esta disociación entre efectos facilitatorios e inhibitorios de la señalización espacial ha sido puesta de manifiesto por Lupiáñez, Ruz, Funes y Milliken (2007), aunque enfatizando el componente perceptivo-discriminativo.

Existe en la literatura sobre control motor, no obstante, un dato que podría considerarse en la misma línea de estos datos. Howard et al. (1999) realizaron una investigación en la que, en línea con nuestra investigación, estaban interesados en estudiar los procesos facilitatorios e inhibitorios inducidos por señales espaciales exógenas en el desarrollo de la acción de alcance de objetos. A diferencia de nuestros experimentos, las participantes debían alcanzar directamente la posición en que se presentaba el target, que siempre era del mismo color. Éste, al igual que la cue, se presentaba en una de cuatro posiciones posibles. Dada la naturaleza más directa de la tarea, el efecto de IOR (mayor TR cuando señal y objetivo se presentaba en el mismo lugar) se obtuvo desde los 200 ms. El dato más interesante se obtuvo, no obstante, en el análisis de la trayectoria de la mano al pasar por la posición de la señal (lugar a ignorar) en su camino a la posición del target. La hipótesis que manejaban los investigadores era que si la IR concierne la inhibición de la acción en su propia programación y desarrollo, debiera la trayectoria de alcance del target desviarse alejándose de la posición de la señal (supuestamente inhibida). Los resultados generales indicaron, no obstante, en línea con nuestros datos de Tiempo de Movimiento, una ausencia total de desviación en la trayectoria. Sin embargo, en el SOA de 200 ms (en el que hemos de recordar que se obtuvo también IR) se obtuvo una desviación de la trayectoria, pero, en contra de la hipótesis de partida, la desviación era acercándose, no alejándose, de la posición de la señal. Esta desviación hacia la señal reflejaba, al igual que nuestro dato del TM, la existencia de procesos facilitatorios de la acción, los cuales actúan en conjunto con otros procesos inhibitorios para determinar conjuntamente el incremento en TC en los ensayos señalados con señales exógenas que es conocido como efecto de Inhibición de Retorno.

Por último, no hemos encontrado la relación entre la Inhibición de Retorno y el Efecto Simon descrita en la literatura expuesta en la introducción (mayor efecto Simon en ensayos validos en SOA largo). Como señalaron Ivanoff et al. (2002), esta interacción es difícil de obtener, aunque ellos la observaron de forma significativa en su metaanálisis al incrementar de esa forma la potencia estadística. No obstante, estudios individuales como el nuestro han mostrado ausencia de interacción (Lupiáñez y Solano, 1997).

Experimento 2: Acción inicial de presionar teclas con los dedos

El objetivo de este nuevo experimento es replicar los resultados obtenidos en el experimento anterior, al tiempo que profundizaremos en el conocimiento de la modulación atencional sobre la dinámica muscular en la respuesta de alcance, Para ello, subdividimos el Tiempo de Contacto en un subtramo más, al medir también el tiempo de inicio del movimiento de la mano, esto es, el Tiempo de Reacción Motor. Para ello, los sujetos iniciaban cada ensayo presionando dos teclas una con cada mano, de forma que pudiéramos medir el inicio de la reacción cinemática, al dejar de presionar una de las teclas al comenzar la acción de alcance. Como se verá más adelante, la forma como se inician los ensayos (presionando con los dedos o con las palmas de las manos) tiene consecuencias sobre el desarrollo de la acción de alcance. Recordemos que para apretar una tecla sólo el músculo extensor de los dedos y el propio del dedo índice son reclutados, mientras que la acción de alcance se produce con el músculo deltoides. Por tanto las dos acciones a realizar se realizan con músculos distintos. Por ello hemos denominado este experimento como “Acción inicial de presionar con dedos”.

Método

Participantes

La muestra de este experimento está conformada por 20 estudiantes de psicología; 13 mujeres y 7 hombres, con una edad promedio de 25.4 años. El objetivo de la investigación les era explicado al finalizar su participación experimental

Aparatos y estímulos

Los aparatos y estímulos fueron los mismos que en el experimento 1, con la inclusión de un teclado para posibilitar la medición de un nuevo tramo temporal; el Tiempo de Reacción Motor (Ver figura 8 y explicación del nuevo diseño)

Procedimiento

El procedimiento fue exactamente el mismo que en el experimento anterior con la excepción de que fue introducida una pantalla inicial al principio del protocolo experimental en el que se le indicaba a los participantes que iniciaran la secuencia experimental pulsando las teclas “z” y “m” con los dedos índices de las manos izquierda y derecha respectivamente.

Diseño

El diseño si que cambio sustancialmente ya que el apretar las teclas posibilita la medida de un nuevo tramo; el Tiempo de Reacción Motor como se ve en la figura 7.

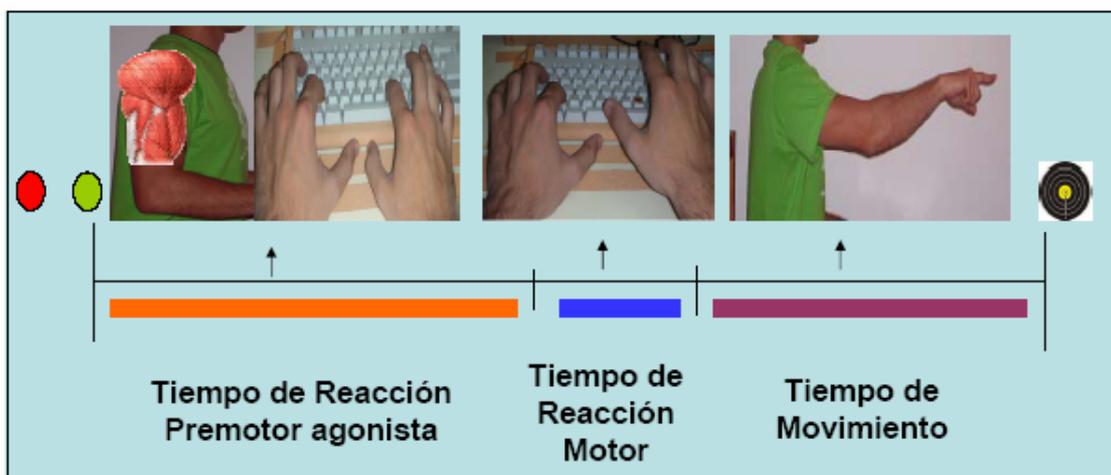


Figura 7: Esquema de variables dependientes medidas en experimento 2.

Línea temporal:

Tiempo de Reacción Premotor Agonista (TRPAg): Tiempo que transcurre desde que el estímulo es presentado hasta que el músculo agonista se activa

Tiempo de Reacción Motor (TRM): Tiempo que transcurre desde que el músculo se activa hasta que la mano se empieza a mover.

Tiempo de Movimiento (TM): Tiempo que transcurre entre el inicio del movimiento de la mano y el alcance a la diana.

Proceso muscular

Tiempo Intramuscular (TI): Tiempo que transcurre entre la activación del músculo agonista y antagonista.

Como puede comprobar el lector, en este experimento nos centraremos específicamente en los subtramos de la línea temporal (TRPAg, TRM y TM) y en el TI del proceso muscular. Como pudimos comprobar en el experimento anterior este tramo es el que permite diferenciar perfectamente los efectos reales del proceso muscular ya que los resultados del TRPAnt estaban influenciados por el movimiento realizado por el músculo agonista.

Resultados

En el análisis de los datos se descartaron aquellos ensayos donde los sujetos levantaron la mano contraria a la indicada por el objetivo (4,34%; errores cinemáticos), el Tiempo de Reacción Cinemático (suma del TRPAg y TRM) fue inferior a 200 ms (0,33%), por considerarse respuestas anticipadas, o mayor de 1200 ms (0,13%), y aquellos ensayos en los que el individuo tocó el objeto diana incorrecto (2,35%; errores de contacto). Además, un 2,53% de los ensayos fue eliminado por existir errores de transmisión entre el ordenador que registraba la tarea y el ordenador del polígrafo. Los datos de un participante fueron descartados ya que presentaban multitud de fibrilaciones que hacían que su registro electromiográfico presentará “picos” muchas irregularidades que contaminaban los Tiempos de Reacción musculares (Agonistas y Antagonistas).

Tabla 3. Promedio en las diferentes condiciones experimentales en las variables de la línea temporal (Tiempo de Reacción Premotor Agonista, Tiempo de Reacción Motor y Tiempo de Movimiento) y proceso muscular (Tiempo Intramuscular) en experimento 2. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y lateralidad (Simon) y su nivel de significatividad estadística.

LINEA TEMPORAL		TRPAg				TRM				TM			
EFECTOS DE VALIDEZ		S 100		S 1000		S 100		S 1000		S 100		S 1000	
		I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V
	Contralateral	337	334	315	328	195	194	190	186	199	201	201	203
	Ipsilateral	313	296	278	289	192	192	191	188	200	204	203	202
		10 *		-12 *		1		3		-3		-1	
EFECTO DE LATERALIDAD		Contral.		Ipsilat.		Contral.		Ipsilat.		Contral.		Ipsilat.	
		328		294		191		191		201		202	
		34 ***				1				-1			
PROCESO MUSCULAR		TI											
EFECTOS DE VALIDEZ		S 100		S 1000									
		I	V	I	V								
	Contralateral	32	30	34	31								
	Ipsilateral	29	33	36	32								
		-1		4									
EFECTO DE LATERALIDAD		Contral.		Ipsilat.									
		32		33									
		-1											
<p>***P<.001 / **P<.005 / *P<.05 S100= SOA de 100 ms / S1000: SOA de 1000 ms / I= Ensayo inválido / V=Ensayo válido Contral.: Ensayo contralateral / Ipsilat.: Ensayo Ipsilateral Línea temporal = TRPMAg: Tiempo de Reacción Premotor Agonista + TRM: Tiempo de Reacción Motor + TM: Tiempo de Movimiento Proceso muscular = TI: Tiempo Intramuscular Los valores de la tabla son aproximativos ya que han sido omitidos los decimales</p>													

Se encontró efecto Simon en el TRPAg (34ms, $F(1, 18)=208,98$, $p<.0001$), no existiendo manifestación de este efecto sobre las variables TRM ($F(1, 18)=,28$, $p=,6030$) y TM ($F(1, 18)=1,59$, $p=,2241$) ni en el proceso muscular (TI; $F<1$). Se halló un efecto de SOA altamente significativo en TRPAg observándose cómo la actividad muscular es más rápida en el SOA largo que en el corto (18 ms $F(1, 18)=78,39$, $p<.0001$). Este efecto también se produce en el Tiempo de Reacción Motor (5 ms $F(1, 18)=6,49$, $p=,0202$) pero no en TM ($F<1$). Como era de esperar, de nuevo se observó una interacción altamente significativa entre las variables SOA x Validez en el TRPAg

($F(1, 18)=16,96$, $p=,0006$) con una facilitación en el SOA corto (10 ms $F(1, 19)= 14,88$, $p= ,0011$) e Inhibición de retorno en el SOA largo (-12 ms $F(1, 19) = 7,85$ $p=,0118$). Esta interacción no se da en TRM ($F(1, 18)=1,478$, $p=,2400$), aunque si existe una facilitación marginalmente significativa en el SOA largo de 3 ms ($F=4,09$ $p=,0581$). No hay efectos en la interacción SOA x Validez en TM. En la mecánica muscular también encontramos un efecto en esta línea existiendo una interacción marginal entre SOA x Validez en el Tiempo Intramuscular ($F(1, 18)=3,46$, $p=,0791$) que tiene su origen en facilitación también marginal en SOA largo de 4 ms ($F(1, 18)=3,29$ $p=,0866$).

La interacción de tercer orden SOA x Validez x Lateralidad no es significativa para ninguno de los tramos estudiados

En la tabla 4 se presentan los valores descriptivos sobre las variables de porcentaje de errores cinemáticos y errores de contacto en cada una de las condiciones experimentales manipuladas.

Tabla 4. Porcentaje de errores en las diferentes condiciones experimentales en las variables de errores cinemáticos y errores de contacto en el experimento 2. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y lateralidad (Simon).

% de Errores	Errores Cinemáticos				Errores de Contacto			
	S 100		S 1000		S 100		S 1000	
	I	V	I	V	I	V	I	V
Contralateral	6,58	5,92	5,79	4,47	3,95	2,89	3,03	3,03
Ipsilateral	1,71	2,24	2,50	2,50	1,45	1,32	1,45	1,58

Tras los ANOVAS realizados a los errores cinemáticos y de contacto de las variables SOA x Validez x Lateralidad, los únicos efectos significativos son los efectos principales de la variable lateralidad. En errores cinemáticos se produce un mayor porcentaje de errores en los ensayos contralaterales (3,45%, $F(1, 18)=24,25$, $p=,0001$), al igual que en los errores de contacto (1,78 %; $F(1, 18)=20,84$, $p=,0002$). Esto indica que la señal elicitó respuestas automáticas en el brazo ipsilateral, haciendo que el sujeto falle en un mayor porcentaje de ensayos.

Discusión

En este experimento se corroboran los datos del anterior experimento respecto al efecto Simon ya que este tiene su origen en las fases premotoras del movimiento (TRPAg) y no se manifiesta en los tramos motores (Tiempo de Movimiento) por lo que se ratifica que es un mecanismo de selección de respuesta que no actúa en las fases motoras del movimiento. En el efecto de preparación en el tiempo (efecto de SOA) se ha encontrado que aunque este efecto tenga su origen en las fases premotoras del movimiento (Tiempo de Reacción Premotor Agonista), también se manifiesta en el TRM. Por tanto el efecto de preparación en el tiempo tiene una influencia que va más allá de las fases premotoras, influyendo en las fases motoras del movimiento cuando éste es más complejo.

Por otro lado, se encuentra un efecto de Facilitación muy robusto e Inhibición de Retorno en el TRPAg. Lo más interesante es la modulación de los efectos de validez en el TRM, ya que hay un efecto de facilitación en el SOA largo (también se produce en el TI). Recordemos que en el experimento 1 se obtenía un efecto de facilitación en el Tiempo de Movimiento. Este dato va en la misma línea ya que recordemos que el Tiempo del movimiento del experimento 1 ha sido dividido en este experimento en dos subtramos, Tiempo de Reacción Motor y Tiempo de Movimiento. Por tanto, este dato apoya los resultados del experimento anterior en la línea de que los efectos de validez están compuestos de subefectos facilitatorios e inhibitorios. Como indicábamos en el anterior experimento, la señalización espacial por parte de la señal conlleva un coste en la detección del objetivo, y por tanto, en el inicio de la acción. La ejecución de la respuesta (el TM) puede verse beneficiada en el lugar de la señal como demostraron Lupiáñez, et al. (2007) o Howard, et al. (1999). En conjunto este patrón de datos indica que la facilitación e IR actúan mayoritariamente en estadios premotores, aunque pueden ser modulados en los tramos motores.

Finalmente, es importante destacar que al igual que en el experimento 1 no hemos encontrado relación entre la Inhibición de Retorno y el Efecto Simon descrita en la literatura expuesta en la introducción (esto es, mayor efecto Simon en ensayos válidos en SOA largo).

Experimento 3: Acción inicial de presionar pulsadores con las manos

Este experimento varía del anterior en la posición inicial de las manos. Se suprime el teclado y se colocan dos pulsadores que hay que presionar con las palmas de las manos. Esta modificación instrumental posibilitará la comprobación de las hipótesis de la complejidad del movimiento que formulábamos en la introducción, en la que nos preguntábamos si el uso de distintos grupos musculares en dos acciones secuenciales puede producir mayores latencias en las acción y a qué nivel (premotor, motor o ambos), en comparación con una acción secuencial que utiliza músculos distintos para realizar las dos acciones. Obsérvese que, como comentábamos en la introducción, para pulsar una tecla y realizar la acción de alcance se utilizan primero los músculos de la mano-antebrazo y luego los del hombro (deltoides) mientras que para pulsar con la mano y realizar la acción de alcance se utilizan los mismos músculos (deltoides). En este experimento estamos también interesados en replicar los principales resultados obtenidos en los experimentos anteriores sobre la modulación de los efectos de señalización y aparición del efecto de preparación en el tiempo en los tramos motores y ver si la complejidad motora inicial en el movimiento influye en dichos efectos.

Método

Participantes

La muestra de este experimento está conformada por 20 estudiantes de psicología; 12 mujeres y 7 hombres, con una edad promedio de 22.4 años. El objetivo de la investigación les era explicado al finalizar su participación experimental.

Aparatos y estímulos

Los estímulos fueron los mismos que en el experimento 2, excepto que el teclado fue sustituido por dos pulsadores que se presionaban con las manos. Para ello se colocaron dos placas encima de los pulsadores con la figura de dos manos para que los participantes supieran donde colocar exactamente las manos.

Procedimiento y Diseño

El procedimiento y el diseño fue exactamente el mismo que en el experimento anterior.

Resultados

En el análisis de los datos de latencia se descartaron aquellos ensayos en los que los participantes levantaron la mano contraria (7,3%; errores cinemáticos), y aquellos en los que el Tiempo de Reacción Cinemático (suma del TRPAg y TRM) fue menor que 200 ms o mayor que 1200 ms (1,06%), así como aquellos ensayos donde los participantes tocaron el objeto incorrecto (0,67%; errores de contacto). Además, un 2,1% de los ensayos fue eliminado por existir errores de transmisión entre el ordenador que registraba la tarea y el ordenador del polígrafo. Un participante fue eliminado por una mala señal muscular, contaminada por múltiples fibrilaciones que hacían muy complicado el análisis de los Tiempos de Reacción Musculares (Agonista y Antagonista).

Tabla 5. Promedio en las diferentes condiciones experimentales en las variables de la línea temporal (Tiempo de Reacción Premotor Agonista, Tiempo de Reacción Motor y Tiempo de Movimiento) y proceso muscular (Tiempo Intramuscular) en experimento 3. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y lateralidad (Simon) y su nivel de significatividad estadística.

LINEA TEMPORAL		TRPAg				TRM				TM			
EFECTOS DE VALIDEZ		S 100		S 1000		S 100		S 1000		S 100		S 1000	
		I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V
	Contralateral	378	370	344	355	103	100	109	109	306	304	308	309
	Ipsilateral	346	339	308	317	101	98	107	105	312	309	313	314
		8 *		-10 *		3		1		3		-1	
EFECTO DE LATERALIDAD		Contral.		Contral.		Ipsilat.		Contral.		Ipsilat.		Contral.	
		362		327		105		103		307		312	
		35 ***				3 *				-5			
PROCESO MUSCULAR		TI											
EFECTOS DE VALIDEZ		S 100		S 1000									
		I	V	I	V								
	Contralateral	45	48	52	45								
	Ipsilateral	49	44	49	49								
		1		3									
EFECTO DE LATERALIDAD		Contral.		Ipsilat.									
		48		48									
		0											
<p>***P<.001 / **P<.005 / *P<.05 S100= SOA de 100 ms / S1000: SOA de 1000 ms / I= Ensayo inválido / V=Ensayo válido Contral.: Ensayo contralateral / Ipsilat.: Ensayo Ipsilateral Línea temporal = TRPMAg: Tiempo de Reacción Premotor Agonista + TRM: Tiempo de Reacción Motor + TM: Tiempo de Movimiento Proceso muscular = TI: Tiempo Intramuscular Los valores de la tabla son aproximativos ya que han sido omitidos los decimales</p>													

El efecto de lateralidad o Simon se origina en TRPAg como en los anteriores experimentos (35 ms, $F(1, 18)=58,66$, $p<.0001$). No obstante, a diferencia de los resultados obtenidos anteriormente, también se obtuvo un pequeño efecto Simon en el Tiempo de Reacción Motor (3 ms, ($F(1, 18)=7,32$, $p=,0145$). Y lo más interesante quizá, se observó un patrón inverso en Tiempo de Movimiento ya que en este tramos los ensayos contralaterales son 5 ms más rápidos que los ipsilaterales ($F(1, 18)=22,26$, $p=,0002$). No se observan efectos de lateralidad en el proceso muscular (TI; $F<1$).

Se halló un efecto de SOA altamente significativo (28 ms, $F(1, 18)=58,66$, $p<.0001$) en el inicio del movimiento, con un patrón inverso en Tiempo de Reacción Motor (-7 ms $F(1, 18)=22,32$, $p=.0002$) y en el Tiempo de Movimiento. (-3 ms $F(1, 18)=3,97$, $p=.0616$). Como era de esperar, de nuevo observamos la interacción SOA x Validez en TRMAg ($F(1, 18)=16,46$, $p=.0007$) con una facilitación de 8 ms ($F(1, 18)=5,94$, $p=.0253$) en SOA corto e IR de -10 ms en SOA largo ($F(1, 18)=7,01$, $p=.0164$). En TRM no encontramos esta interacción ($F(1, 18)=,47$, $p=.500$) aunque si observamos de nuevo una facilitación de 2 ms en la variable Validez ($F(1, 18)=4,89$, $p=.0401$). En TM se halló una interacción marginal entre estas dos variables ($F(1, 18)=3,41$, $p=.0813$). No se ha encontrado relación entre las variables SOA x Validez x Lateralidad en TRMAg, TRM y TM ($F<1$ en los tres tramos)

En la tabla 6 se presenta una tabla resumen con todos los valores descriptivos sobre las variables de porcentaje de errores cinemáticos y errores de contacto en cada una de las condiciones experimentales manipuladas.

Tabla 6. Porcentaje de errores en las diferentes condiciones experimentales en las variables de errores cinemáticos y errores de contacto en experimento 3 Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y lateralidad (Simon) y su nivel de significatividad estadística.

% de Errores	Errores Cinemáticos				Errores de Contacto			
	S 100		S 1000		S 100		S 1000	
	I	V	I	V	I	V	I	V
Contralateral	11,75	9,80	10,62	12,26	6,57	6,57	6,87	7,85
Ipsilateral	5,65	6,67	6,89	7,18	3,91	5,60	5,17	5,83

Tras los ANOVAS realizados a los errores cinemáticos y de contacto con el diseño SOA x Validez x Lateralidad, el único efecto que fue significativo fue nuevamente el efecto principal de la variable lateralidad. En errores cinemáticos se produce un mayor porcentaje de errores en los ensayos contralaterales (4,51%, $F(1, 18)=14,09$, $p=.0014$), al igual que en los errores de contacto (1,84 %, $F(1, 18)=4,82$, $p=.0416$). De nuevo, esto indica que la señal elicit respuestas automáticas en el brazo ipsilateral, haciendo que el sujeto falle en mayor porcentaje en esta condición.

Discusión

El efecto Simon como en los anteriores experimentos tiene su origen en las fases premotoras del movimiento (TRPAg), aunque en este experimento, y a diferencia de los anteriores, hemos encontrado este efecto también en las fases motoras, (la latencia de los ensayos ipsilaterales era menor en TRM y mayor en TM, respecto a los ensayos contralaterales). La inversión de este efecto en el TM creemos que responde a un mayor control en la ejecución del movimiento cuando en el inicio de la acción (tanto premotor; TRPAg, como motor; TRM) es más rápido, es decir los ensayos ipsilaterales son más rápidos en TRPAg y TRM, y esto puede causar que en el control del movimiento en la ejecución del mismo, se necesite un mayor control para alcanzar la diana. Por ello en el tramo de TM los ensayos ipsilaterales son más lentos. La aparición de este efecto en las fases motoras del movimiento nos lleva a concluir que aunque el efecto Simon esté producido por un mecanismo eminentemente de selección de respuesta, puede observarse también en las fases motoras en función de la complejidad del movimiento.

El efecto de preparación en el tiempo se origina en las fases premotoras (TRPAg) siendo los ensayos en el SOA largo más rápidos que en el SOA corto, ya que hay más tiempo para prepararse. En los tramos motores (TRM y TM) se produce una inversión de este patrón, ya que se observan latencias más cortas en estos tramos en el SOA corto. Ya en el anterior experimento encontramos la manifestación del efecto de preparación en el tiempo en el TRM, por lo que concluíamos que este efecto se puede manifestar en tramos motores. En el experimento 3 hemos encontrado que cuando la complejidad del inicio del movimiento aumenta, este efecto se manifiesta en los tramos motores pero cambiando su tendencia. Creemos que este resultado va en la línea del obtenido con el efecto Simon en este experimento, es decir, cuando el músculo (TRPAg) se activa más rápidamente (SOA largo), el movimiento necesita de mayor control para realizarse correctamente, por lo que en la condición de SOA largo en los tramos motores (TRM y TM) se realizará de una forma más lenta. La diferencia con el curso temporal del Simon es que éste cambia su tendencia en el TM con respecto al inicio y respuesta cinemática de la acción, es decir los ensayos ipsilaterales son más lentos en TM, mientras que en TRPAg y TRM son más rápidos. En cambio el efecto de preparación en el tiempo o efecto SOA invierte su tendencia (los ensayos en el SOA corto son más rápidos) en los

dos tramos motores (TRM y TM). Cómo vemos, el efecto de preparación en el tiempo y el efecto Simon siguen cursos temporales distintos según la complejidad motora inicial.

En la interacción SOA x Validez hay un efecto de Facilitación muy robusto e Inhibición de Retorno en TRPAg, que refuerza los datos obtenidos anteriormente sobre la naturaleza perceptual de estos efectos. Aunque lo más interesante es la modulación de los efectos de validez en el TRM y en el TM, con efectos de facilitación. Recordemos que en el experimento 1 se obtenía un efecto de facilitación en el Tiempo de Movimiento y en el experimento 2 una facilitación en el SOA largo en TRM. Por tanto y atendiendo a los tres experimentos podemos concluir que los efectos de validez están compuestos de subefectos facilitatorios e inhibitorios. Si tenemos en cuenta que hemos encontrado efectos facilitatorios en todos los experimentos en fases motoras pero nunca IR podemos concluir que aunque ambos efectos son predominantemente perceptuales la facilitación tiene un componente motor mayor que la IR. Así, los dos efectos inducidos por las señales periféricas, facilitación e IOR, estarían producidos por mecanismos distintos, quizá de forma simultánea, como ya hipotetizaron Posner y Cohen (1984), y recientemente se ha podido comprobar (Lupiáñez et al., 2007).

Los resultados obtenidos en el efecto SOA y Simon, cuya manifestación está influida por la supuesta complejidad del movimiento, nos llevan a realizar un análisis conjunto de los tres experimentos en el siguiente apartado para determinar por una parte si la complejidad inicial afecta a los diferentes tramos temporales y, si es así, qué patrón temporal siguen. Por otra parte queremos realizar un análisis conjunto de los tres experimentos para determinar si, como decían Ivanoff et al. (2004), el hecho de no haber obtenido como significativa la interrelación de la IR y Simon se debe a un problema de potencia estadística.

Análisis conjunto de los experimentos

Realizaremos un análisis conjunto de los tres experimentos, ya que los efectos encontrados hasta ahora tienen su explicación en la complejidad inicial del movimiento. Según se desprende de esos resultados, el uso del mismo grupo de músculos para dos acciones consecutivas podría ralentizar el movimiento en sus fases premotoras (Experimento 3) respecto a cuando se utilizan grupos musculares distintos

(Experimento 2). Por tanto, estos movimientos secuenciales comparados con un movimiento simple (Experimento 1) presentarían mayores latencias. Además, la complejización de la acción inicial podría afectar a otros parámetros de la acción de alcance, y a su modulación atencional. Por tener una idea más clara de este patrón de datos entre experimentos, en el siguiente apartado analizaremos los tramos temporales del movimiento para corroborar así nuestra hipótesis. Compararemos los tramos temporales que comparten los tres experimentos (TRPAg, TI, TRPAnt, TC) para luego pasar a una comparación más específica de los experimentos 2 y 3, con las variables que comparten (TRM y TM). Por último compararemos los errores cinemáticos en experimentos 2 y 3 y errores de contacto en los tres experimentos.

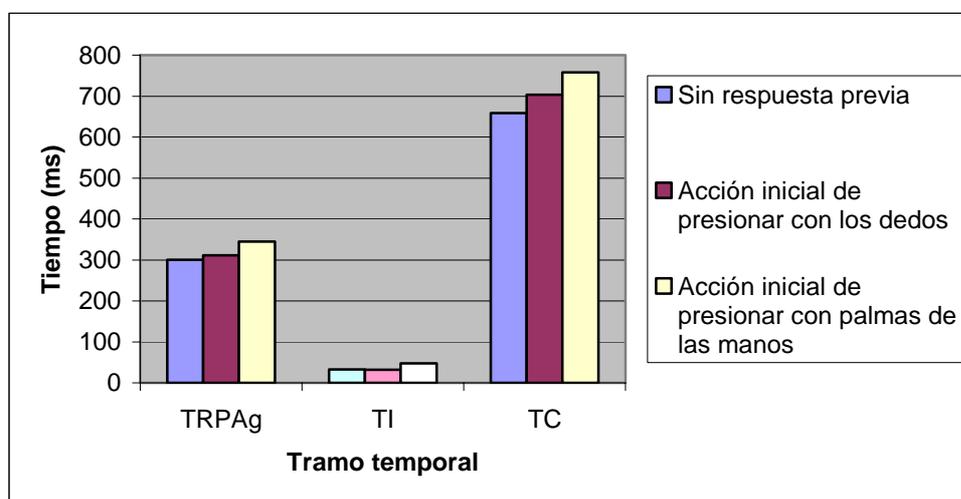


Figura 8. Media del Tiempo de Reacción Premotor Agonista (TRPAg), Tiempo Intramuscular (TI) y Tiempo de Contacto (TC) en los tres experimentos analizados.

Hay interacción en los TC finales entre los 3 experimentos ($F(2, 53)=9,99$, $p=,0002$) (ver figura 8), de forma que el TC es 45 ms más rápido en el Experimento 1 (sin respuesta previa) que en el Experimento 2 ($F(1, 35)=4,31$, $p=,0454$), y en éste 33 ms más rápido que en Experimento 3 ($F(1, 36)=7,58$, $p=,0092$). En el principio de la acción (TRPAg) hay diferencia significativa entre los tres experimentos ($F(2, 53)=7,27$, $p=,0016$), aunque el patrón de resultados no es el mismo que en TC ya que no hay diferencias significativas entre los Experimentos 1 y 2 (11 ms $F(1, 35)=1,03$, $p=,3166$), pero sí entre el Experimento 3 con respecto al 1 (45 ms, $F(1, 35)=11,22$, $p=,0019$) y al 2 (33 ms, $F(1, 36)=7,58$, $p=,0092$). En relación al TI, existen ciertas diferencias entre

experimentos aunque estadísticamente sólo fueron de forma marginal ($F(2, 53)=3,00$, $p=,05820$), presentando el mismo patrón de datos que el TRPAg. El experimento 3 es 15 ms más lento que los otros dos experimentos (ambas comparaciones $p<.05$), sin que existieran diferencias en el TI entre los experimentos 1 y 2 ($F(1, 35)=,01$, $p=,9086$). El control del movimiento es mucho mayor en el experimento 3 lo que hace que el músculo antagonista se active más tarde.

Los tramos TRM y TM pueden ser comparados entre los experimentos 2 y 3 (Ver figura 9).

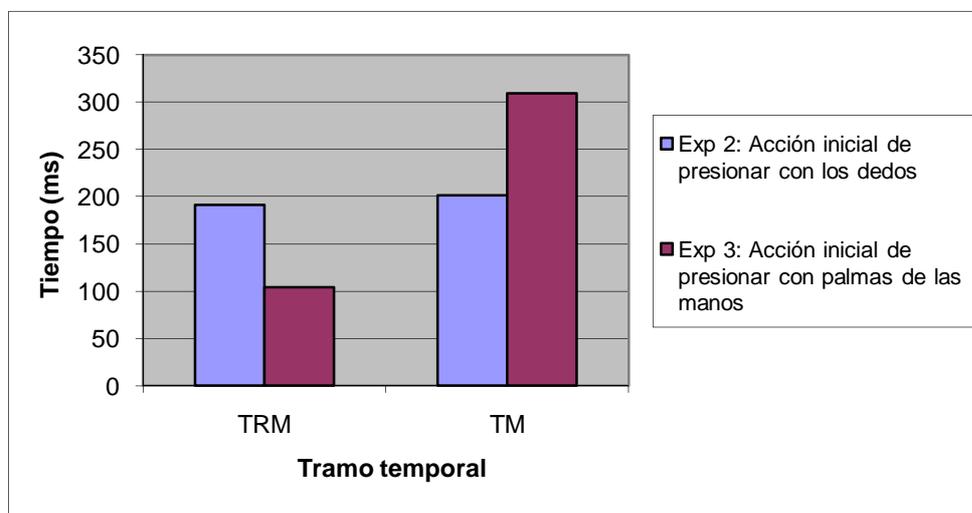


Figura 9: Media del Tiempo de Reacción Motor (TRM) y Tiempo de Movimiento (TM) en los experimentos 2 y 3.

El TRM en el Experimento 3 es 87 ms más rápido que en el Experimento 2 ($F(1, 36)=332,43$, $p<.0001$), mientras que en el TM en el Experimento 2 es 108 ms más rápido que en el Experimento 3 ($F(1, 36)=59,40$, $p<.0001$). Si atendemos a los resultados obtenidos en el TRPAg en estos dos experimentos, podemos concluir que cuando en un tramo los participantes son muy rápidos a nivel muscular (TRPAg), en el siguiente tramo son más lentos (TRM) y por tanto serán más rápidos en el siguiente (TM). Esto podría deberse a que cuando el músculo se activa de forma más temprana o rápida, esto es, tras un tiempo de reacción muscular menor, se necesita más control en el movimiento siguiente para alcanzar el objetivo. Existen hallazgos en el campo del control motor que van acordes con este dato. Así, Wing y Kristoferson (1973)

desarrollaron un modelo de cómo se controla la producción rítmica de una conducta (p.ej., la repetición de una presión de tecla a una tasa constante). La idea base es que hay un reloj central, un oscilador que genera pulsos a una tasa constante, aunque con cierta variabilidad. Es decir, si el reloj está oscilando a 5 ciclos por seg (un pulso cada 200 ms), la secuencia de intervalos entre pulsos podría ser 189, 201, 193, 205 ms. Este modelo predice que la correlación entre la duración de un intervalo entre 2 respuestas y el siguiente debe ser negativa. De hecho un análisis de los datos de los experimentos 2 y 3 mostró una correlación negativa significativa a través de los sujetos entre el TRPAg y el TRM ($r=-.38$, $p<.05$), y entre el TRM y el TM ($r=-.69$, $p<.05$).

Esto podría deberse a que si la demora motora para una respuesta resulta ser más larga de lo normal, esto produce un alargamiento del intervalo previo y un acortamiento del siguiente. Es decir, un intervalo más largo de lo normal tenderá a ir seguido de uno más corto de lo normal, y uno más corto de uno más largo (correlación negativa).

Aunque estos datos han de ser tomados con cautela ya que hay una explicación alternativa a la diferencia entre los tramos motores (TRM y TM) en los experimentos 2 y 3. Recordemos que para medir el TRM hay que apretar bien dos teclas con los dedos (Experimento 2) o dos pulsadores con las manos (Experimento 3). Las leyes de la física relacionada con el área y con la fuerza nos dicen que si el área es muy pequeña la presión que se realiza es constante y la distribución de la fuerza es la misma, mientras que si la superficie es más grande las distribuciones de fuerza no son constantes. Por tanto, si se realiza un mínimo movimiento cuando se presionan los pulsadores con las manos (Experimento 3) cambia la distribución de fuerzas sobre el área y se puede producir el “release” del mecanismo de una forma más sencilla que cuando la superficie que pulsamos es más pequeña, como es una tecla.

El ANOVA conjunto de los errores cinemáticos de los 3 experimentos revela un aumento de los errores a medida que el inicio del movimiento aumenta su complejidad ($F(2, 53)=19,94$, $p<,0001$). Como vimos en los análisis individuales de cada experimento la única variable afectada es la lateralidad, de forma que hay más errores en los ensayos contralaterales que ipsilaterales en todos los experimentos ($F(1, 53)=35,86$, $p<,0001$). La interacción Experimento x Lateralidad es significativa ($F(2, 53)=4,38$, $p=,0174$), observándose un mayor efecto Simon (más errores en ensayos

contralaterales que en ipsilaterales) a medida que el inicio del movimiento aumenta su complejidad. Este dato es coherente con los resultados vistos en los tramos cinemáticos del movimiento que mostraban un aumento de las latencias en general cuando el inicio del movimiento es más complejo. En esta misma línea de resultados, el ANOVA realizado en los errores de contacto en los experimentos 2 y 3 muestra un mayor número de errores en el experimento 3 ($F(1, 36)=9,72, p=,0036$) así como un mayor efecto Simon en el experimento 3 que en el 2 ($F(1, 36)=15,31, p=,0004$).

Discusión general

En este estudio estábamos interesados en manipular la complejidad del inicio de la acción y ver cómo éste influye en las latencias y en los efectos atencionales estudiados. En tareas complejas como las de discriminación hay que seleccionar la respuesta adecuada de acuerdo a la dimensión estimular a la que se asigna arbitrariamente cada respuesta (p.ej; Danziger et al., 1998; Lupiáñez, et al., 1997; Pratt et al., 1997). Normalmente se ha manipulado como los efectos atencionales (orientación espacial, Facilitación e Inhibición de Retorno) y atencionales-motores (preparación temporal, o efecto de SOA; efecto Simon), etc., afectan al tiempo de reacción y no tanto la complejidad de la acción. Por otro lado, y en menor medida, se ha investigado cómo la complejidad motora afecta al inicio de la acción, para investigar si la preparación motora es completa cuando se inicia ésta, o se termina durante del desarrollo de la parte inicial de la misma. (Fishman 1984; Canic y Franks 1989, Van Donkelaar y Franks, 1991). Nosotros estábamos interesados en estudiar el efecto de las diferentes variables que subyacen a los diferentes efectos atencionales estudiados en nuestro trabajo sobre los diferentes tramos de la acción. Por otro lado, estábamos interesados en investigar el efecto de la acción inicial sobre los diferentes tramos de respuesta al target (y sobre los diferentes efectos atencionales). Para ello usamos el paradigma de costes y beneficios de Posner y Cohen (1984) para medir los efectos atencionales de preparación o “Foreperiod” (Niemi y Näätänen, 1981), Facilitación e Inhibición de Retorno (IR) (Posner y Cohen, 1984) y Simon (Simon et al., 1970) en una tarea de alcance de objetos con la novedad de segmentar el Tiempo de reacción en distintos subtramos temporales tanto premotores como motores, siguiendo la nomenclatura empleada por Botwinick y Thompson (1966).

La manipulación de la complejidad inicial que realizamos da como resultado menores latencias en la acción final (TC) cuando el movimiento es simple comparado con movimientos secuenciales. Este dato tiene amplio consenso en la literatura. Ya en 1960, Henry y Rogers realizaron varios estudios postulando la teoría de “memory drum” en la que investigó la naturaleza específica de los movimientos y cómo las diferencias en complejidad podían afectar al tiempo de reacción, concluyendo que los movimientos más complejos (entendiendo complejo como aquel movimiento que utiliza más movimientos y por tanto más músculos) requerirá más tiempo para iniciarse y ejecutarse, ya que un programa más complejo debe de ser puesto en marcha. Así, el Tiempo de Reacción aumentará en función de la complejidad del movimiento. Aunque nuestros resultados en el TC apoyen esta teoría, en el inicio de la acción (TRPAg) y en el proceso muscular (TI) no hay diferencias en los experimentos 1 y 2, siendo el segundo experimento de hecho más complejo ya que había que realizar dos acciones secuenciales, como se comprueba en la acción final. Por tanto el realizar dos acciones o una, aunque afecte al TC final, no parece afectar al inicio de la acción. Experimentos similares al nuestro han encontrado datos en esta línea. Así, Franks et al. (1998) compararon un movimiento de flexión con uno de flexión-extensión de codo, encontrando que los tiempos de reacción musculares en el inicio de la acción fueron más lentos en el movimiento de flexión-extensión. Lo más interesante es que manipularon el tiempo entre flexión y extensión y encontraron que cuando se fraccionaba el movimiento no había diferencias en los tiempos de reacción. Ketelaars et al. (1998) llevaron a cabo un experimento en esta línea y establecieron que cuando la pausa entre secuencias de movimientos era mayor de 200 ms, los participantes programan durante el transcurso de la acción por lo que no hay diferencias en los tiempos de reacción premotores. Algo similar ocurre en nuestro caso entre los experimentos 1 y 2, ya que aunque el experimento 2 se componga de una secuencia de movimientos y el experimento 1 no, la pausa entre los dos movimientos en el experimento 2 es mayor que 200 ms, ya que la secuencia de eventos en la pantalla supera con creces ese intervalo de tiempo

En cambio en el experimento 3 el Tiempo de Reacción Premotor es significativamente mayor que en los otros dos experimentos, lo cual apoya nuestra hipótesis de partida de que la acción de pulsar las teclas no interfiere en la acción de

alcance de objetos porque el juego de músculos implicados es distinto. Por el contrario, en el experimento 3 los participantes tienen que usar los mismos músculos implicados en la acción de alcance, para una acción diferente. De ahí que el Tiempo de Reacción Premotor Agonista sea mayor en el experimento 3 que en el Experimento 2. Este dato se replica en la mecánica muscular, siendo la activación del músculo antagonista (deltoides posterior) significativamente más lenta en experimento 3 que en el experimento 1 y 2 (sin diferencias significativas entre los dos últimos). Este dato es más consistente aún, si tenemos en cuenta que se ha demostrado que la pausa entre movimientos hace que no existan diferencias entre movimientos simples y complejos (experimento 1 y 2), por lo que la clave para explicar las mayores latencias en el experimento 3 está en el grupo de músculos utilizados. Esto se debe a que los deltoides al apretar y mantener los pulsadores con las manos se encuentran en una posición de contracción isométrica (el músculo se tensa, pero sin moverse), de tal manera que tienen que relajarse previamente para realizar la acción (concéntrica en el caso del deltoides anterior y excéntrica en caso del deltoides posterior), lo que supone un programa motor más complejo o la interferencia de dos programas motores para realizar acciones con los mismos músculos.

Esto nos lleva a concluir por una parte que la posición inicial de los miembros que ejecutan la acción puede influir de una manera determinante en las latencias de nuestros experimentos, y por otra, que aunque el movimiento secuencial del experimento 2 haga que su TC sea mayor que en un movimiento simple como el del experimento 1 no hay diferencias en el inicio de la acción (TRPAg), de ahí que concluyamos que parte del movimiento se programa durante el desarrollo de la acción. Otra prueba de la programación durante el transcurso de la acción del movimiento proviene del análisis de las fases motoras en los experimentos con secuencia de movimientos compleja (Experimentos 2 y 3) ya que los Tiempos de Reacción Motor y de Movimiento presentan un patrón distinto dependiendo del movimiento (En experimento 3 el TRM es más rápido que en experimento 2 el TM es más rápido). Como describimos en el análisis conjunto de los experimentos realizados, los datos premotores (TRPAg) y motores (TRM, TM) indican que la latencia de un tramo afecta al tiempo del siguiente de forma inversa, es decir cuando los participantes son muy rápidos a nivel muscular (TRPAg), el siguiente tramo es más lento (TRM) y por tanto

será más rápido en el siguiente (TM). Apuntábamos que esto podría deberse a que cuando el músculo se activa de forma más temprana o rápida, se necesita más control en el movimiento para alcanzar el objetivo. Hallazgos similares han sido descritos en el control motor, como el modelo de producción rítmica de Wing y Kristoferson (1973). Este modelo predice que la correlación entre la duración de un intervalo entre 2 respuestas y el siguiente debe ser negativa. Es decir, un intervalo más largo de lo normal tenderá a ir seguido de uno más corto de lo normal, y uno más corto de uno más largo (correlación negativa), como observamos en los datos de los experimentos 2 y 3.

Tabla 7: Resumen de los efectos de facilitación, IR, Simon y Preparación en el tiempo en los tramos temporales medidos. En negrita se resatan los efectos que son significativos.

	TRPAg		TRM		TM		TI	
Experimento 1	Fac.	IR	Fac.		IR		Fac.	IR
	SOA	Simon	SOA		Simon		SOA	Sim.in
Experimento 2	Fac.	IR	Fac.	IR	Fac.	IR	Fac.	IR
	SOA	Simon	SOA	Simon	SOA	Simon	SOA	Simon
Experimento 3	Fac.	IR	Fac.	IR	Fac.	IR	Fac.	IR
	SOA	Simon	SOA.in	Simon	SOA.in	Sim.in	SOA	Simon

Fac.= Facilitación, IR: Inhibición de Retorno, SOA: Efecto de preparación en el tiempo (Ensayos de SOA largo más rápidos que en SOA corto), SOA.I: Inversión del efecto de preparación en el tiempo (Ensayos de SOA corto más rápidos que en SOA largo), Simon: Efecto Simon (Ensayos ipsilaterales más rápidos que contralaterales), Sim.I: Simon invertido (Ensayos contralaterales más rápidos que ipsilaterales).

Por otra parte, este trabajo tenía como un objetivo principal el estudio de la naturaleza premotora vs. motora de efectos atencionales como la orientación atencional espacial (Facilitación e IR), la preparación temporal, y el efecto Simon (ver tabla 7). De acuerdo a los resultados de nuestros 3 experimentos, como puede observarse en la tabla 7, el efecto de IR y facilitación parecen tener su origen en las fases premotoras del movimiento (TRPAg). Sin embargo hemos encontrado un efecto de facilitación en el SOA largo en experimento 2, y en los experimentos 1 y 3 los datos van en la misma tendencia, aunque no son estadísticamente significativos. Además hay un efecto de facilitación (menores latencias en ensayos validos) en los tramos motores del movimiento. Todo ello nos hace concluir que los procesos que producen el efecto de IR

(y en general también el efecto de facilitación del SOA corto), actuarían en estadios premotores de la información, anteriores por tanto, a la respuesta motora (Chica y Lupiáñez 2004, Prime y Ward 2004), aunque el efecto de la señal espacial puede manifestarse también de forma facilitadora y con un efecto muy pequeño en las fases motoras. Esto refuerza la hipótesis de que el efecto de IR que se observa en la acción final (el TR en los experimentos habituales y el TC en nuestros experimentos) está de hecho compuesto por subefectos facilitatorios e inhibitorios dependiendo de la fase temporal que se analice, como bien encontraron autores como Howard et al. (1999), o el componente del procesamiento que se enfatice (Lupiáñez et al., 2007). El mecanismo de facilitación en cambio sí se manifiesta de una forma más consistente en las fases motoras del movimiento, lo que significaría que los mecanismos de facilitación e IR son distintos.

Respecto al efecto Simon, éste se ha observado exclusivamente en las fases premotoras (TRPAg) en los dos primeros experimentos, y también en las fases motoras (TRM y TM) en el tercer experimento, con una mayor complejidad inicial. En este caso, podemos concluir que la complejidad inicial del movimiento influye de manera determinante en la manifestación del efecto Simon, de tal manera que determina el que se observe el efecto o no en fases motoras de la acción de alcance y, por otra parte, que el porcentaje de errores en el comienzo de la acción motora (Errores cinemáticos) y en el transcurso de la acción (Errores de Contacto) sea mayor para los ensayos contralaterales. Por tanto, los datos nos llevan a concluir que el efecto Simon afecta a etapas posteriores a la selección de respuesta, observándose en fases motoras de la acción al menos cuando se incrementa la complejidad de la acción inicial. En este sentido, nuestros datos del tercer experimento no van en la línea de autores como Hommel (1993a) que mantienen que este mecanismo se da en la fase de percepción del estímulo.

No encontramos relación entre la IR y el efecto Simon descrita en la literatura. No obstante debemos de tener en cuenta que la ausencia de esta interacción no es nueva en la literatura (e.g., Lupiáñez et al., 1997; Lupiáñez y Milliken, 1999; Lupiáñez y Solano, 1998; Pratt et al., 1997) y puede deberse a que no sea significativa por la falta de potencia estadística como mantienen Ivanoff et al. (2002). Ellos sí observaron la

interacción de forma significativa al realizar un metaanálisis de varios estudios. El problema de esta explicación es que nosotros no la hallamos ni siquiera en un análisis conjunto de los tres experimentos con una muestra total de 53 sujetos. Por tanto, siguiendo la lógica de los factores aditivos, la ausencia de interacción apoyaría que estos dos efectos operen en distintos estados de procesamiento. Esta proposición se ve además apoyada por el hecho de que no encontramos un efecto de IR en las fases motoras del movimiento (en todo caso se observa facilitación), pero sí encontramos efecto Simon en el tercer experimento en las fases motoras (TRM). Abrahamse et al. (2008) recientemente han encontrado una interacción entre Simon y orientación atencional pero con señales de orientación endógena, mientras nosotros no hemos encontrado esa relación entre el efecto Simon y la IR pero con señales exógenas. Se ha observado que la atención exógena y endógena son diferentes, y pueden modular de forma distinta el procesamiento espacial (Funes, Lupiáñez y Milliken, 2007). Por tanto, mientras que la orientación endógena parece modular el efecto Simon (Abrahamse et al., 2008), la exógena parece modular más bien el conflicto estimular (Lupiáñez y Funes, 2005).

Por último la investigación realizada, arroja interesantes resultados sobre el efecto de preparación en el tiempo o también conocido como reorientación o reorientación (Karlin, 1959). Queríamos comprobar si este efecto de reorientación se manifestaba en las fases motoras del movimiento para comprobar si los mecanismos de orientación en el tiempo surgen en estadios tempranos del procesamiento de la información, no teniendo relación con la programación motora o el control de la acción en tiempo real. Hemos observado que el efecto de preparación en el tiempo aunque tenga su origen en las fases premotoras del movimiento (Tiempo de Reacción Premotor Agonista), aparece también en el TRM cuando la complejidad de la acción inicial aumenta, en el segundo Experimento, por lo que podemos concluir que la influencia de los mecanismos de la orientación en el tiempo influyen más allá de los estadios tempranos de percepción y selección y preparación de respuesta cuando la complejidad de la acción inicial aumenta. Estos resultados no son totalmente nuevos en la literatura, ya que Bjørklund (1992) encontró que el Tiempo de Reacción Motor puede ser influenciado por el SOA. Cuando la complejidad aumenta aun más en el tercer

experimento se da una inversión del efecto de orientación en el tiempo en los dos tramos motores utilizados. Es decir tanto en el TRM como en el TM los participantes son más rápidos en los ensayos de SOA corto. Por tanto, podríamos concluir por una parte que la dificultad de la acción inicial influye en la manifestación del efecto SOA en las fases motoras, y por otra parte que cuando esa dificultad aumenta, se da la inversión del efecto en la fases motoras del movimiento debido quizás a la necesidad de un mayor control del movimiento al ser la activación muscular más rápida. Es decir, quizá como consecuencia de un inicio demasiado rápido de la acción, en el SOA largo debido a la preparación, se requiere con posterioridad un mayor control sobre la ejecución de la respuesta (TRM y TM). Siendo esta inversión del efecto SOA, por tanto un efecto causado por la mecánica del movimiento.

A modo de resumen y conclusión, en esta investigación estábamos interesados en manipular la complejidad del inicio de la acción y ver cómo esto influye en las latencias y en los efectos atencionales estudiados. Encontramos que la complejidad en el inicio de la acción esta influenciada por los músculos utilizados (distintos músculos en dos acciones consecutivas vs distintos) más que por usar acciones secuenciales o sencillas. Respecto a los efectos atencionales estudiados, encontramos que el efecto de IR se observó en el principio de la acción (TRPAg) siendo después a veces contrarrestado por subefectos facilitadores en fases motoras, aunque la IR como tal no fue observada en ninguna de ellas. Por tanto, podemos concluir que este efecto tiene una naturaleza predominantemente perceptual, máxime cuando no hemos hallado relación entre la IR y el efecto Simon, cuya naturaleza se considera motora, suponiéndose que ambos mecanismos interactúan en el estadio de selección de respuesta. En cambio el efecto de Facilitación sí se manifiesta en las fases motoras, por lo que podemos concluir que aunque la manifestación de este efecto sea principalmente en las fases premotoras, puede aparecer con un efecto muy pequeño en las fases motoras, por lo que su naturaleza tiene un mayor componente motor que la IR, lo que apoyaría que ambos mecanismos tienen características independientes. El efecto Simon fue encontrado en tramos motores cuando la complejidad del movimiento a realizar fue mayor (experimento 3), lo que reforzaría la literatura que indica que este efecto tiene un fuerte componente motor. El efecto de preparación en el tiempo también fue encontrado en las fases motoras del movimiento, invirtiendo su tendencia (ensayos del SOA corto más

rápidos que en el SOA largo) en TM cuando la acción fue más compleja en su inicio (Experimento 3). Creemos que la inversión del efecto de preparación en el tiempo y el efecto Simon en las fases motoras se debe a la necesidad de un mayor control en el movimiento debido a que la condición en el tramo anterior ha sido más rápida. No obstante, tanto el efecto Simon, como el efecto de preparación en el tiempo han sido hallados casi exclusivamente en las fases motoras en el tercer experimento. Será necesaria más investigación para replicar estos efectos y estudiar en mayor detalle la forma como la complejidad inicial de la acción o la complejidad en general de la acción de alcance modula la manifestación de estos efectos en etapas motoras de la acción.

Capítulo 4

Manipulación de la complejidad motora en acciones de alcance y agarre de objetos

Resumen

En esta investigación estamos interesados en estudiar el mapping estímulo-respuesta manipulando la complejidad de la ejecución del movimiento (mapping directo: menor complejidad motora; mapping indirecto: mayor complejidad motora), con el objetivo de investigar la forma como puede influir en los efectos de validez y orientación en el tiempo. Para ello comparamos la acción de alcance a una diana que ya estudiamos en la serie experimental anterior con dos acciones diferentes: alcance a un pequeño botón y agarre a un objeto. Encontramos efectos de facilitación e IR de una mayor magnitud cuando el mapping estímulo-respuesta es más directo (acción de alcance a diana), pero sólo en las fases premotoras del movimiento, lo que refuerza que tanto la IR como la facilitación son efectos que actúan predominantemente en las fases premotoras del movimiento. Por otra parte encontramos de manera consistente una inversión del efecto SOA en las fases motoras del movimiento. Consideramos que este efecto se debe a que cuando hay una activación temprana en el músculo se necesita mayor control en el movimiento, como ya encontramos en el capítulo 3.

Palabras clave: Inhibición de Retorno, Facilitación, efecto de preparación en el tiempo, mapping estímulo-respuesta, complejidad motora en la ejecución de la acción.

Introducción

En el capítulo anterior profundizábamos en el efecto de la acción inicial sobre los diferentes efectos atencionales. Encontramos que la IR se origina en fases premotoras del movimiento y durante el transcurso de la acción puede ser modulada por efectos facilitatorios, aunque no encontramos IR en las fases motoras concluyendo que la IR se puede considerar un mecanismo más general y robusto que actuaría en estadios premotores, anteriores por tanto, a la respuesta motora. El mecanismo de facilitación en cambio sí se manifiesta de una forma más consistente en las fases motoras del movimiento por lo que concluimos que este efecto aunque se origine en las etapas premotoras del movimiento tiene un mayor componente motor que la IR.

En este capítulo queremos estudiar cómo afecta la manipulación de la complejidad del mapping estímulo-respuesta (E-R) a los efectos de validez (Facilitación e IR) para profundizar en su naturaleza y relación entre ellos. Por otra parte investigaremos si el efecto de SOA invertido encontrado en la serie experimental anterior en las fases motoras del movimiento es debido solamente a la complejidad inicial del movimiento o también es modulado por la complejidad en la ejecución del movimiento.

Autores como Klein y Taylor (1994) defienden que la IR tiene un carácter motor, surgiendo como un sesgo de respuesta hacia objetivos que aparecen en localizaciones señaladas. Esta hipótesis se vería apoyada por los resultados de ciertos estudios (Egly et al., 1992; Tanaka y Shimojo, 1996; Terry et al., 1994) que no encontraron IR empleando tareas donde el componente perceptivo era más importante (juicios de orden temporal y discriminación). Por el contrario, otros autores (Chica y Lupiáñez, 2004; Howard et al., 1999; Li y Lin, 2002a; Lupiáñez et al., 2001; Prime y Ward, 2004) han sugerido que la IR es un mecanismo atencional robusto y general que surgiría en estadios más tempranos de procesamiento perceptivo de la información, ya que han constatado la manifestación de IR en tareas de discriminación de color, dirección y orientación.

Como describíamos en el capítulo introductorio de esta tesis, la naturaleza de la IR y Facilitación ha sido también estudiada manipulando el componente motor en el mapping estímulo respuesta para ver si había diferencias en el curso temporal y magnitud de los efectos de señalización. Maylor (1985) sugirió una disociación de la IR en respuestas manuales y sacádicas, aunque nunca encontró Facilitación en los movimientos sacádicos ni diferencias en la magnitud de facilitación aunque si mayor IR para movimientos sacádicos cuyo mapping E-R sería más directo, lo que apoyaría que en la IR tiene un mayor componente premotor. Resultados similares fueron encontrados por Pratt y Neggers (2008) comparando también sacadas y movimientos manuales, encontrando similares magnitudes de facilitación en sacadas y mayor tamaño de IR en sacadas que en movimiento manuales. Por otra parte hallaron una disminución de la IR en sacadas cuando se realiza un movimiento manual después y que la presencia o ausencia de sacadas no afecta a la IR en los movimientos manuales. Lo que les llevo a postular una disociación entre la IR oculomotora e IR esqueleto motora. Observaron que la preparación de respuesta manuales tienden a mediar la sacada, pero sólo cuando las respuestas manuales requieren altos grados de precisión espacial. Concluyen que el colículo superior es el sustrato neural que integra la IR para el ojo y movimientos de los brazos. Por tanto podemos concluir que la investigación realizada hasta ahora manipulando el mapping estímulo respuesta concluye que sí hay diferencias en el curso temporal en los efectos de señalización espacial.

Por otro lado, otros autores como Reuter-Lorenz et al. (1996) no encontraron diferencias en la IR en la comparación de estos movimientos. Briand et al. (2000), llevaron a cabo dos experimentos para comparar la magnitud y el curso temporal del desarrollo de la IR en respuestas manuales y sacádicas. Los resultados mostraron que los efectos de validez no siguen el mismo curso temporal en sacadas y movimientos manuales, desarrollándose la IR más rápidamente en respuestas sacádicas. No obstante, se encontraron tamaños similares de facilitación e IR en ambos tipos de movimiento, en contra de los hallazgos de Maylor (1985), que no encontró facilitación en sacadas. A la luz de estos resultados Khatoon et al. (2002) desarrollaron cuatro experimentos, donde manipulaban la complejidad de la respuesta, en función de que el mappping E-R fuera directo o indirecto. La manipulación que ellos realizaron del mapping respondía a la congruencia del proceso estímulo respuesta. Por ejemplo; la respuesta sacádica indirecta

era hacer un movimiento hacia el lado contrario donde aparece el target). Los resultados fueron que la IR se producía más tardíamente cuando el mapping E-R era indirecto concluyendo que el intervalo en el que aparece la IR puede ser sistemáticamente retrasado variando en función de la naturaleza de la respuesta que los sujetos tienen que realizar. Mientras Briand et al. (2000) proponen que la distinción entre respuestas sacádicas y manuales per se era la clave para explicar las diferencias en los cursos temporales y tamaño de los efectos de validez, ellos encontraron que la naturaleza directa o indirecta del mapping estímulo respuesta provee una explicación mejor para la mayoría de las diferencias en el curso temporal de los efectos de validez.

No obstante, en esta investigación no se atendió al tamaño de los efectos en los análisis. Como el lector puede comprobar, las diferencias encontradas en el mapping E-R respecto a los efectos de Facilitación e IR concluye en líneas generales que la IOR aparece mas temprano (con SOAs más cortos) con un mapping E-R más directo. En esta línea, Klein (2000) sugiere que factores relacionados con la dificultad de la tarea puede afectar al set de control atencional; cuando las respuestas indirectas son requeridas, se necesita mayores recursos atencionales de tal manera que la facilitación puede ser más persistente y provocar el retraso de la IR. No existe consenso no obstante sobre el tamaño de los efectos de señalización, dado que sólo Pratt y Neggers (2008) encontraron mayor tamaño de IR en movimientos sacádicos vs manuales.

En nuestro trabajo hemos continuado con esta línea de investigación, para determinar si la dirección del mapping estímulo respuesta influye en la magnitud de los efectos de Facilitación, IR y preparación en el tiempo. Para ello hemos llevado a cabo dos experimentos que describiremos en esta sección. Antes de describirlos creemos importante matizar que, como mantiene Kathoon et al. (2002), el usar una tarea más compleja motormente requiere un mapping estímulo-respuesta más indirecto. En el primer experimento comparamos el movimiento de alcance a una diana que hemos visto en el capítulo anterior, con un movimiento de alcance con un mapping más indirecto como es pulsar un pequeño botón. En el segundo experimento comparamos el movimiento de alcance a la diana con una acción de agarre de un pequeño objeto, que un mapping E-R más indirecto que pulsar un botón.

Las diferencias en la complejidad motora de estas acciones responden a la coordinación entre los músculos agonistas (aquellos que apoyan el movimiento, es decir, que van a favor de éste) y antagonistas (aquellos que se oponen o limitan el movimiento agonista). La acción de alcance a una diana (descrita en la investigación del capítulo 3) es una acción rápida considerada semibalística (una vez que empieza el movimiento se requiere de un gran esfuerzo cognitivo y motor para alterarlo). El músculo agonista tiene un papel principal en la acción ya que el músculo antagonista solo actúa reteniendo la última fase del movimiento y realizando pequeños ajustes en la acción del agonista. La acción de alcance a un pequeño botón se diferencia de la acción de alcance a diana en que la precisión es mucho mayor al ser mucho más pequeño el botón que la diana. Por tanto, el músculo antagonista tiene un papel mayor en el control del movimiento que en la acción de alcance a diana. Este movimiento puede ser por tanto considerado un movimiento controlado. La acción de agarre de objeto difiere de la acción de alcance a un botón en que aunque los dos sean movimientos controlados, el segundo requiere de un programa motor mucho más complejo ya que por una parte hay que especificar más parámetros cinemáticos en la coordinación de la pinza de agarre y por otra parte se realiza una supinación del brazo para colocar los dedos a ambos lados del objeto.

También estamos interesados en estudiar la manifestación del efecto SOA o preparación temporal en las fases motoras del movimiento. Recordemos que en el capítulo anterior encontramos que cuando la dificultad inicial del movimiento era mayor, se daba una inversión de este efecto en los tramos motores del movimiento, siendo los ensayos del SOA corto más rápidos que los del SOA largo. Concluíamos que este patrón de datos se debía a una necesidad de un mayor control en la ejecución del movimiento cuando la activación muscular era más rápida en movimientos con mayor complejidad motora inicial. La manipulación de la complejidad del mapping nos permitirá también estudiar si esta inversión del efecto es realmente causada por un mayor control en la ejecución del movimiento.

Respecto a los efectos de orientación atencional, hipotetizamos que si la Facilitación es un mecanismo predominantemente premotor aparecerá principalmente en el TRPAg, pudiendo aparecer en tramos motores del movimiento (TRM, TM)

manifestaciones pequeñas de este efecto como vimos en el capítulo 3. Creemos que la IR aparecerá, al ser un mecanismo premotor, en el TRPAg y no en las fases motoras del movimiento (TRM y TM), como también vimos en el capítulo 3. Las investigaciones en las que se ha manipulado el mapping E-R han estudiado la evolución de los efectos de señalización en el tiempo, concluyendo de forma general que en los movimientos con un mapping E-R más directo aparece la IR más temprano que en los indirectos (ie; Kathoon et al., 2004). Como se ha señalado anteriormente, la diferencia en el tamaño de los efectos de facilitación e IR ha sido relegada a un segundo plano, habiendo muy pocas evidencias en la literatura que indiquen diferencias en función del mapping E-R. Tan sólo Pratt y Neggers (2008) concluyen que los movimientos sacádicos conllevan una mayor IR que los manuales. Hipotetizamos que la manipulación que realizamos en la complejidad del mapping podrá determinar diferencias en el tamaño de la IR y tal como encontraron Pratt y Neggers el tamaño de la IR será mayor cuando el mapping E-R sea más directo. Nunca se han encontrado diferencias en los efectos de facilitación en distintos tipos de movimientos (ie. Briand et al., 2000) por lo que hipotetizamos que la facilitación no se verá afectada por la manipulación del mapping E-R que realizaremos.

Por último creemos que la inversión del efecto SOA en los tramos motores (TRM y TM) que se vio en el capítulo anterior en el experimento 3 “Acción inicial de presionar pulsadores con palmas de las manos” (los ensayos de SOA largo son más rápidos en TRPAg y más lentos en TRM y TM) será replicado ya que utilizaremos la misma posición inicial en los experimentos realizados en este capítulo. Si esa inversión del efecto SOA responde a la necesidad de un mayor control en el movimiento producida por una activación más temprana en el músculo hipotetizamos que será mayor cuando el movimiento tenga una mayor complejidad en la ejecución del movimiento.

Experimento 1

El experimento 1 tiene como objetivo comprobar si la manipulación del mapping E-R mediante dos acciones motoras distintas (alcance diana: mapping E-R directo, alcance botón: mapping E-R indirecto) influye en el tamaño de los efectos de facilitación, IR y SOA. Diseñamos un protocolo experimental donde los participantes

realizaban siempre una acción ipsilateral al target. En función del color de éste la acción a realizar sería de alcance al botón o a la diana. Hipotetizamos que la IR tendrá un tamaño mayor cuando el mapping E-R sea más directo, es decir, en el movimiento de alcance a la diana. Nunca se han encontrado diferencias en el tamaño del efecto de facilitación en distintos movimientos por lo que creemos que tampoco nosotros las hallaremos. Por último hipotetizamos que habrá un mayor efecto de SOA invertido en los tramos motores en la acción de alcance a botón ya que se necesitará mayor control motor para realizar el movimiento.

Método

Participantes

La muestra de este experimento está conformada por 24 estudiantes de psicología; 15 mujeres y 9 hombres, (con una edad promedio de 25.4 años). El objetivo de la investigación les era explicado al finalizar su participación experimental.

Aparatos y estímulos

Los aparatos fueron los mismos que utilizamos en el experimento 3 de la anterior serie experimental, con la modificación de la introducción de dos botones a ambos lados de la pantalla. En la parte inferior de los monitores se colocaron dos botones separados 3,5 cm del monitor a 7 cm de la parte inferior de las dianas (ver figura 1). Dependiendo del color los participantes tenían que contestar bien pulsando el botón o alcanzando la diana ipsilateralmente con el brazo del hemicampo donde se presentaba el estímulo. Los colores estaban contrabalanceados.

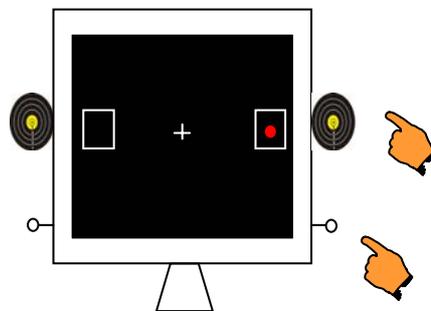


Figura 1: Disposición de dianas y pulsadores en el experimento 1.

Procedimiento

El procedimiento empleado fue el mismo que en el capítulo 3 de la anterior serie experimental con la modificación que el target rojo o verde indicaba la acción a realizar; alcanzar el botón o alcanzar la diana. La duración del experimento fue de aproximadamente de una hora y 15 minutos

Diseño

Las variables dependientes utilizadas fueron el TC y los subtramos que lo componen (TRPAg, TRM y TM) en la línea temporal, y el TI en el proceso muscular.

Tres variables independientes fueron manipuladas en cada bloque de ensayos: SOA, Validez y Tipo de Movimiento. Los SOAs usados fueron 100 y 1000 ms. La variable Validez presentó los valores válido e inválido, en función de que el target se presentara en el mismo lugar que señal o en el lugar opuesto, respectivamente. La variable Tipo de movimiento tenía dos valores; Alcance Botón y Alcance Diana.

Resultados

En el análisis de los datos se descartaron aquellos ensayos donde el Tiempo de Reacción Premotor Agonista fue menor a 100 ms por considerarse respuestas anticipadas (0,5%) o mayor de 800 ms (1,2%), los ensayos en los que los sujetos levantaron la mano contraria a la indicada por el objetivo (errores cinemáticos; 5,78%), el Tiempo de Reacción Cinemático (suma del Tiempo de Reacción Premotor Agonista y Tiempo de Reacción Motor) fue inferior a 200 ms (0,33%), también por considerarse respuestas anticipadas, o mayor de 1200 ms (0,13%), y aquellos ensayos en los que el individuo tocó el objeto incorrecto (errores de contacto; 2,45%). En la tabla 1 se presentan los valores en cada una de las condiciones experimentales manipuladas en el tiempo final (Tiempo de Contacto; TC) en los dos experimentos de este capítulo. En la tabla 2 se presentan los valores descriptivos de las variables temporales (TRPAg, TRM y TM) en cada una de las condiciones experimentales manipuladas en el experimento 1.

Tabla 1. TR promedio en las diferentes condiciones experimentales en el TC en la línea temporal en los experimentos 1 y 2. 1. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y tipo de movimiento y su nivel de significatividad estadística.

LINEA TEMPORAL		TC en Experimento 1				TC en Experimento 2			
		S 100		S 1000		S 100		S 1000	
		I	V	I	V	I	V	I	V
Alcance Botón / Agarre		982	970	955	963	1176	1167	1159	1178
Alcance Diana		812	793	771	787	774	758	744	767
EFECTO TIPO DE MOVIMIENTO		170 ***	177 ***	184 ***	176 ***	401 ***	409 ***	414 ***	411 ***
EFECTOS DE VALIDEZ	Alcance Botón / Agarre	12 **		-8		9		-20 *	
	Alcance Diana	19 ***		-16 ***		16 **		-23 **	
***P<.001 / **P<.005 / *P<.05 S100= SOA de 100 ms / S1000: SOA de 1000 ms / I= Ensayo inválido / V=Ensayo válido Línea temporal = TC: Tiempo de Contacto									

Tabla 2. TR promedio en las diferentes condiciones experimentales en las variables de la línea temporal (Tiempo de Contacto dividido en Tiempo de Reacción Premotor Agonista, Tiempo de Reacción Motor y Tiempo de Movimiento) y proceso muscular (Tiempo Intramuscular) en el experimento 1. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y tipo de movimiento y su nivel de significatividad estadística

LINEA TEMPORAL		TRPAg				TRM				TM							
		S 100		S 1000		S 100		S 1000		S 100		S 1000					
		I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V				
Alcance Botón		348	340	301	316	59	56	61	59	575	574	592	588				
Alcance Diana		342	325	288	310	53	55	57	56	417	413	426	420				
EFECTO TIPO DE MOVIMIENTO		6	15 *	14 **	5	7 **	1	5 *	2	158 ***	161 ***	166 ***	168 ***				
EFECTOS DE VALIDEZ	Alcance Botón	8 *		-14 ***		3		3 *		1		4					
	Alcance Diana	17 ***		-23 ***		-3		1		4		6 *					
PROCESO MUSCULAR		TI															
		S 100		S 1000													
		I	V	I	V												
Alcance Botón		87	86	102	97												
Alcance Diana		64	69	69	70												
EFECTO TIPO DE MOVIMIENTO		23 ***	17 ***	34 ***	27 ***												
EFECTOS DE VALIDEZ	Alcance Botón	1		5													
	Alcance Diana	-5		-1													
***P<.001 / **P<.005 / *P<.05 S100= SOA de 100 ms / S1000: SOA de 1000 ms / I= Ensayo inválido / V=Ensayo válido Línea temporal = TC: Tiempo de Contacto dividido en TRPMAg: Tiempo de Reacción Premotor Agonista + TRM: Tiempo de Reacción Motor + TM: Tiempo de Movimiento Proceso muscular = TI: Tiempo Intramuscular * Los valores de la tabla son aproximativos ya que han sido omitidos los decimales																	

Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas de $2 \times 2 \times 2$, recurriendo a comparaciones planeadas para concretar el tipo de interacción existente entre los distintos niveles de las variables analizadas, de acuerdo a nuestras hipótesis. El ANOVA incluía los factores “SOA” (2 niveles: 100 y 1000 ms), “Validez” (2 niveles: Válido e Inválido), y “Tipo de Movimiento” (2 niveles: Alcance diana vs Alcance botón) como variables independientes intraparticipante.

Analicemos los efectos principales y las interacciones significativas en el Tiempo de Contacto para pasar luego a un estudio más pormenorizado de los efectos hallados en los consecuentes subtiempos o subtramos que componen el Tiempo de Contacto.

En el Tiempo de Contacto encontramos un efecto principal de SOA ($F(1, 23)=27,25$, $p<.0001$) (ver figura 2); los ensayos en SOA largo son 20 ms más rápidos que en el SOA corto. El efecto principal de Tipo de movimiento fue igualmente significativo ($F(1, 23)=141,55$, $p<.0001$), como se puede observar en la figura 4, siendo el movimiento de alcance a la diana 177 ms más rápido que el movimiento de alcance al botón. Tal como se esperaba, la interacción SOA x Validez fue también significativa ($F(1, 23)=33,24$, $p<.0001$), apareciendo un efecto de Facilitación en SOA corto de 15 ms ($F(1, 23)= 27,33$, $p<.0001$) y un efecto de IOR de 12 ms en el SOA largo ($F(1, 23)= 12,80$, $p=.0016$). Quizá lo más interesante fue que la interacción SOA x Validez x Tipo de Movimiento fue marginalmente significativa ($F(1, 23)=4,09$, $p=.0549$), tal como anticipábamos. Se observó Facilitación con ambos tipos de movimientos ($p=.0044$ y $p<.0001$ respectivamente). Sin embargo, la IR fue significativa en el movimiento de Alcance a diana ($p=.0007$) mientras que no lo fue en el movimiento de Alcance a botón. ($p=.1242$). Las diferencias en los efectos de Facilitación e IR entre ambos movimientos no llegaron a ser significativas ($p=.1879$ y $p=.1843$ respectivamente).

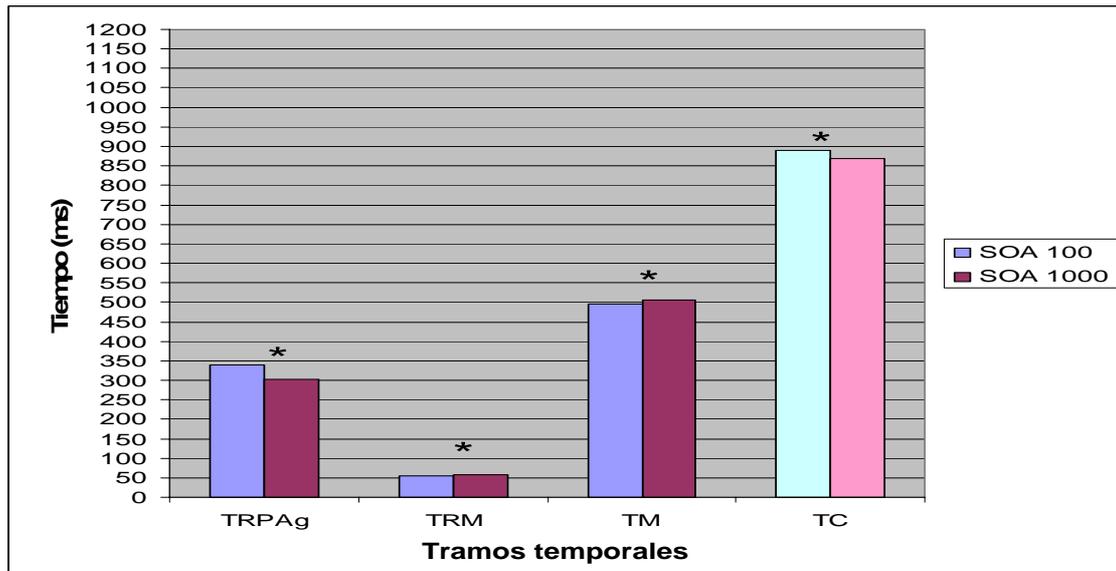


Figura 2: Efecto SOA en Tiempo de Contacto y subtramos temporales en experimento 1.

En el Tiempo de Reacción Premotor Agonista encontramos un efecto principal de SOA de 35 ms ($F(1, 23)=72,54$, $p<.0001$) (ver figura 2). Nótese que respecto al Tiempo de Contacto el efecto es 15 ms mayor. En la figura 4 se puede apreciar el efecto de Tipo de movimiento ($F(1, 23)=7,45$, $p=.0119$), consistente en que el movimiento de alcance a la diana es 10 ms más rápido que al botón. La interacción SOA x Validez es significativa igualmente ($F(1, 23)=51,11$, $p<.0001$), apareciendo un efecto de Facilitación de 13 ms en el SOA corto ($F(1, 23)=28,08$, $p<.0001$) y un efecto de IOR de 18 ms en el SOA largo ($F(1, 23)=39,56$, $p<.0001$). La interacción SOA x Validez x Tipo de Movimiento (ver figura 3) sí fue significativa en este caso ($F(1, 23)=9,72$, $p=.0048$), confirmando nuestras predicciones. El efecto de facilitación se da en ambos tipos de movimiento ($p=.0247$ y $p<.0001$ respectivamente), aunque con diferencias entre ellos; El efecto de Facilitación en el movimiento hacia la diana es 9 ms mayor que en el movimiento más controlado de alcance al botón ($p=.0362$). El efecto de IR se da en ambos movimientos ($p<.0001$ en ambos), aunque, como puede observarse en la figura 3, de nuevo el efecto era 8 ms mayor en el movimiento hacia la diana ($p=.0476$).

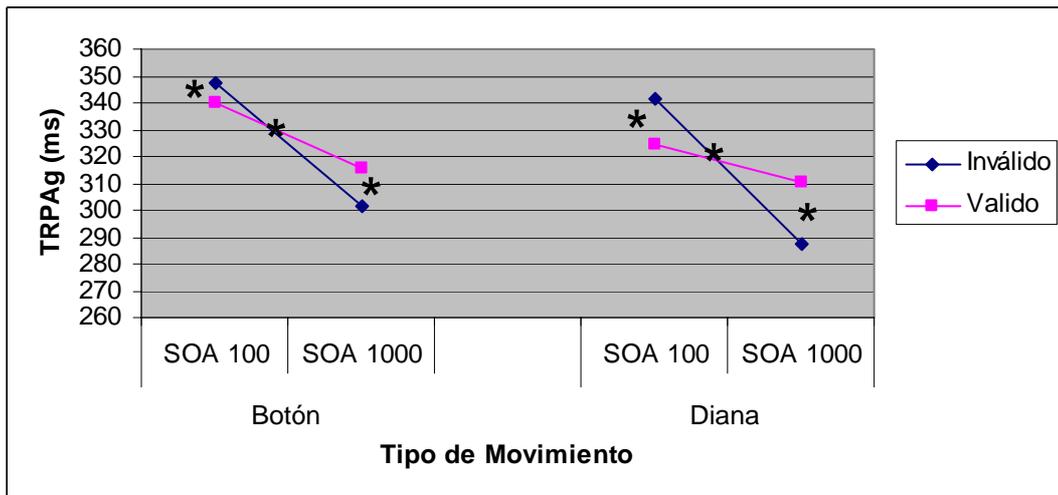


Figura 3: Interacción SOA x Validez en el TRPAg del experimento 1.

En el Tiempo de Reacción Motor encontramos un efecto de SOA invertido de 4 ms, que es marginalmente significativo ($F(1, 23)=3,92$, $p=,0597$) (ver figura2). Los ensayos en el SOA corto son más rápidos en este tramo del movimiento. Se observó también un efecto de Tipo de movimiento como se ve en la figura 4 ($F(1, 23)=5,50$, $p=,0279$); siendo el movimiento de alcance a la diana 4 ms más rápido que al botón. La interacción Validez x Tipo de Movimiento también fue significativa ($F(1, 23)=7,75$, $p=,0106$), mostrando un efecto de Facilitación de 4 ms en el movimiento de alcance al botón ($F(1, 23)= 4,95$, $p=,0362$).

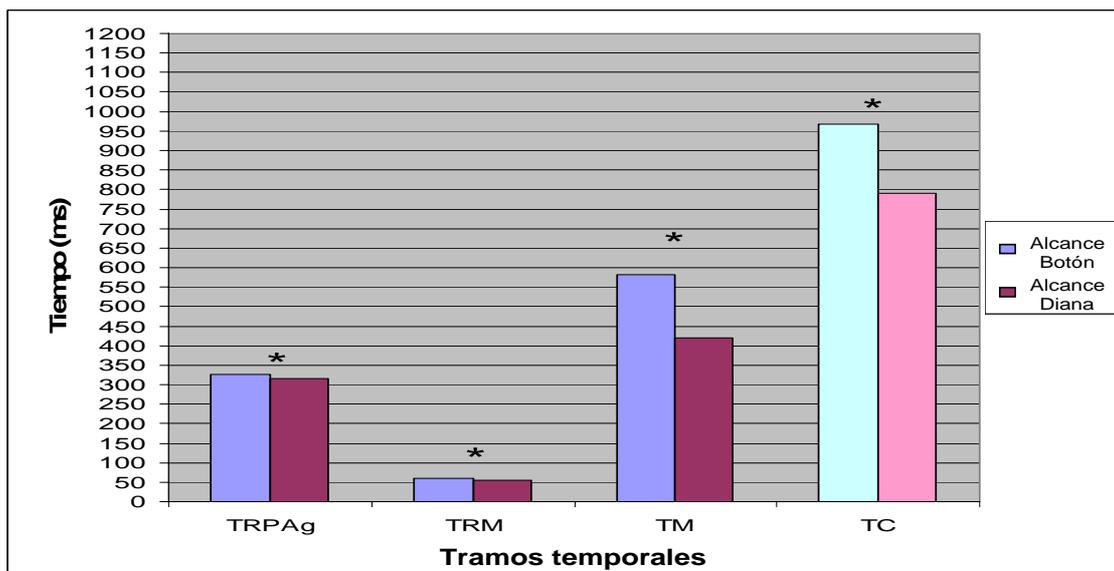


Figura 4: Efecto Tipo de Movimiento en Tiempo de Contacto y subtramos temporales en el experimento 1.

En el Tiempo de Movimiento encontramos, al igual que en el tramo anterior, un efecto de SOA invertido de 12 ms ($F(1, 23)=40,29, p<.0001$) como se puede comprobar en la figura 2. También se observó un efecto de Tipo de movimiento ($F(1, 23)=165,86, p<.0001$) (ver figura 4), siendo el movimiento de alcance a la diana 163 ms más rápido que al botón. La interacción SOA x Tipo de Movimiento fue igualmente significativa ($F(1, 23)=7,83, p=.0102$), debido a que el efecto de SOA invertido fue 7 ms mayor en el movimiento de alcance controlado.

En el Tiempo Intramuscular sólo encontramos un efecto de Tipo de movimiento ($F(1, 17)= 43,02, p<.0001$). La activación del músculo antagonista, tras la activación del agonista, es 22 ms más rápida en los ensayos de alcance a diana que en los ensayos de alcance a botón.

El análisis de los errores no nos proporciona apenas información. A continuación se presenta una tabla resumen con todos los valores descriptivos sobre las variables de porcentaje de errores cinemáticos y errores de contacto en cada una de las condiciones experimentales manipuladas.

Tabla 3. Porcentaje de errores en las diferentes condiciones experimentales en las variables de errores cinemáticos y errores de contacto en experimento 2. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y tipo de movimiento y su nivel de significatividad estadística.

PORCENTAJE DE ERRORES %		ERRORES CINEMÁTICOS				ERRORES DE CONTACTO			
		SOA 100		SOA 1000		SOA 100		SOA 1000	
		I	V	I	V	I	V	I	V
Alcance Boton		5	4,5	4,1	5,2	1,1	0,7	0,7	1,2
Alcance Diana		5,3	4,8	3,8	4,1	2,9	2,6	2,5	3,2
EFECTO TIPO DE MOVIMIENTO		-0,3	-0,3	0,3	1,2	-1,8	-1,9	-1,8	-2,0
EFECTO VALIDEZ	Alcance Boton	0,5		-1,1		0,4		-0,5	
	Alcance Diana	0,5		-0,3		0,3		-0,7	

El ANOVA realizado con las variables SOA, Validez y Tipo de Movimiento en errores cinemáticos y errores de contacto (ver tabla 3) muestra como único resultado significativo la presencia de un mayor porcentaje de errores cuando la acción es mas rápida o el mapping estímulo respuesta es más directo ($F(1, 17)=4,01, p=.0456$) en errores cinemáticos.

Discusión

La literatura sobre el mapping E-R ha hecho especial hincapié en el distinto curso temporal de los efectos de señalización dependiendo de lo directo que fuera el mapping E-R, no habiéndose prestado especial atención al tamaño de los efectos (v.gr., Katon et al., 2002). Nosotros hemos encontrado que, en el Tiempo de Reacción Premotor Agonista, la complejidad del mapping E-R afecta no sólo al curso temporal, dado que afecta tanto al tamaño de la facilitación como al de la Inhibición de Retorno, siendo ambos efectos mayores cuando el movimiento a realizar tiene un mapping E-R más directo o menos complejo a nivel motor (v.gr., alcance a diana). Autores como Pratt y Neggers, (2008) y Maylor (1985) concluyeron que las sacadas tienen un mayor efecto de IR que los movimientos manuales, por tener un mapping más directo, en la misma línea de nuestros resultados. Por tanto podemos concluir que la dirección del mapping estímulo respuesta afecta al tamaño de la IR con mayores efectos cuando el mapping E-R es más directo por la realización de un movimiento con una complejidad motora menor. Respecto a la facilitación, es la primera vez que se encuentra un efecto del tamaño de la facilitación en función del movimiento a realizar (más o menos directo). El hallar estos efectos ha sido posible por la introducción del Tiempo de Reacción Premotor Agonista que provee una medida más directa de la acción, ya que como se ve en los resultados, en el Tiempo de Contacto, que sería el habitual en muchas investigaciones del área, no se haya la diferencia de tamaño en estos efectos. El encontrar que las diferencias en estos efectos se da en estadios premotores del movimiento, y no en las fases motoras del movimiento es una prueba de que la naturaleza tanto de la facilitación como la IR se puede considerar un mecanismo general y robusto que actuaría mayormente en estadios premotores de la información, anteriores por tanto, a la respuesta motora. Además, el que haya mayor IR y Facilitación cuando el mapping E-R es más directo (tiene una menor complejidad motora en la ejecución de respuesta), apoya directamente la naturaleza premotora de estos efectos, ya que la simplificación de los procesos de selección de respuesta hace que los efectos de señalización aumenten su tamaño.

Encontramos un efecto de facilitación de 4 ms en la variable validez (menores latencias para ensayos válidos respecto a los inválidos) en el Tiempo de Reacción Motor

en la acción de alcance al botón, como sucedió en los experimentos presentados en el capítulo 3. Por tanto, podemos concluir de una forma similar a como hicimos en el capítulo anterior que el efecto de la señal espacial puede manifestarse también de forma facilitadora y con un efecto muy pequeño en las fases motoras. Esto refuerza por una parte la hipótesis de que el efecto de IR que se observa en la acción final (el TR en los experimentos habituales y el TC en nuestros experimentos) está de hecho compuesto por subefectos facilitatorios e inhibitorios dependiendo de la fase temporal que se analice, como bien encontraron autores como Howard et al. (1999), o el componente del procesamiento que se enfatice (Lupiáñez et al., 2007).

Por último se ha de destacar que en el Tiempo de Reacción Motor y Tiempo de Movimiento el patrón del efecto SOA que es encontrado habitualmente se invierte, es decir, mientras que en el Tiempo de Reacción Premotor Agonista los ensayos más rápidos se producen en el SOA largo ya que los participantes tienen más tiempo entre la señal y el Target para preparar la acción, o dicho de otra manera, la generación de expectativas temporales se pone en juego (Correa et al., 2004), en los dos tramos siguientes, los participantes son más rápidos en el SOA corto. Consideramos que esto es debido a que cuando el músculo se activa de forma más temprana o rápida, y el tiempo de reacción muscular es menor, se necesita más control en tiempo real para alcanzar el objetivo. Estos resultados fueron observados en alguno de los experimentos del capítulo anterior, y son corroborados en este. Es interesante ver también cómo estas diferencias entre el SOA corto y largo son mayores en el movimiento con mayor demanda motora en la ejecución (alcance al botón), lo que refuerza la idea de que este efecto es causado y modulado por la necesidad de un mayor control en la ejecución del movimiento.

Experimento 2

La diferencia del tamaño de los efectos de validez en las fases premotoras del movimiento y el efecto de SOA invertido en los tramos motores cuando el movimiento tiene un mapping E-R más directo nos lleva a formular el siguiente experimento donde las diferencias en la dirección del mapping E-R atendiendo a la complejidad de movimiento son mayores, para comprobar la fiabilidad de los resultados obtenidos. Con este objetivo, diseñamos un experimento en el que comparamos la acción de alcance a diana, con una acción de agarre a un objeto, cuyo mapping E-R es más indirecto que el

alcance a un botón. La posición superior/inferior de los objetos, y por tanto del destino de la acción, también fue contrabalanceada para descartar esta variable como explicación alternativa a los efectos observados de la manipulación del mapping.

Método

Participantes

La muestra de este experimento está conformada por 17 estudiantes de psicología; 12 mujeres y 5 hombres, con una edad promedio de 24,3 años. El objetivo de la investigación les era explicado al finalizar su participación experimental.

Aparatos y estímulos

Los estímulos fueron los mismos que en el experimento anterior. Los aparatos fueron distintos ya que se sustituyeron los botones por dos plataformas que mantenían dos cubículos rectangulares de 4 x 2,5 cm. En este experimento, la posición de las dianas y plataformas para agarrar los objetos fueron contrabalanceadas como comentábamos anteriormente. El centro del cubículo y el centro de la diana se colocaron a la misma distancia de los extremos del cubículo donde se presentaba la señal (3 cm).

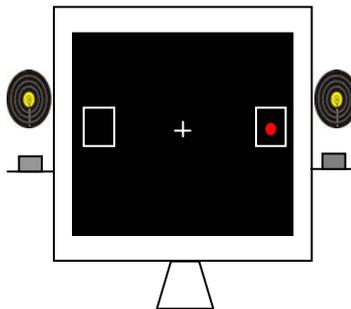


Figura 5: Disposición de dianas y objetos de agarre en el experimento 2.

Procedimiento

El procedimiento empleado varió del experimento anterior. Se sustituyeron los botones por dos plataformas que mantenían dos cubículos rectangulares de 4 x 2,5 cm. En este experimento, la posición de las dianas y plataformas para agarrar los objetos fueron contrabalanceadas, para controlar sus efectos, de forma que no pudiera ser una

explicación alternativa a los resultados obtenidos. El centro del cubículo y el centro de la diana se colocaron a la misma distancia de los extremos de la caja donde se presentaba la señal (3 cm). La acción de agarre consistía en asir el cubículo con el dedo índice por el exterior y pulgar por el interior y desplazar el cubículo hacia la parte interior de la plataforma para después dejarlo en la posición inicial.

Diseño

Las variables dependientes utilizadas fueron el TC y los subtramos que lo componen (TRPAg, TRM y TM) en la línea temporal, y el TI en el proceso muscular..

Tres variables independientes fueron manipuladas en cada bloque de ensayos: SOA, Validez y Tipo de Movimiento. Los SOAs usados fueron de 100 y 1000 ms. La variable validez presento los valores válido e inválido. La variable Tipo de movimiento tenía dos valores; Agarre y Alcance Diana.

Resultados

Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas de 2 x 2 x 2, recurriendo a comparaciones planeadas para concretar el tipo de interacción existente ente los distintos niveles de las variables analizadas. El ANOVA incluía los factores “SOA” (2 niveles: 100 y 1000 ms) “Validez” (2 niveles: Valido e Inválido) y “Tipo de Movimiento” (2 niveles: Alcance Diana vs Agarre) como variables independientes intraparticipante.

En el análisis de los datos se descartaron aquellos ensayos donde el Tiempo de Reacción Premotor Agonista fue menor a 100 ms por considerarse respuestas anticipadas (0,3%) o mayor de 800 ms (1,5%), aquellos ensayos en los que los sujetos levantaron la mano contrario a la indicada por el objetivo (errores cinemáticos; 6,2%), el Tiempo de Reacción Cinemático (suma del Tiempo de Reacción Premotor Agonista y Tiempo de Reacción Motor) fue inferior a 200 ms (0,25%), por considerarse también respuestas anticipadas, o mayor de 1200 ms (0,32%), y aquellos ensayos en los que el individuo tocó el objeto incorrecto (errores de contacto; 1.96%).

En las tablas 1 y 4 se presentan los valores descriptivos de las variables temporales (TRPAg, TI, TRM, TM y TC) en cada una de las condiciones experimentales manipuladas.

Analizaremos primero los efectos principales y las interacciones significativas en el Tiempo de Contacto para pasar luego a un estudio más pormenorizado de los efectos hallados en los consecuentes subtiempos que componen la respuesta.

Tabla 4. TR promedio en las diferentes condiciones experimentales en las variables de la línea temporal (Tiempo de Contacto dividido en Tiempo de Reacción Premotor Agonista, Tiempo de Reacción Motor y Tiempo de Movimiento) y proceso muscular (Tiempo Intramuscular) en el experimento 2. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y tipo de movimiento y su nivel de significatividad estadística.

LINEA TEMPORAL		TRPAg				TRM				TM			
		S 100		S 1000		S 100		S 1000		S 100		S 1000	
		I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V
Agarre		345	341	298	312	74	76	87	89	1176	1167	1159	1178
Alcance Diana		325	310	272	296	75	74	82	83	774	758	744	767
EFECTO TIPO DE MOVIMIENTO		20 *	31 ***	25 ***	16	-1	3	5	6	401 ***	409 ***	414 ***	411 ***
EFECTOS DE VALIDEZ	Agarre	3		-14 *		-2		-2		9		-20	
	Alcance Diana	15 *		-23 ***		1		-1		16		-23	
PROCESO MUSCULAR		TI											
		S 100		S 1000									
		I	V	I	V								
Agarre		43	52	65	74								
Alcance Diana		49	51	71	66								
EFECTO TIPO DE MOVIMIENTO		-6	2	-6	8								
EFECTOS DE VALIDEZ	Agarre	-9 *		-9 *									
	Alcance Diana	-1		5									
<p>***P<.001 / **P<.005 / *P<.05 S100= SOA de 100 ms / S1000: SOA de 1000 ms / I= Ensayo inválido / V=Ensayo válido Linea temporal = TC: Tiempo de Contacto dividido en TRPMAg: Tiempo de Reacción Premotor Agonista + TRM: Tiempo de Reacción Motor + TM: Tiempo de Movimiento Proceso muscular = TI: Tiempo Intramuscular Los valores de la tabla son aproximativos ya que han sido omitidos los decimales</p>													

En el Tiempo de Contacto encontramos un efecto de SOA, aunque no alcanzó la significatividad estadística ($F(1, 16)=2,26$, $p=,1519$) como se ve en la figura 6 siendo el TC en el SOA corto 45 ms más lento que en el SOA largo. Se observó un efecto principal de Tipo de movimiento ($F(1, 16)=271,26$, $p<,0001$) (ver figura 8), siendo el

movimiento de alcance a la diana 407 ms más rápido que la acción de agarre. La interacción SOA x Validez fue también significativa ($F(1, 16)=16,68$, $p=,0009$), apareciendo un efecto de Facilitación de 13 ms en SOA corto ($F(1, 16)= 12,31$ $p=,0029$) e IOR en el SOA largo (19 ms, $F(1, 16)= 13,26$, $p=,0022$). La interacción SOA x Validez x Tipo de Movimiento no fue significativa ($F(1, 16)=,38$, $p=,5447$).

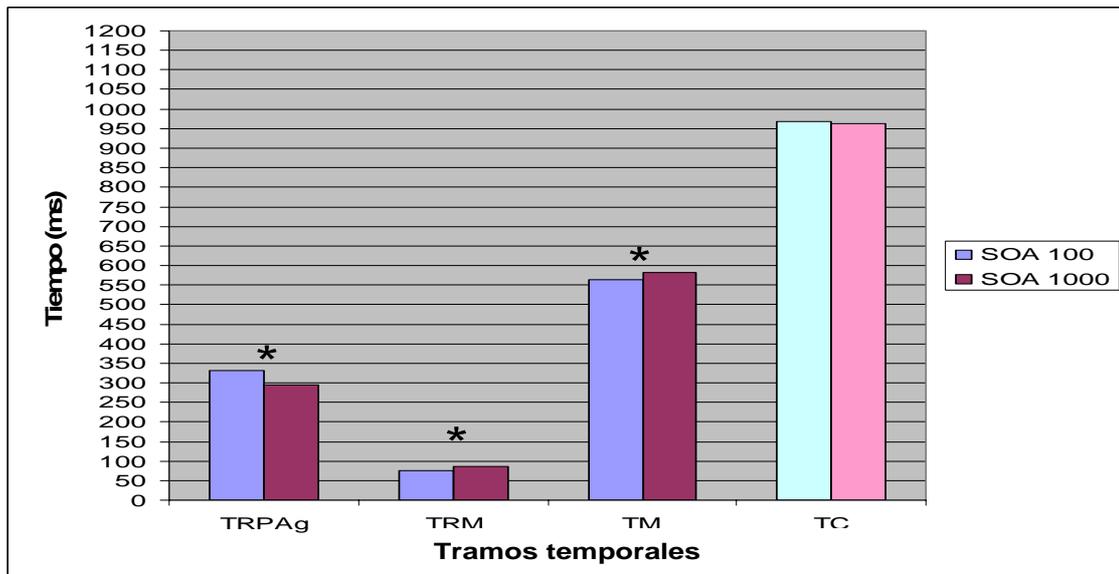


Figura 6: Efecto SOA en Tiempo de Contacto y subtramos temporales en experimento 2.

En el Tiempo de Reacción Premotor Agonista encontramos un efecto principal de SOA de 36 ms ($F(1, 16)=57,33$, $p<,0001$) (ver figura 6). Nótese que respecto al Tiempo de Contacto el efecto es 9 ms mayor. Se observó un efecto de Tipo de movimiento ($F(1, 16)=19,16$, $p=,0005$) como se ve en la figura 8, siendo el movimiento de alcance a la diana 23 ms más rápido que la acción de agarre. La interacción SOA x Validez fue significativa ($F(1,16)=18,69$, $p=,0005$), apareciendo un efecto de Facilitación de 9 ms en SOA corto ($F(1, 16)= 5,78$, $p=,0286$) e IOR en el SOA largo (19 ms, ($F(1, 16)= 15,76$, $p=,0011$)). Tal como predecíamos, la interacción SOA x Validez x Tipo de Movimiento es significativa ($F(1, 16)=8,79$, $p=,0091$) (ver figura 7). El efecto de Facilitación en el movimiento hacia la diana es 12 ms mayor que en el de agarre ($p=,0261$). De hecho, el efecto es significativo en el movimiento de alcance a la diana ($p=,0079$) pero no en la acción de agarre ($p=,4101$). El efecto de IR se produce de forma significativa en ambos movimientos ($p=,0377$, $p<,0001$ respectivamente), aunque es 9 ms mayor en el movimiento de alcance a la diana ($p=,0454$).

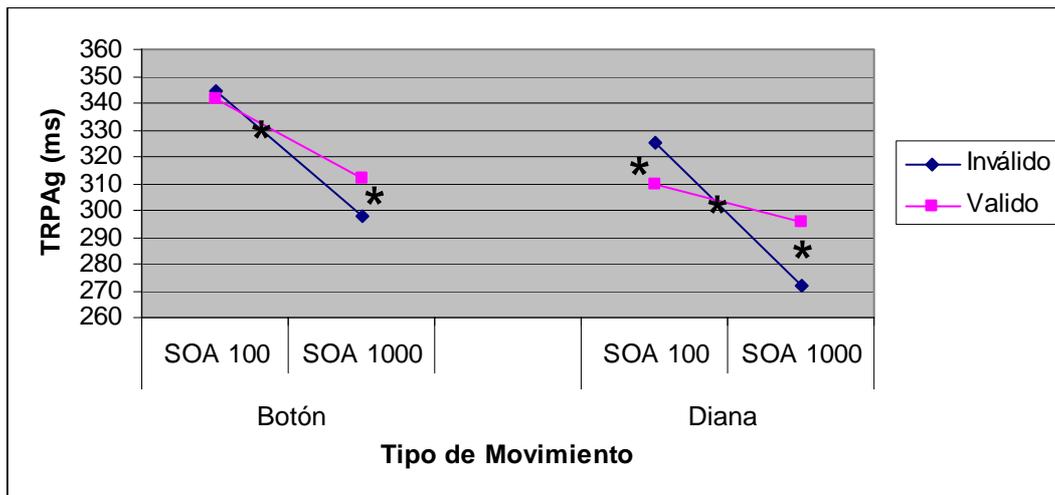


Figura 7: Interacción SOA x Validez en el TRPAG en el experimento 2.

En el Tiempo de Reacción Motor encontramos un efecto de SOA invertido de 11 ms ($F(1, 16)=13,82, p=,0019$) como se comprueba en la figura 6. El efecto de Tipo de movimiento no llega a ser significativo ($F(1, 16)=2,26, p=,1520$) (ver figura 8), aunque el movimiento de alcance a la diana es 3 ms más rápido que el de agarre. La interacción SOA x Tipo de movimiento fue significativa ($F(1, 16)=6,75, p=,0194$). En la acción de agarre el efecto de SOA invertido es 4 ms mayor que en la acción de alcance.

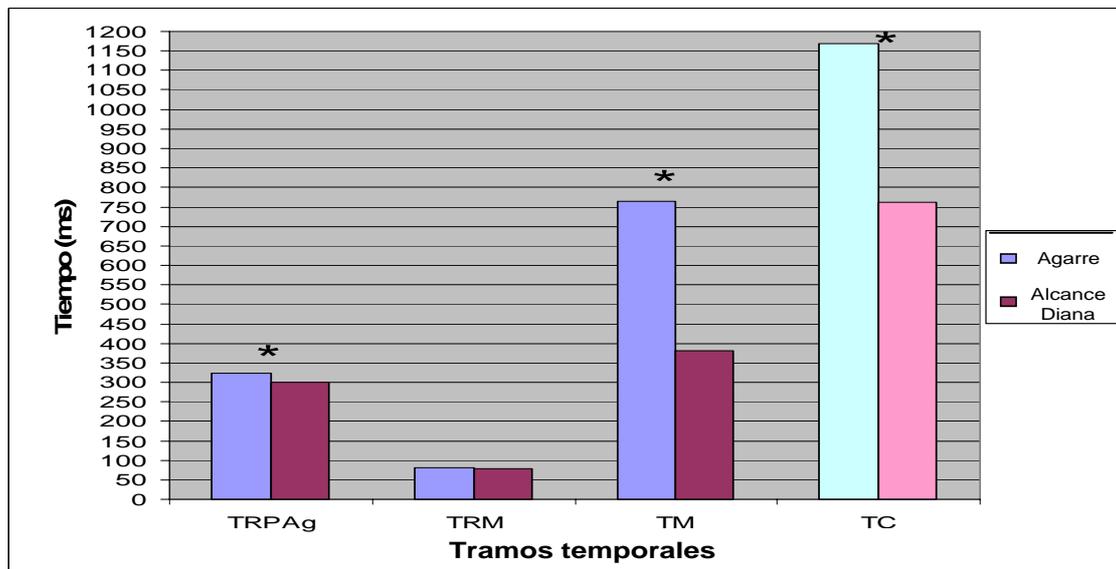


Figura 8: Efecto Tipo de Movimiento en Tiempo de Contacto y subtramos temporales en el experimento 2.

En el Tiempo de Movimiento encontramos un efecto de SOA invertido de 18 ms ($F(1, 16)=38,62, p<.0001$) (ver figura 6). Como se puede observar en la figura 8, se produjo un efecto de Tipo de movimiento ($F(1, 16)=274,49, p<.0001$), siendo el movimiento de alcance a la diana 383 ms más rápido que el agarre del objeto. La interacción SOA x Tipo de Movimiento fue también significativa ($F(1, 16)=5,89, p=,0274$), al ser el efecto de SOA invertido 8 ms mayor en el movimiento de alcance controlado.

En el Tiempo Intramuscular encontramos que en los ensayos del SOA corto el músculo antagonista se activa, tras la activación del agonista, 20 ms antes que en el SOA largo ($F(1, 17)=31,35, p<.0001$). La interacción Validez x Tipo de Movimiento fue significativa ($F(1, 17)=5,12, p=,0371$), dado que en los ensayos inválidos la activación del músculo antagonista tras la activación del agonista es 9 ms más rápida que en los válidos ($F(1, 17)= 7,62, p=,0134$) en el movimiento de agarre

El ANOVA realizado con las variables SOA, Validez y Tipo de Movimiento en errores cinemáticos y de contacto (ver tabla 5) muestra como único resultado significativo un efecto de tipo de movimiento en los errores de contacto ($F(1, 17)=8,09, p=,0112$). Hay más errores cuando la acción es más rápida o el mapping E-R es más directo (tarea de alcance a la diana).

Tabla 5. Porcentaje de errores en las diferentes condiciones experimentales en las variables de errores cinemáticos y errores de contacto en experimento 2. Se resaltan los efectos de orientación espacial de la atención y tipo de movimiento y su nivel de significatividad estadística.

PORCENTAJE DE ERRORES %		ERRORES CINEMÁTICOS				ERRORES DE CONTACTO			
		SOA 100		SOA 1000		SOA 100		SOA 1000	
		I	V	I	V	I	V	I	V
Agarre cubículo		2,4	2,2	2	2,1	0,3	0,3	0,1	0
Alcance Diana		2,6	2,6	2,4	1,9	1,4	1,4	1	1,1
EFECTO TIPO DE MOVIMIENTO		-0,2	-0,3	-0,4	0,2	-1,1	-1,1	-0,8	-1,1
EFECTO VALIDEZ	Agarre cubículo	0,2		-0,1		0		0,1	
	Alcance Diana	0		0,5		0		-0,2	

Discusión

Este nuevo experimento refuerza los efectos observados en el experimento anterior. Persisten las diferencias en el tamaño de los efectos de Facilitación e Inhibición de Retorno, ya que la complejidad del mapping E-R afecta al tamaño tanto de la Facilitación como de la Inhibición de Retorno en el Tiempo de Reacción Premotor Agonista, siendo estos efectos mayores cuando el movimiento a realizar tiene un mapping E-R más directo (alcance a diana). Esta relación solamente se encontró en el Tiempo de Reacción Premotor Agonista, lo que refuerza que estos efectos actúan mayoritariamente en estadios premotores del procesamiento, anteriores por tanto a la respuesta motora. Por otra parte encontramos que en los ensayos inválidos la activación del músculo antagonista tras la activación del agonista es más rápida que en los válidos en el movimiento de agarre. Este dato podría entenderse como una continuación de los efectos de beneficio temporal de la IR en el proceso muscular, el cual se enmarca dentro de las fases premotoras del movimiento.

El efecto de SOA invertido que se vio en el experimento anterior es replicado en éste y encontrado también en el TI. Realizamos un análisis comparativo entre los dos experimentos en el Tiempo de Reacción Motor y en el Tiempo de Movimiento para estudiar las diferencias entre experimentos en el efecto de SOA invertido. La interacción SOA x Experimento (Alcance Diana-Alcance Botón vs Alcance Diana-Agarre Objeto) observada en el TRM nos revela que el efecto de SOA invertido es 8 ms mayor en el experimento 2 (Agarre, Alcance Diana) que en el experimento 1 (Alcance botón, Alcance Diana) ($F(1, 40)=7,586, p=,0088$). Esta misma relación se encuentra en TM (7 ms, $F(1, 40)=4,352, p=,0434$). Esto se debe a que el control del movimiento es mayor en el experimento 2 que en el 1 ya que el agarre necesita de mayor control en la ejecución que el movimiento de alcance al botón. Este análisis refuerza aún más nuestra hipótesis de que este efecto de inversión en el efecto SOA está mediatizado por la complejidad motora del movimiento y por tanto por el mayor control necesario en el desarrollo del movimiento tras la activación más temprana del músculo. Esta hipótesis se ve apoyada en este experimento también en el TI (encontramos que en los ensayos del SOA corto el músculo antagonista se activa, tras la activación del agonista, 20 ms antes que en el

SOA largo. Creemos que este efecto ha aparecido en el TI, por la mayor demanda motora de la acción de agarre en comparación con la de alcance al botón.

Por último, es importante destacar que en este experimento se contrabalanceó la posición del destino de las acciones, de forma que la mitad de los sujetos debían alcanzar la diana en la posición superior y agarrar el objeto en la inferior, mientras que para la otra mitad se debía agarrar el objeto en la posición superior. Por tanto, los efectos del tipo de movimiento no pueden ser debidos a la altura superior o inferior del destino final de la acción, sino a la complejidad de la misma.

Discusión general

En este capítulo estábamos interesados en estudiar la forma como la complejidad del mapping estímulo-respuesta podía afectar a los efectos de Facilitación e Inhibición de retorno y a la preparación en el tiempo (efecto de SOA) con el fin de aportar datos que permitan determinar la naturaleza de estos efectos. Para ello diseñamos dos experimentos en los que manipulamos la complejidad del mapping E-R, teniendo en cada uno de ellos una condición de mapping simple o más directo (acción de alcance) y otra condición de mapping más complejo o indirecto. En el primer experimento se comparaba la acción de alcance a una diana con una acción con un mapping E-R más indirecta que requiere mayor exactitud en su programación, como es el alcance a un botón bastante más pequeño, que los participantes debían pulsar. En el segundo experimento se comparaba la misma acción de alcance de diana con una tarea con un mapping E-R aún más indirecto aún que el alcance a un botón. En este caso se incluyó una condición de agarre de un pequeño objeto rectangular.

En ambos experimentos, dividimos el tiempo de reacción final de la acción (Tiempo de Contacto; TC) en tres subtramos temporales: Tiempo de Reacción Premotor Agonista (TRPAg), Tiempo de Reacción Motor (TRM) y Tiempo de Movimiento (TM). También medimos el Tiempo Intramuscular (TI) para estudiar el proceso muscular implicado en el inicio y control del movimiento brazo.

Nuestros resultados indican que la magnitud de los efectos tanto de facilitación como de IR es mayor en los movimientos con un mapping E-R más directo que en las

condiciones que requieren un mapping más complejo (alcance a botón y agarre). Estos efectos se observan, no obstante, casi exclusivamente a las fases premotoras del movimiento (TRPAg) (nunca se observa IR en fases motoras y sólo efectos pequeños de facilitación), lo que evidencia que estos mecanismos se originan en etapas premotoras del movimiento. Además, el que haya mayor IR y Facilitación cuando el mapping E-R es más directo manipulando la complejidad motora en la ejecución de respuesta, apoya directamente la naturaleza premotora de estos efectos, ya que la simplificación de los procesos de selección de respuesta hace que los efectos de señalización aumentan su tamaño. Autores como Chica y Lupiáñez (2004), Prime y Ward, (2004) Tian y Yao (2008) encontraron resultados que van en esta línea.

De hecho, en el TRM del experimento 1 (alcance botón vs alcance diana) hallamos un efecto de facilitación en la variable validez (menores latencias para ensayos válidos), al igual que en el capítulo 3. Por tanto, podemos concluir de una forma similar a como hicimos en el capítulo anterior que el efecto de la señal espacial puede manifestarse también de forma facilitadora y con un efecto muy pequeño en las fases motoras. Esto refuerza por una parte la hipótesis de que el efecto de IR que se observa en la acción final (el TR en los experimentos habituales y el TC en nuestros experimentos) está de hecho compuesto por subefectos facilitatorios e inhibitorios dependiendo de la fase temporal que se analice, como bien encontraron autores como Howard et al. (1999), o el componente del procesamiento que se enfatice (Lupiáñez et al., 2007). Aunque hay que destacar que en el capítulo anterior el efecto facilitatorio en etapas motoras se encontró en todos los experimentos de forma consistente mientras que estos experimentos sólo se observó en un movimiento (alcance a botón) en el experimento 1. Por tanto podemos concluir que la manipulación del mapping estímulo respuesta no es determinante para encontrar estos efectos en las fases motoras del movimiento.

El estudio de la magnitud de los efectos de señalización espacial ha sido poco desarrollado en la literatura, ya que en general se ha centrado en comparar el curso temporal de la Facilitación e IR, y de manera secundaria la magnitud. Tan solo Pratt y Neggers (2008) y Mayor (1985) prestan especial atención a este tema. Ellos encontraron mayor IR en sacadas (consideradas movimientos más directos) que en movimientos

manuales, al igual que nosotros entre los distintos tipos de movimientos estudiados. Por otra parte hay autores que encontraron resultados distintos a los nuestros. Así, por ejemplo, Briand et al. (2000) hallaron que la IR en respuestas manuales y sacádicas producían efectos de facilitación e IR de una magnitud similar, al igual que Pratt y Neggers (2008) que aunque encontraron mayor IR en sacadas respecto a movimientos manuales en la misma línea de nuestros resultados (A menor complejidad motora en el mapping E-R, mayor efecto de IR), no hallaron diferencias entre movimientos manuales (“*pointing*” vs presionar teclas) como nosotros. Creemos que el hallar estas diferencias en movimientos manuales, es debido a la introducción del registro electromiográfico, que permite obtener una medida más directa que el Tiempo de reacción que ellos midieron en movimientos manuales (equivaldría minimamente a la suma del Tiempo de Reacción Premotor más el Tiempo de Reacción Motor de nuestro estudio). Por tanto, nuestra investigación es la primera en estudiar directamente la magnitud de estos efectos con la manipulación de la complejidad motora, y encontrar que tanto la Facilitación como la IR aumentan cuando el movimiento a realizar tiene un mapping estímulo-respuesta más directo.

El encontrar diferencias en la Facilitación en función de la complejidad del mapping estímulo-respuesta cierra el abanico de posibilidades respecto a la explicación de la relación de los efectos de Facilitación e IR. Este patrón de datos se opone a las explicaciones que tradicionalmente se han dado para explicar los efectos de validez, según las cuales un mayor efecto de facilitación conlleva la aparición más tardía o un menor efecto de Inhibición de Retorno (Klein, 2000). Esta explicación no es plausible para nuestros resultados, dado que el menor efecto de IR (con el mapping más complejo) va acompañado no de un mayor sino menor efecto de facilitación en el SOA corto. Por tanto, el aumento general de la facilitación en el mapping más indirecto no es la clave para explicar nuestros resultados.

Por otro lado, Tipper et al. (1997) sugieren que las señales espaciales exógenas conducen a efectos independientes de facilitación e inhibición, con distinto curso temporal para cada uno. Ellos proponen que hay un proceso de declive de los procesos facilitatorios que coexiste con un aumento de los procesos inhibitorios que se observa empíricamente en el comienzo de la IR. Nuestros hallazgos en relación al aumento de

magnitud de Facilitación e IR demuestran que no hay ningún declive, o al menos que el declive en un proceso (p.ej., facilitación) no explica la mayor magnitud en el otro proceso (p.ej., IR). La explicación del patrón de datos que hemos observado podría ser la postulada por Khatoon et al. (2004), basándose en el conocimiento sobre neurofisiología de la atención y los sistemas de orientación. Se distingue entre procesos de atención voluntarios (controlados por sistemas corticales parieto-frontales) y mecanismos atencionales más reflexivos (controlados por sistemas de orientación subcorticales). Una predicción de este modelo es que una mayor actividad prefrontal incrementaría la inhibición de la orientación reflexiva. Debemos tener en cuenta que los circuitos prefrontales tienen más actividad cuando mapas indirectos estímulo-respuesta son ejecutados. Esto genera un incremento en la inhibición tónica ejercida en los sistemas corticales que gobiernan la orientación reflexiva, más concretamente los responsables del mantenimiento automático de la Facilitación e IR. Así, un aumento de la complejidad de los mapas estímulo-respuesta hará que aumenten la activación de los sistemas prefrontales durante la ejecución de la tarea, con un consiguiente control inhibitorio sobre el funcionamiento de los mecanismos de orientación más reflexiva. De esta forma se podría explicar que los efectos reflexivos de nuestras señales periféricas no predictivas (facilitación en el SOA corto e IR en el largo) se vean reducidos en magnitud cuando se incrementa la complejidad del mapping estímulo-respuesta.

Hay evidencias neuropsicológicas que apoyan esta teoría. Así, los pacientes con daños prefrontales tienen una incapacidad para planear y ejecutar tareas que están guiadas por señales internas (Fuster 1989; Perecman, 1987), lo que explica el que estos pacientes tengan problemas cuando aprenden secuencias de actos nuevas. Esto refuerza la idea de que el aumento de la complejidad de los mapas estímulo-respuesta aumenta la implicación de los sistemas prefrontales para la ejecución de la tarea (Murray, Bussey y Wise, 2000).

Por otro lado, hemos observado un efecto de SOA altamente significativo en TC que tiene su origen en las fases premotoras del movimiento (TRPAg). Es decir, los tiempos son menores en los ensayos con SOA largo. Estos resultados se relacionan con la orientación temporal de la atención o la generación de expectativas, causadas por la señal que, además de orientar la atención a una posición de la pantalla, sirve de señal de

aviso para que los participantes se preparen para responder al target (Los y Van der Heuvel, 2001; Correa et al., 2004) Lo novedoso de nuestra investigación es que este efecto de una mayor preparación en el SOA largo, observado como un menor TRPAg en esa condición, se invierte en los tramos de Tiempo de Reacción Motor y Tiempo de Movimiento de una manera consistente. Recordemos que en el capítulo 1 encontrábamos la manifestación del efecto de preparación en el tiempo en la fase premotora (TRPAg) pero también en las fases motoras en el experimento en el que se iniciaba la acción presionando las teclas con los dedos. De ahí que concluyéramos que los mecanismos de orientación en el tiempo influyen más allá de los estadios tempranos de procesamiento cuando la complejidad de la acción inicial aumenta. En cambio, observábamos que cuando la complejidad de la acción aumentaba aún más (en el experimento en el que se iniciaba la acción presionando los pulsadores con las palmas de las manos) el efecto de preparación en el tiempo invertía su tendencia en las fases motoras (TRM y TM). En los experimentos descritos en este capítulo los participantes realizaban la misma acción previa que en el experimento AIPP por lo que esperábamos encontrar este efecto, como así ha sido. Creemos que esto es debido a que cuando el músculo se activa de forma más temprana o rápida, y el tiempo de reacción muscular es menor, se necesita más control en la ejecución de la acción para alcanzar el objetivo de una forma adecuada. Por tanto, podríamos considerar que el origen de esta inversión no es que la generación de expectativas afecte a los tramos motores como en el experimento 2 de la serie anterior, sino que es un efecto causado por la mecánica de la acción. Es interesante comprobar también que estas diferencias entre el SOA corto y largo son mayores en el movimiento controlado, y en mayor medida en el experimento segundo de esta serie, lo que refuerza la idea de que este efecto es causado por un mayor control del movimiento, tanto en el inicio, como vimos en el capítulo anterior, como en la ejecución, como se demuestra en esta investigación.

Según nuestro conocimiento, este efecto de inversión en el SOA no ha sido observado antes. Sin embargo existen otros hallazgos en el campo del control motor que serían concordantes con este dato como el modelo de producción rítmica de Wing y Kristoferson (1973) que explicamos en el anterior capítulo.

A modo de resumen, en este capítulo estábamos interesados en comparar el tamaño de los efectos de facilitación e IR en función de la complejidad del mapping E-R, para lo cual manipulamos la complejidad de las acciones y del movimiento que los participantes debían realizar. Hemos encontrado que efectivamente el mapping estímulo-respuesta influye en el tamaño de los efectos de validez (Facilitación e Inhibición de retorno), observándose en las fases premotoras del movimiento efectos de una mayor magnitud cuando el movimiento a realizar es más directo. Esto nos permite concluir por una parte que estos efectos actúan mayoritariamente en estadios premotores del procesamiento de la información y por otra que el decaimiento de la facilitación no explica el surgimiento de la IR como postulaban Tipper et al., (1997). Una explicación plausible podría ser, como sugieren Kathoon et al. (2004) que la mayor implicación de la corteza prefrontal en la planificación de la tarea que requiere más control (mapping E-R indirecto) conlleve un control tónico de las estructuras de orientación reflexiva. Esto haría que los efectos automáticos de la señal (tanto si son positivos en el SOA corto, como negativos en el largo) se manifiesten menos en la ejecución. Por último, hemos encontrado una inversión del efecto de preparación en el tiempo en los tramos motores del movimiento, al necesitarse mayor control en la ejecución del movimiento cuando el inicio de la actividad muscular es más rápido. Será interesante comprobar en investigaciones futuras si el que se acelere el TR premotor a costa de un enlentecimiento en las fases motoras de la acción, es específico del efecto de SOA o efecto de “foreperiod”, como hemos observado en nuestros experimentos, o se trata de un efecto general. De ser esto último, se debiera observar el mismo patrón de resultados con los efectos secuenciales de SOA, o con el efecto de orientación temporal de la atención (Correa et al., 2006).

Capítulo 5

An attentional approach to study mental representation of fingers and hands

Abstract

The aim of the present study is to investigate whether the fingers are represented separately from the hand. So far, the literature has provided conflicting evidence about a possible dissociation between these two representations. In order to study this dissociation we have used an exogenous spatial orientation paradigm where participants had to detect a tactile stimulus that could appear on the back of their left hand or on the middle or ring finger. The target was applied to one of the possible target locations and preceded by a non predictive cue using different stimulus-onset asynchronies (SOA). The results confirm the dissociation between these two areas in the inter-area analysis, that is, when the cue and target were applied in different areas (the hand or the finger). We observed a general facilitation of the detection of the target when the cue was presented at the hand, using a short cue-target SOA and inhibition of return using a long cue-target SOA. Also we observed the coexistence of inhibition of return and a Cue above Target effect (facilitation effect when the Cue had appeared above the target location in a vertical line where the tip finger is the higher point) at the long SOA. Altogether, we argued the general pattern of results supports the proposed hypothesis about the different mental representation of finger and hands, suggesting an active role of the hand.

Key words: Mental Scheme, Facilitation, Inhibition of Return.

Introduction

When we feel something itches to us, we reach quickly to the location of the itch. But what mechanisms are behind this behaviour? How do we feel this sensation? Cognitive neuroscientists have studied the schemes used by the brain for localizing the tactile stimuli that take place on our body. Interestingly, it matters whether the skin of the fingers or that of the hand is stimulated. For instance, Haggard et al., (2005) observed separate processing mechanisms for stimuli presented to the hand as compared to stimuli presented to the fingers. In this study, subjects were touched on the fingertips, with the hands in one of two postures: Either the right hand was vertically above the left, or the fingers of both hands were interwoven. Subjects made speeded verbal responses to identify either the finger or the hand that was touched. Interweaving the fingers significantly impaired hand identification across several experiments, but had no effect on finger identification. Their results suggest that identification of fingers occurs in a somatotopic representation or finger schema, whereas identification of hands uses a general body schema, and is influenced by external spatial location.

The idea of a separate finger schema is far from new. Several authors have reported on patients with finger agnosia which specifically affects finger segmentation (Benton, 1959; Gerstmann, 1942, Mayer, Martory et al., 1999; Kinsbourne & Warrington, 1962; Anema et al., 2008). The primary deficit appears to involve *individuating* the fingers: it is as if the patient's fingers become collectively fused and undifferentiated (Kinsbourne & Warrington, 1962). Because finger agnosia can be found without autotopagnosia for other body parts, the concept of a distinct "finger schema" has been proposed (Benton, 1959). The important evolutionary changes in primate finger dexterity may have driven evolution of a separate abstract representation of the digits. Together, the above presented results do suggest a special separate representation of our fingers compared to the hand and other body parts. However, the exact mechanism underlying these findings is still in need of further clarification.

Here we are particularly interested in whether attention paradigms can tell us something about continuities and discontinuities in the organisation of tactile hand and finger representation. We used the cost and benefits paradigm (Posner and Cohen,

1984) in order to study the different representation systems involved in somatosensory stimuli detection and their location over the skin. This paradigm has been used to assess both voluntary attention (i.e., endogenous) and stimulus-driven (i.e., exogenous) spatial attention, across the modalities of vision, audition, and touch (e.g., Spence, Lloyd, McGlone, Nicholls & Driver, 2000; Spence, Pavani, & Driver, 2000).

In investigations of visual exogenous attention in which the target is before 300 ms after a peripheral cue, responses are typically faster when targets and cues occur at the same location (cued trials) compared to the opposite location (uncued trials). That is, the cue facilitates processing of subsequent stimuli presented at the same location (e.g., Posner & Cohen, 1984). After 300 ms, however, this facilitation is replaced by a relative slowing of responses to stimuli presented at the cued location, an effect known as inhibition of return (IOR; e.g., Posner, Rafal, Choate, & Vaughan, 1985). This is thought to be due to an initial reflexive shift of attention to the cued location, followed by the removal of attention from that location (Klein, 2000), or to a cost in stimuli capturing attention at a location where attention was captured before (Lupiáñez et al., 2007). This pattern of facilitation at short SOAs and IOR at longer SOAs has also been observed between auditory cues and targets (e.g., Spence and Driver, 1998) and cross-modally between cues and targets presented in different modalities (Roggeveen, Prime and Ward, 2005; Spence, Nicholls, Gillespie and Driver, 1998). This suggests that spatial attention in different sensory modalities may be controlled by common or closely linked system (e.g., Driver & Spence, 1994).

The results for tactile attention are less clear because IOR rather than facilitation has been observed (McGlone, Lloyd & Tipper, 1999; Roder, Spence & Rosler, 2002; Tassinari & Campara, 1996). One explanation for this is that tactile attention may have different characteristics to other modalities. In contrast to vision and audition, touch is a proximal sense, where spatial attention is referred to locations on the body rather than outwards to locations in space. For instance, Roder et al., (2002) assessed the effect of posture change on tactile inhibition-of-return (IOR). Put differently, they investigated whether tactile IOR occurs in a somatotopic or an allocentric (spatial) frame of reference. Tactile cue and target stimuli were administered to the index and middle fingers of either hand, with the hands positioned in an uncrossed (experiment 1) or

interleaved (experiment 2) postures. In the uncrossed hands position, speeded target detection responses were slower for targets presented on the cued finger, and were also slower for targets presented to the adjacent finger on the cued hand than to either finger on the uncued hand. The same pattern of results was also reported when the index and middle fingers of the two hands were interleaved on the midline, suggesting that the gradient of tactile IOR surrounding a cued body site is modulated by the somatotopic rather than by the allocentric distance between cue and target.

We were interested in studying the cueing effect (Facilitation and IOR) in fingers and hands. Our goal is to distinguish the attentional differences between these two body parts to ascertain whether they do or do not share the same mental representation. To do so, we used a detection task in which participants were required to detect a tactile target, which was preceded by a tactile cue. We placed different tappers in the fingers and the hand to which the cue and target were provided. The distribution of tappers in fingers and hand allowed us to make two different types of analyses. The intra-area analysis evaluated attentional effects in finger and hand separately. The inter-area analysis evaluated the same effects, i.e., facilitation and IOR, across the two adjacent areas, to see whether different effects are observed between and within areas. To the extent that fingers and hand share mental representations, we expect to find similar attentional effects in the two areas, and across areas.

Experiment 1

Methods

Participants

Eighteen participants (seven women) took part in this study. Their mean age was 23 years, ranging from 19 to 28 years. All participants in this and the following experiments reported having normal or corrected to normal vision and normal tactile perception. Given previous reports that professional pianists present better tactile temporal resolution abilities than non-pianists under crossed posture (Kobor, Furedi, Kovacs, Spence, and Vidnyanszky 2006), we ensured that none of our participants had previous experience playing any musical instrument. They were naive as to the purpose

of the experiment and all received 6 euros gift voucher in return for their participation, for which they gave informed consent. The studies were performed in accordance with the principles laid down in the Helsinki Declaration and with the ethical advisory committee of the Faculty of Social Sciences of the Utrecht University, the Netherlands.

Apparatus and stimuli.

Tactile stimuli were presented with a Miniature Solenoid Tapper Controller (ME-Solve). Four tappers were placed on the volar side of the left hand; two on the middle finger and two on the hand, as shown in figure 1. A tactile stimulus was delivered by a 2mm thick metallic rod, propelled by a computer controlled miniature solenoid with duration of 5ms (MSTC3 M&E Solve, Rochester, UK: <http://www.me-solve.co.uk>). The skin indentation produced a stimulus that was well above detection threshold. The 4 tappers were separated by a distance of 2.6 cm. During the experimental session, participants faced straight ahead with their head oriented toward a loudspeaker cone placed directly in front of them at a distance of 40 cm. In order to mask the faint noise made by the operating tactile stimulators, participants wore headphones and listened to white noise at 50 dB(A) throughout the experiment. Participants responded by pressing a button with the index finger of the right hand which was placed on the right side of the table.

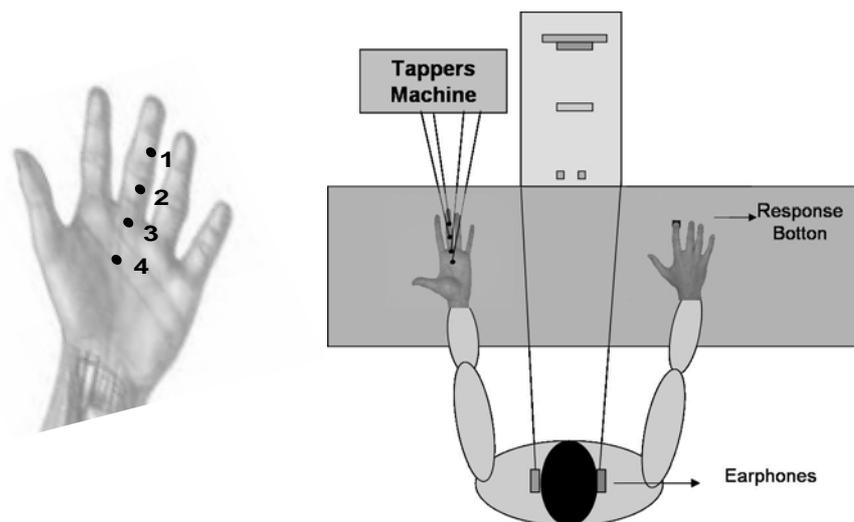


Figure 1: Tapper locations and Schematic drawing in experiment 1.

Procedure

Participants were blindfolded throughout the experiment. Every trial started with the presentation of an auditory warning signal 76 dB(A) from the central loudspeaker cone, which served as the central “fixation signal”. Both tactile cue and target consisted of a tap (5ms) delivered by the miniature solenoid (see above) causing the same tactile sensation. The tactile cue was presented between 300 and 500 ms after the auditory warning signal, at one of the four stimulus locations. The tactile target occurred randomly either 100 or 1000 ms after the onset of the cue. Pilot testing revealed that these cue and target stimuli were easily distinguishable as two separate sensory events. Participants were informed that there was no relation between the position of the cue and that of the target and were instructed to ignore the cues as much as possible. Participants were instructed to respond to the targets by pressing the right button within 1,000 ms of target onset. Auditory error feedback was presented on trials where participants made an erroneous response, that is, a 1600-Hz tone (300 ms duration) was presented whenever participants responded before the target appeared or either failed to respond within 1000 ms of target onset. In order to reduce the likelihood of participants anticipating and responding prematurely, we added a subset of trials (hereafter called catch trials) in which no target was presented. There was a delay of 1000–2000 ms between the end of one trial and the onset of the fixation sound at the start of the next trial. Tactile cues and targets were presented equiprobably and pseudorandomly from each of the four tappers. The two stimulus-onset asynchronies (SOAs; 100 and 1000 ms) were presented equally often for each of these 16 possible cue-target combinations, resulting in a total of 32 conditions which were each presented 12 times. In addition, 96 catch trials were also presented. Trials were run in blocks, so that participants completed 4 blocks of 120 trials, each one divided in 4 subblocks. Before the experimental trials started, participants performed 36 practice trials, which were excluded from the analyses.

Data analyses

Trials with correct responses faster than 150 ms (1.07%) or slower than 850 ms (2.05%), were excluded from the RT analyses. Mean RT per experimental condition were computed on the remaining trials and were first analyzed by means of a repeated

measures analysis of variance (ANOVA), with SOA (100 vs. 1000 ms), Cue location (Position 1,2,3,4), and Target Location (Position 1,2,3,4) (see Table 1). However, in order to simplify the analyses, these variables were recoded in a simpler design: SOA (100 vs. 1000 ms) x Target Area (Finger vs. Hand) x Cueing (Opposite Area vs. Same Area vs. Same Place). Same Place was coded whenever the cue and target were presented at the same location, Same Area when the cue was presented in the other location of the same area, and Opposite Area when the cue was presented at any location of the opposite area. This nomenclature is similar to that used previously to study visual hemifield modulation on visual cueing effect (e.g., Tassinari, Anglioti, Chelazzi & Berlucchi, 1994), sorting out RTs three different groups: Same Point (cue and target at the same location), Same Field (cue and target in the same hemifield but at different locations) and Opposite Field.

Results and Discussion

The SOA x Target Area x Cueing repeated measures ANOVA showed a main effect of Area, $F(1, 17)=26.52$, $p < .001$, with RT being 11 ms faster for the hand than the for finger locations. The main effect of cueing was also significant, $F(2, 34)=22.61$, $p < .001$, with responses to opposite area targets being 6 ms faster than those appearing at the same area, and 18 ms faster than those appearing at the same place. The interaction SOA x Cueing was also significant, $F(2, 34)=12.01$, $p < .001$, but was modulated by Area, as shown by the SOA x Area x Cueing interaction, $F(2, 34)=3.40$, $p = .0449$. It is important to remark that when the opposite area condition is excluded from the analysis, the only significant effect is that of cueing. Thus, the interaction seems to be driven by differences between areas rather than within areas. In order to corroborate this appreciation, we performed two different ANOVAs, the Intra-area analysis (only including the Same Place and the Same Area cueing conditions) and the Inter-area analysis (only including the Same Area and the Opposite Area cueing conditions).

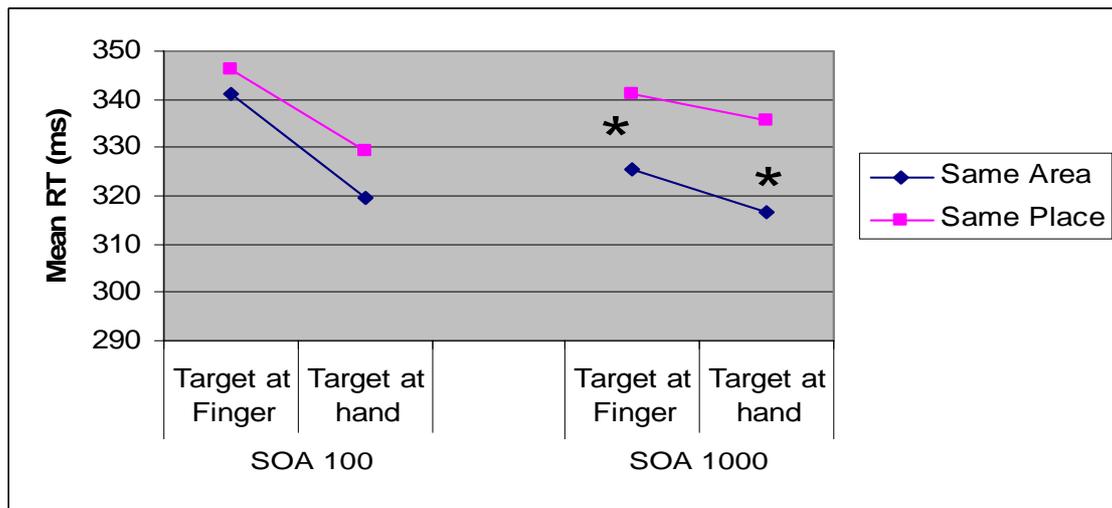


Figure 2: Intra-Area Cueing effect (Same area vs. Same Place) as a function of SOA in exper.1.

In the Intra-Area analysis (see figure 2), the main effect of Area was significant $F(1, 17)=17.77, p<.001$, as well as the Cueing effect $F(1, 17)=24.69, p<.0001$ (same place trials were 12 ms slower than same area trials). Note that the same place and same area conditions correspond to the usual cued location (same place) and uncued location (same area) conditions that are used to measure facilitation (faster RT on cued than on uncued location trials) and IOR. Thus, we did not find facilitation at the short SOA (Faster RT in Same place vs Same area); in fact nonsignificant IOR (Faster RT in Same area vs Same place) was observed instead, $F<1$, as facilitation is difficult to be observed in detection tasks (Spence and MacGlone, 2001). As can be observed in figure 2, at the long SOA significant IOR effects were observed in both finger and hand ($p=.019$ and $p<.0001$, respectively), with no difference between the two effects, $F<1$. Thus, it can be concluded that the IOR effect is similarly observed in the finger and the hand.

In the Inter-Area analysis (see figure 3), however, the three-way interaction was significant, $F(1, 17)=24.69, p<.001$. At the long SOA, the IOR effect (Faster responses in opposite area vs same area) was again significant for both finger and hand (both $p < .05$), with no difference between the two effects ($F<1$). However, as can be observed in figure 3, opposite inter-area cueing effects were observed for finger and hand at the short SOA, $F(1, 17)=13.24, p=.002$. In fact, a significant IOR was observed at the finger, $F(1, 17)=4.83, p=.042$, whereas significant facilitation (faster responses in the

Same Area condition vs the Opposite area) was observed instead at the hand, $F(1, 17)=8.57, p=.009$.

Note that the facilitation effect observed in the hand and the IOR effect observed in the finger can be altogether reinterpreted as a facilitatory effect whenever the cue is presented at the hand, as compared to when it is presented at the finger, which might be taken as evidence that fingers and hands do not share the same reference frame or mental map. If they shared the same reference frame we should find the same pattern of cueing effects (facilitation or IOR in both areas). In other words; the general facilitation when the cue is presented in the hand altered the cueing effect.

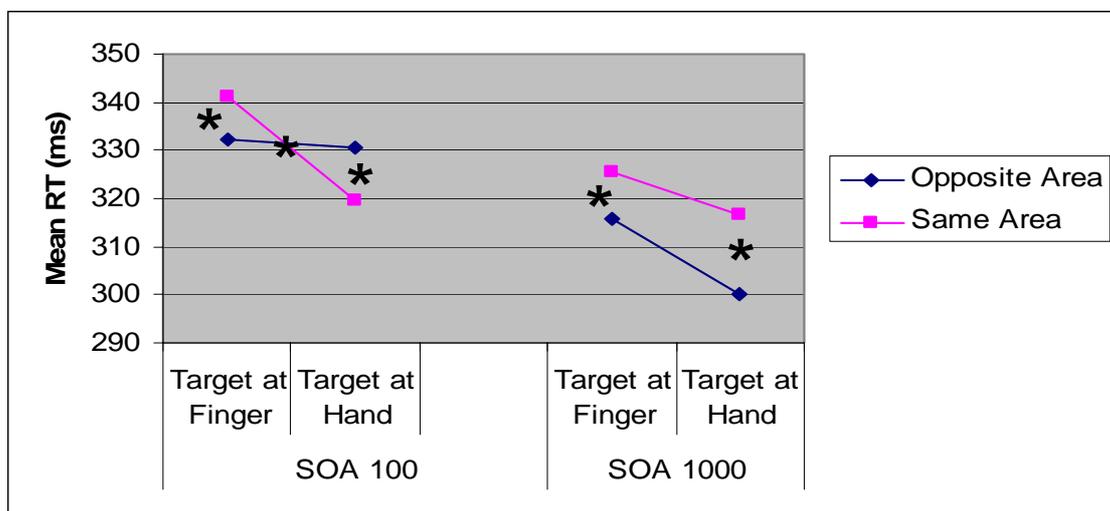


Figure 3: Inter-Area Cueing effect (Opposite area-Same area) as a function of SOA in exper. 1.

Thus, we observed that differences between areas are found exclusively at the short SOA. Interestingly, there is facilitation when the cue and target appear in the hand, but not when they appear in the finger. Spence and McGlone (2001) defends that it is really difficult to observe tactile facilitation, because the tactile modality may be insensitive to the spatial distribution of attention, and thus to the early facilitatory effect of exogenous orienting. However, we found the effect in the hand location, which might be due to the hand being more sensitive to the spatial distribution of attention. Miles, Poliakoff and Brown (2008) suggest that the previous facilitation found in the literature (Spence and McGlone, 2001; Santangelo and Spence, 2007; Chambers, Payne and Mattingley, 2007) may have provided participants a spatial framework within which to

interpret the subsequent target. However, no facilitation was observed in the finger in our experiment, suggesting that a spatial framework per se cannot explain the facilitatory effects observed for the hand cueing.

We subsequently performed a specific analysis to assess whether RT depended on the specific locations of cues and targets (see Table 1) and discovered another interesting effect in long SOA that co-exist with the IOR effect; the Cue above Target effect.

Table 1: Mean RT and SD (in bracket) per experimental condition for each experiment.

		Cue Location 1				Cue Location 2				Cue Location 3				Cue Location 4			
Target Location		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Exper.1	SOA 100	349 (75)	339 (77)	334 (76)	327 (73)	344 (81)	342 (67)	333 (75)	327 (58)	333 (77)	330 (68)	320 (68)	320 (65)	345 (68)	321 (72)	320 (77)	339 (78)
	SOA 1000	354 (75)	317 (59)	303 (72)	299 (63)	334 (64)	329 (63)	302 (72)	298 (64)	313 (58)	319 (59)	325 (71)	313 (65)	311 (59)	321 (78)	321 (74)	346 (64)
Exper.2	SOA 100	309 (56)	298 (56)	316 (58)	302 (58)	309 (54)	304 (61)	296 (47)	299 (59)	312 (52)	301 (56)	312 (57)	313 (62)	301 (54)	291 (64)	303 (52)	295 (63)
	SOA 1000	356 (62)	316 (66)	343 (72)	319 (58)	329 (70)	343 (61)	333 (71)	343 (77)	332 (68)	314 (64)	341 (77)	315 (63)	318 (66)	323 (66)	331 (65)	347 (66)

RT seems to be faster when the cue appeared above the target in a vertical line where the tip finger is the higher point (i.e., at a more distal position). In order to specifically test this effect we recoded the variables in the following design: SOA (100, 1000) x Cueing (Cue above the Target, Cue below the Target and Cue at the same place as the target) (see figure 4). No effects were observed at the Short SOA. At the long SOA, however, RT was 19 ms slower at the Cue at same place as the Target condition as compared to the Cue below the Target condition, $F(1,17)=17.59$, $p < .001$, and 15 ms slower at the Cue below Target condition than at the Cue above Target condition,

$F(1,17)=16.80$, $p < .001$. Thus, there is a general facilitation towards the inside position of the hand, more concretely, when the cue and the target appear in a sequence oriented to centre of the hand direction. This effect could be explained as facilitation induced towards the centre of the hand or more generally as facilitation induced from distal to proximal locations in the body. Similar hierarchical effects between fingers and hands have been reported previously. Haggard et al., (2005) postulated a process of assignment of fingers to hand according with the hierarchical and modular system in mental representation (Haggard & Wolpert, 2005).

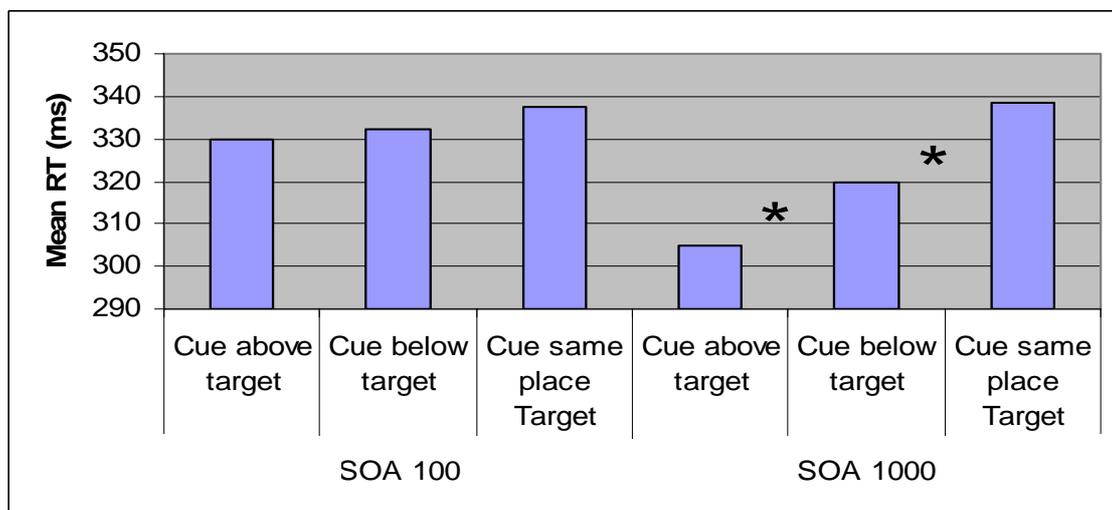


Figure 4: Cue above Target effect in experiment 1.

Experiment 2

In Experiment 1 we observed a reliable intra area and inter area IOR effects at the long SOA. Thus, RT was slower when the target was presented at the same location or at the same area as the cue. On the other hand the facilitation effect at the short SOA was only observed when cue and target were presented at the hand. Interestingly, at the long SOA the observed IOR effect (similar in finger and hand) coexisted with what we have called a cue-above effect, i.e., faster RT with cues being presented at a more distal location than the target. It is important to know whether this pattern of data, which reinforce the idea of different representations for finger and hand, can be extended from the middle finger (the one measured in Experiment 1), to other fingers, and other

arrangement of the tappers. Therefore we conducted a new experiment in which we changed the tappers location as compared to the experiment 1 (See the figure 5).

Methods

Participants

Eighteen participants (eight men) took part in this study. Their mean age was 25 years, ranging from 18 to 28 years.

Procedure

Everything was the same as in experiment 1, apart from the following changes. The tappers were located at different locations (see figure 5). Now the “finger area” consists of two separate body parts, that is, the ring and index finger, and we changed the tapper number 2 in experiment 1 to another position in the hand to ascertain the consistency of the pattern of results observed in experiment 1. A more alerting warning signal was used in this experiment (a more intense auditory fixation signal) which maximally increased alertness (i.e., the intensity of the fixation sound was 85 db as compared to 50 db in the first experiment). This allowed us to evaluate whether the cue above effect was due to inward sequences being more alerting than outward sequences.

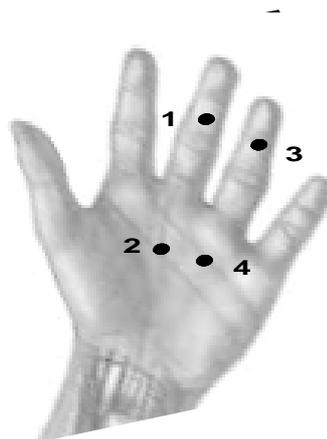


Figure 5: Tapper locations in experiment 2.

Results and Discussion

Trials with correct responses faster than 150 ms (1,98%) or slower than 850 ms (2,13%), were excluded from the RT analyses. Mean RT per experimental were computed on the remaining trials and were submitted to a SOA x Target Area x Cueing repeated measures ANOVA. The analysis showed a strong effect of SOA, $F(1, 17)=45.99$, $p<.0001$, with RT being now 30ms faster at the Short than at the Long SOA. This effect, opposite to the one observed in Experiment 1, seems to be due to the increase in intensity of the fixation point (85 db vs. 50 db), which led to greater alertness (Carlsen, Dakin, Chua, & Franks, 2007). As in experiment 1, the main effect of Area was also significant, $F(1, 17)=17.29$, $p=.0007$, RT being 8 ms faster for the hand as compared to the finger locations. The cueing effect was again significant, $F(2, 34)=19.35$, $p<.0001$, with responses to opposite area targets being 7 ms faster than those appearing at the same area $F(1, 17)= 1.67$, $p=.0045$, and 13 ms faster than those appearing at the same place $F(1, 17)= 27.88$, $p<.0001$. The interaction SOA x Cueing was also significant, $F(2, 34)=14.98$, $p<.0001$, but was modulated by Area, as shown by the SOA x Area x Cueing interaction, $F(2, 34)=7.57$, $p=.0019$. To further study this interaction two different ANOVAS were performed as in experiment 1, one to study Intra-area effects (only including the Same Place and the Same Area cueing conditions) and the other to study Inter-area effects (only including the Same Area and the Opposite Area cueing conditions).

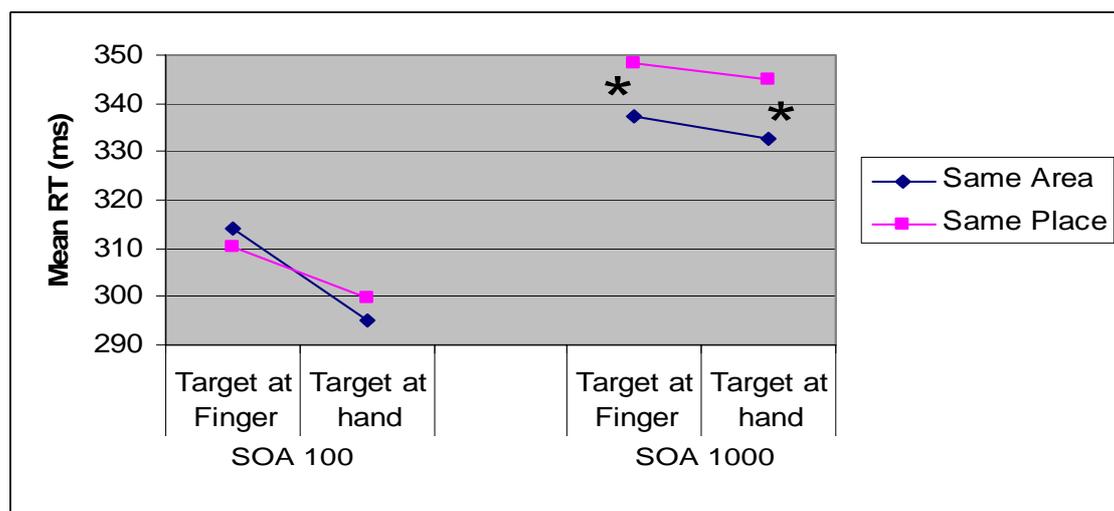


Figure 6: Intra-Area Cueing effect (Same area vs. Same Place) as a function of SOA in exper.2.

In the Intra-Area analysis (see figure 6) the three-way interactions was not significant ($F(1, 17)=1.26$, $p=.2768$), the main effect of Area was significant, $F(1, 17)=11.14$, $p=.0039$ as it was the main effect of intra-area cueing, $F(1, 17)=12.83$, $p=.0023$ (same area trials were 6 ms faster than same place trials). We did not find facilitation or IOR at the short SOA; like in experiment 1). However, as can be observed in figure 6, at the long SOA significant IOR effects were observed in both finger and hand ($p=.0047$ and $p=.0349$, respectively), with no difference between the two effects, $F<1$. Thus, it can be concluded that the IOR effect is similarly observed between the two fingers and in the hand. Thus, it can be concluded that the IOR effect is similarly observed in the finger area and the hand area, and in general lines we do not find any evidences about the relationship between fingers and hands. It is important to realize that we observed the same pattern of intra-area results in both experiments, even though the tappers' place was totally different. In Experiment 1 the two tappers were placed in one finger, whereas in Experiment 2 they were placed in different fingers (see Figure 5). Thus, the differences seem to be again between areas rather than within areas.

These results reinforce the hypothesis that the two fingers are represented in the same mental representation. Similar results are found in the literature. Haggard et al., (2005) found interference in homologous fingers, suggesting that the mental representation of all fingers share the same neural circuit. On the other hand, some pathologies like finger agnosia (see introduction) support the differentiation between fingers.

In the Inter-Area analysis (see figure 7), the three-way interaction was significant again, $F(1, 17)=15.97$, $p=.0009$. At the long SOA, the IOR effect was again significant for both finger and hand ($p=.0047$, $p=.0003$, respectively) with no difference between the two effects ($p=.286$). However, as can be observed in figure 7, opposite inter-area cueing effects were observed for finger and hand at the short SOA, $F(1, 17)=11.65$, $p=0.0033$. Significant facilitation was observed at the hand $F(1, 17)=5.09$, $p=.0375$, whereas IOR was observed at the finger, $F(1, 17)=1.93$, $p=.041$. This result confirms the finding of Experiment 1. The facilitation in the hand and the IOR in the finger can be considered together, a facilitatory process when the cue is presented in the hand, which again supports the hypothesis that fingers and hands do not share the same

reference frame or mental map. If they shared the same reference frame we should find the same pattern of cueing effects (i.e., facilitation or IOR in both areas). In other words, the general facilitation when the cue is presented in the hand altered the cueing effect

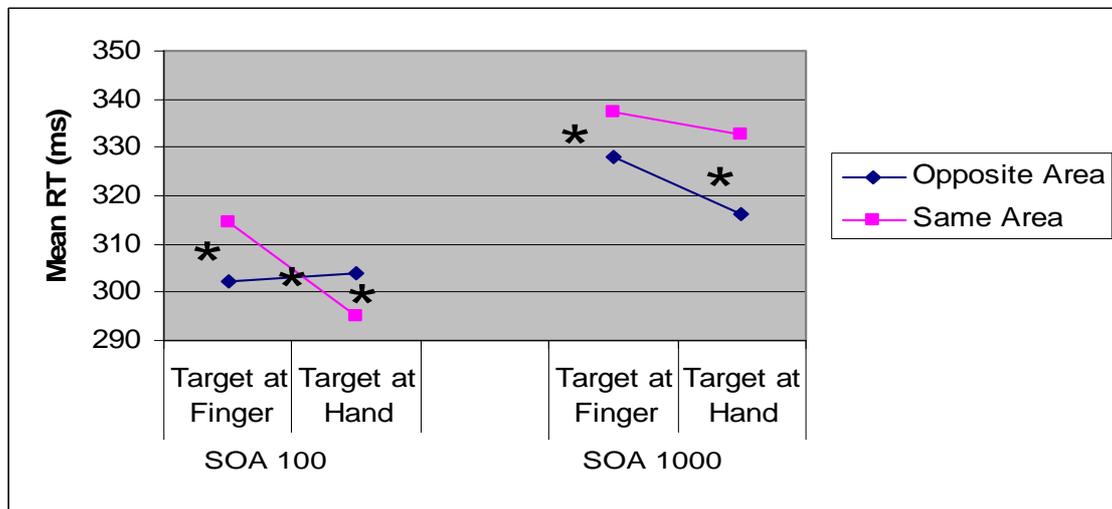


Figure 7: Inter-Area Cueing effect (Opposite area-Same area) as a function of SOA in exper.2.

Following the same logic of analysis as in Experiment 1, the SOA (100, 1000) x Cueing (Cue above Target, Cue below Target, Cue same place Target) ANOVA again revealed a Cue above target effect at the long SOA. RT was 22 ms slower for targets at the same place as compared to the Cue below Target condition, $F(1, 17) = 32.67$, $p < .0001$, and 8 ms slower at the Cue below Target condition than at the Cue above Target condition, $F(1, 17) = 7.22$, $p = .0156$

To sum up, the same general pattern of data as that observed in Experiment 1 was replicated in this new Experiment 1, in spite of using two fingers in the finger area, and a different distribution of the tappers, together with an increased level of alertness, due to the increase in intensity (from 50 to 85 db) of the fixation sound.

General Discussion

The aim of our research was to study the mental representation of fingers and hands. We manipulated spatial attention within and between these two body parts in order to investigate whether they share the same mental representation or rather have different mental maps. More specifically, we used a spatial cueing paradigm to learn

about continuities and discontinuities in the organisation of tactile hand and finger representations independently of whether they are allocentric or somatotopic.

For this purpose, we designed two experiments with a tactile detection task where tappers were placed in finger and hand to ascertain the similarities and differences in the observed attentional effects (Facilitation and Inhibition of Return) between the two areas. One of the novelties of our research is that we used more locations than in previous studies. We expected this to make our task more sensitive, so that we would be able to observe the early facilitatory effect of exogenous orienting (Spence & MacGlone, 2001). More interestingly, having two tappers on the finger and two on an adjacent position in the hand, make it possible to perform an intra-area analysis in which the facilitation and IOR effects observed in the finger and the hand can be directly compared. Furthermore, by comparing the intra-area effects with those observed between areas, we would be able to extract information about whether finger and hand are represented in separate representations, so that different effects are observed when the orienting cue is presented in one area and the target in the other, as compared to when the two are presented within the same area.

At the short SOA, where facilitation is expected, the data from both experiments clearly reveals an interaction between areas regarding the attentional effects that are observed. Facilitation was in general observed when the cue was presented in the hand. Thus, facilitation was observed at the hand (i.e., responses were faster when cue and target were presented in the hand, than when the cue was presented in the finger and the target in the hand), whereas IOR was observed in the finger (i.e., responses were faster when the cue was presented in the hand and the target was presented in the finger, than when both were presented in the finger). This process provides evidence about the main role of the hand in the activation of mental representations of fingers and hands, and at the same time support the hypothesis that fingers and hands have different mental representations. If they shared the same reference frame we should find the same pattern of cueing effects. In other words, the general facilitation observed when the cue is presented in the hand altered the normal cueing effect.

Further evidence for different representations for fingers and hand come from the interareas IOR effect observed at the long SOA. The same way that IOR is reliably

observed between hemifields (surely supporting a role of different hemifields representations, in different cerebral hemispheres) (Weger et al., 2008) IOR is observed between finger and hand in our two experiments, thus supporting that they are represented as different areas. In this vein, Haggard (2005) showed that the hands are allocentrically represented, whereas fingers are coded somatotopically. Similarly, the studies about finger agnosia (Benton, 1959; Gerstmann, 1942, Mayer, Martory et al., 1999; Kinsbourne & Warrington, 1962; Anema et al., 2008) conclude that fingers could have separate representations from the hand. Different results were yielded by Kim and Cruse (2000) who concluded that fingers have an allocentric representation.

On another hand, at the long SOA, the observed IOR effect co-existed with what we have called the Cue above Target effect. In both experiments when the Cue is presented at a more distal location than the target, responses are slower than in the opposite condition, where the target is presented more distally. This effect can be explained in terms of facilitation induced by the succession of events towards the centre of the hand or more generally as facilitation induced from distal to proximal locations in the body. Thus we can conclude that a general facilitation is observed in our experiment whenever the stimuli activate the hand as point of reference. Thus, when cue and target are presented very close in time (i.e., at the short SOA) responses are faster whenever the cue and/or the target is presented at the hand. Then the fastest condition is when both cue and target are presented at the hand. When the two stimuli are presented separate in time, responses are faster when the succession of events occurs towards the hand, i.e., towards the inner part of the body.

In general, these effects seem not be due to alertness, as they were exactly the same in the two experiments, in spite of using in the second experiment a more intense warning cue. Note that the increase in the intensity of the fixation sound from 50 db to 85 db speeded up responses as to reverse the main effect of SOA. In this case, responses were faster at the short than at the long SOA. However, the same pattern of cueing effects was observed, both within and between areas, and the Cue above Target effect was replicated.

The general facilitation observed in the hand at short SOA and the Cue above Target effect seem to reinforce the idea about the main role of the hand in a

hierarchically organized mental representation where the hand is predominant. This mental hierarchy has been well described in the literature, each level in the hierarchy containing elements that are also found at the next 'higher' level, but framed within a more complex architectural and functional design (Gallese, 2000). Other authors reinforce the modularity and hierarchy of mental representations that goes in the same line of our hierarchical effect. Thus, Haggard and Wolpert (2005) maintain that the body scheme is modular and hierarchical. Body postures might, in principle, be stored as individual entries in a database, with each entry describing the entire body configuration and body surface stimuli. Therefore, the body scheme comprises body parts or segments, which bear spatial and categorical interrelations (e.g., fingers are elements of hands, which form the ends of arms) (Tessari & Rumiati, 2002). This hierarchy is reflected in our study in the facilitation mechanism toward the hand. We did not find this modular feature between fingers.

We had the same pattern of intra-area results in both experiments (there is IOR in finger and hands independent between them), but the tappers place is totally different. In experiment 1 the two tappers were placed in one finger. In experiment 2 there was only one tapper on middle finger and another in finger ring (and two tappers in the hand aligned with the tappers of the fingers, see Figure 5) These results suggest a common attentional mechanism for tactile stimuli on the different fingers. This may be related to partially overlapping finger representations (Haggard et al., 2005) which may suggest that when the cue and target are presented at fingers that are not adjacent the effects may be different. Alternatively, separate finger representations co-exist with a general attentional distribution that affects all fingers, and are different to the hand. Future research should explore these options.

A corollary conclusion from our study is that fingers and hands have different mental representations but with a considerable and hierarchical interrelation between them. Future research should also focus on the nature of the cue above target effect because with our methodology we can not distinguish between this effect as a facilitatory effect towards the centre of the hand and a rather more general facilitation effect induced from distal to proximal locations in the body.

Capítulo 6

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La presente tesis doctoral ha estudiado cómo la atención influye y es modulada por la respuesta motriz y los mapas mentales, tópicos que han sido estudiados mayoritariamente por el control motor. Por tanto el objetivo general de esta tesis era establecer un nexo de unión entre estas dos áreas, la atención y el control motor. Para ello dividimos la investigación realizada en tres capítulos en los que estudiamos la interrelación entre el control motor y la atención en varios niveles. En el capítulo 3 estudiamos la atención y el control motor en una situación en la que manipulamos las demandas motoras previas al inicio de la acción, es decir cómo influye por una parte la complejidad motora de la acción inicial en el desarrollo de la acción y en los efectos atencionales de Facilitación, Inhibición de retorno, efecto SOA, y motores como el efecto Simon, y como éstos influyen en la conducta motora por otra parte. En el capítulo 4 estudiamos la interrelación entre la atención y el control motor, manipulando la complejidad motora en la ejecución del movimiento con distintos mapping estímulo-respuesta, con el objetivo de ver cómo esta manipulación influye en los efectos de Facilitación, IR y SOA. Por último estudiamos el control motor en su nivel más básico representacional, esto es, las representaciones mentales sensoriomotoras, con el objetivo de averiguar si mediante nuestro paradigma atencional podíamos discernir si distintas partes del cuerpo tienen mapas mentales distintos. Más concretamente estudiamos la relación entre dedos y manos, a la postre, el efector de nuestros experimentos.

ATENCIÓN Y CONTROL MOTOR EN EL MOVIMIENTO

Los capítulos 3 y 4 de esta tesis tenían como objetivo general establecer un nexo de unión entre la atención y el control motor en los niveles de programación motora y ejecución. Como objetivos específicos queríamos comprobar como las manipulaciones motoras en el inicio y en la ejecución influyen en los efectos atencionales y motores estudiados, y cómo estos efectos modulan los distintos tramos motores. En la manipulación de la complejidad inicial que llevamos a cabo obtuvimos menores TC cuando los participantes no realizaban ninguna acción previa, es decir en el movimiento con menor complejidad motora inicial. Por otra parte, la utilización de los mismos músculos para realizar las dos acciones enlentecía la acción final (TC) en comparación con la utilización de músculos distintos. Esto implica que la manipulación de la

complejidad inicial que llevamos a cabo fue la correcta, teniendo esto una doble implicación

Por una parte nos permitirá explicar el patrón de los distintos efectos estudiados teniendo en cuenta como uno de los principales factores explicativos la complejidad inicial de la acción.

Por otra parte aportamos una nueva variable que puede aumentar la complejidad del movimiento y por tanto a los programas motores en el marco contemporáneo de la teoría del “memory drum” (Henry y Rogers, 1960). Recordemos que esta teoría investigó la naturaleza específica de los movimientos y cómo las diferencias en complejidad podían afectar al tiempo de reacción, concluyendo que los movimientos más complejos requerirán más tiempo para iniciarse, ya que un programa motor más complejo debe de ser puesto en marcha. Por tanto podemos concluir que el uso secuencial de los mismos músculos en dos acciones secuenciales hace que el movimiento a realizar sea más complejo, siendo nuestro trabajo la primera investigación en que se realiza esta manipulación.

Esta complejidad inicial se debe en gran medida a la mecánica muscular del inicio del movimiento, ya que es mucho más compleja. En la condición de máxima dificultad en el inicio del movimiento, se debe de finalizar el programa motor que contrae el músculo deltoides anterior para pulsar con las manos (contracción isométrica; músculo genera tensión pero no se mueve), levantar la mano (el músculo se relaja aunque no del todo porque el brazo está livianamente levantado y eso hace que el músculo no se relaje totalmente) y contraer concéntricamente el músculo (sus extremos se juntan) cuando se alarga el brazo para tocar la diana pertinente. Mientras que el inicio del movimiento tras soltar las teclas, sólo necesita de la contracción concéntrica del deltoides anterior para alcanzar la diana.

El estudio pormenorizado del TC aporta otro dato importante; no hay diferencias en las fases iniciales de la acción (TRP_{Ag}) entre el movimiento secuencial con músculos distintos y el movimiento simple de acción de alcance. Es decir; realizar dos acciones o una, aunque afecte al TC final, no parece afectar al inicio de la acción. Sin embargo si se utilizan los mismos músculos para realizar dos acciones consecutivas las

latencias son superiores en el inicio de la acción (TRPAg) que si se utilizan músculos distintos.

Por tanto no toda la programación motora se realiza antes del movimiento. Esto significa que el movimiento de acción de alcance a las dianas no es un movimiento puramente balístico ya que parte de la programación se realiza durante el movimiento, en línea con la literatura existente (Franks et al., 1998; Ketelaars et al., 1998). Por tanto podríamos considerar el movimiento de alcance a diana un movimiento semibalístico o de bucle cerrado.

Para entender la diferenciación entre bucle cerrado y abierto podemos recurrir al “Modelo de Servosistema” (Oña, Serra, Martín, Padial y Gutiérrez, 1990). Este modelo basado en modelos de ingeniería integra todos los componentes anatómicos que participan en la respuesta motora (músculos, sistema nervioso, receptores sensoriales) hasta los componentes comportamentales (unidades de información, niveles de procesamiento) partiendo del concepto de incertidumbre (Oña et al, 1990.) El modelo de Servosistema tiene dos variables, denominada de bucle abierto o de bucle cerrado. El modelo de bucle abierto explica acciones rápidas como movimientos balísticos (e.g., un puñetazo de un boxeador). Estas acciones son programadas antes del inicio de la acción, debido a su alta velocidad y que no hay tiempo suficiente para que se lleven a cabo los procesos de retroalimentación sensorial que si se llevan a cabo en movimientos en bucle cerrado como por ejemplo, coger un vaso de agua, en los que nuestro cerebro modifica la acción a medida que se desarrolla la ejecución. Este hecho se produce gracias a una retroalimentación de la información sensorial desde los propioceptores musculares y los exteroceptores visuales, auditivos y táctiles (Adam, 1971). De este modo el sistema perceptivo-motor actúa como un servo mecanismo en el que, a partir de la información previa, un mecanismo de referencia (“*feedforward*”) que recibe feedback de los elementos anatómicos del cuerpo) corrige si el patrón de movimiento ejecutado difiere del almacenado en el cerebro (el concepto de “*feedforward*” es un concepto equivalente a programa motor). El que parte del movimiento se programe durante el transcurso del movimiento, implica que el feedback será necesario para la acción, y éste a la postre influirá de manera determinante en los efectos atencionales y motores estudiados, como presentaremos en esta discusión. Además, si el movimiento de

alcance a dianas es el movimiento más sencillo de los presentados en esta tesis (desde el punto de vista de programación motora y ejecución) y por tanto es susceptible de ser influenciado por el feedback de la acción, conllevará que parte de la programación se desarrolle en las etapas motoras. Por tanto, podremos concluir que todos los movimientos estudiados en esta tesis son retroalimentados.

Por otro lado, hemos observado que las diferentes variables motoras manipuladas tienen una gran influencia sobre los efectos atencionales estudiados. Así, en relación a la preparación temporal, el efecto de SOA está claramente influenciado por las demandas motoras iniciales y en la ejecución del movimiento. En el capítulo 3 invertía su tendencia en las fases motoras del movimiento cuando la complejidad inicial del movimiento era máxima. Cuando manipulamos también la complejidad en la ejecución (capítulo 4) encontramos que este efecto era mayor cuando se necesitaba un mayor control en la ejecución del movimiento (alcance de botón y agarre de objeto vs alcance a diana). Por lo que podemos concluir, que las demandas motoras en general influyen en la inversión de este efecto. Creemos que este patrón de datos es debido a que cuando el músculo se activa de forma más temprana o rápida, y por tanto el tiempo de reacción muscular es menor, se necesita más control en la ejecución de la acción para alcanzar el objetivo de una forma adecuada. Por tanto, podríamos considerar que el origen de esta inversión no es que la generación de expectativas afecte a los tramos motores, sino que es un efecto causado por la mecánica de la acción, debido a un aumento del feedback necesario para realizar la acción de forma correcta cuando el inicio del movimiento es más rápido, causando que la ejecución del movimiento requiera de un mayor control.

Por otra parte, el efecto Simon, estudiado en el capítulo 3, aparece de forma consistente en las fases premotoras del movimiento (TRPAg) y también en las fases motoras (TRM y TM) en el experimento con mayor demanda motora inicial mayor. De ahí que podamos aseverar que el efecto Simon aunque tenga una naturaleza premotora puede afectar a etapas posteriores a la selección de respuesta, cuando se necesita de un mayor control inicial. A parte de la mecánica muscular (explicada anteriormente) otros factores influyen, aunque en menor medida, en que el movimiento inicial del experimento donde se sitúan las manos en los pulsadores tenga una complejidad inicial

mayor. Cuando se colocan las manos en los pulsadores con respecto a los dedos en las teclas, cualquier pequeño movimiento puede hacer que el mecanismo del “*release*” se active ya que el sensor colocado bajo las plataformas manuales tiene un tamaño inferior a éstas. Esto conlleva que el control necesario para mantener la postura sea mayor y que los procesos de feedback propioceptivo sean mayores que cuando se pulsa una tecla, lo que conllevará que haya un mayor procesamiento de retroalimentación, aunque esta información sea propioceptiva y se procese más rápido que por ejemplo, la visual como mantienen los estudios clásicos realizados sobre la ley de Hick, o que la mano tenga una mayor resolución espacial como vimos en el capítulo 6. En resumen esta mayor dificultad puede influir en que el efecto Simon actúe más allá de la selección de respuesta y se manifieste en la ejecución del movimiento (TRM) ya que el programa motor necesita de una mayor retroalimentación y por tanto más recursos cognitivos, teniendo esto como consecuencia que este efecto influya en el primer tramo del movimiento ya que posiblemente la manifestación de este efecto no ha podido ser desarrollada del todo por la elaboración de un programa motor con los parámetros de inicio de la acción especialmente complejos. Este beneficio en el primer tramo del movimiento hará que los ensayos ipsilaterales sean más lentos en el último tramo del movimiento (mayores latencias en ensayos ipsilaterales en TM) debido a un mayor control en la mecánica del movimiento como pasaba con el efecto SOA. Hommel (1993b) encontró que el efecto Simon puede ser invertido (ensayos contralaterales más rápidos que ipsilaterales) cuando se manipula la atención a distintas características de respuesta, lo que demuestra, como en nuestra investigación, que este efecto puede ser fácilmente modulado.

En relación a la orientación atencional, las manipulaciones que realizamos en la complejidad inicial y en la ejecución de la acción afectaron de forma diferente a los efectos de Facilitación e IR. De ahí que podamos extraer las siguientes conclusiones.

Por una parte podemos concluir que ambos efectos son mayoritariamente premotores, ya que se observaron casi exclusivamente en el inicio de la acción (TRPAg) en las investigaciones realizadas en los capítulos 3 y 4. Otra evidencia de la naturaleza premotora de estos efectos la obtuvimos en el capítulo 4. Nuestros resultados indicaron que la magnitud de los efectos tanto de Facilitación como de IR es mayor en los

movimientos con un mapping E-R más directo (tarea de alcance a diana, con una complejidad motora menor) que en las condiciones que requieren un mapping más complejo a nivel motor (alcance a botón y agarre). Esto supone que la simplificación de los procesos de selección de respuesta hace que los efectos de señalización espacial aumenten su tamaño, lo cual puede ser entendido como una evidencia de la naturaleza premotora de estos efectos. La última evidencia sobre la naturaleza de este efecto es que nunca encontramos IR en los tramos motores. Por tanto, podemos concluir que el efecto de IR tiene una naturaleza predominantemente premotora en consonancia con investigaciones realizadas con anterioridad (Chica y Lupiáñez, 2004; Howard et al., 1999; Li y Lin, 2002a; Lupiáñez et al., 2001; Prime y Ward, 2004)

No obstante, el efecto de IR que se observa en la acción final a veces podía ser contrarrestado por subefectos facilitadores en fases motoras. Es decir, en algunas condiciones observamos que el efecto de señalización del SOA largo era positivo, no negativo, en algunos subtramos motores de la acción. Por tanto, el efecto de IR observado habitualmente (en el TR en los experimentos habituales y el TC en nuestros experimentos) parece estar de hecho compuesto por subefectos facilitatorios e inhibitorios dependiendo de la fase temporal que se analice, como bien encontraron autores como Howard et al (1999), o el componente del procesamiento que se enfatice (Lupiáñez et al, 2007). Así, es en el inicio de la acción donde se observa el enlentecimiento en la posición previamente señalada, aunque la señal pueda tener efectos opuestos de facilitación en fases posteriores de la acción, quizá en la selección del lugar de destino de ésta. De forma similar, cuando se ha manipulado la tarea a realizar (detección vs. discriminación, por ejemplo) se ha observado que la detección estimular se ve especialmente influida negativamente por la señal (esto es, se observa la IR), mientras que otros procesos (probablemente relacionados con la selección del target) se vean beneficiados por la señal previa (Lupiáñez, en prensa). El que la IR esté compuesta por subefectos facilitatorios e inhibitorios puede tener su explicación en el mayor control del movimiento cuando el músculo es activado de una forma temprana (como ocurría con el efecto SOA) ya que si los ensayos inválidos en el SOA largo provocan menores latencias en el TRPAG (efecto de IR) puede que se necesite de un mayor control y por tanto feedback en la ejecución del movimiento para poder realizar de forma exitosa la acción. No obstante, estos efectos son muy pequeños y creemos que

es muy difícil encontrar diferencias entre distintos tipos de movimientos o con distintas manipulaciones en el inicio del movimiento.

El efecto de facilitación no obstante sí se manifestó en las fases motoras cuando manipulamos la complejidad inicial del movimiento, por lo que podemos concluir que aunque la manifestación de este efecto sea predominantemente premotor, puede afectar también, aunque en menor medida, a las fases motoras. Una posible explicación es que la señal produce efectos independientes de Facilitación e IR (Tipper et al., 1997; Tassinari et al., 1994; Kathoon et al., 2002; Mele et al., 2008; Posner y Cohen, 1984).

Por tanto, es posible que la señal desencadene diferentes procesos con distintas características como diferentes cursos temporales dependiendo del intervalo entre la señal y el target. Como mantiene Lupiáñez (en prensa) el curso temporal de la Facilitación y la IR pueden ser modulados de forma distinta. Mientras que el mecanismo responsable de la IR (un coste en detectar el estímulo objetivo) puede ser un mecanismo de “bajo nivel” difícil de modular, la Facilitación puede ser modulada más fácilmente y puede que cuando la tarea tenga una demanda motora alta, pueda aparecer en los tramos motores. Es posible que la señal en el SOA largo desencadene un programa motor con más parámetros cinemáticos del inicio del movimiento definidos, manifestándose en las etapas motoras con subefectos facilitatorios que compensan la rapidez con la que se ha producido la respuesta premotora y que en el SOA corto la señal genere un programa motor con menos parámetros cinemáticos de inicio de movimiento definidos, lo que hará que este efecto siga beneficiando al movimiento en los tramos motores de la acción.

La Facilitación obtenida en los tramos motores aparece cuando las demandas motoras iniciales del movimiento son manipuladas, mostrándose el efecto de Facilitación en los tramos motores de una forma consistente en el capítulo 3. No obstante cuando manipulamos la complejidad en la ejecución (capítulo 4), el efecto de Facilitación sólo se manifiesta en el TRM en la acción de alcance. Si tenemos en cuenta que cuando manipulamos la complejidad en la ejecución (capítulo 4), la condición de manipulación motora inicial es la misma que en el experimento 3 del capítulo 3 donde encontramos facilitación en los tramos motores ¿Por qué no encontramos estos efectos en los experimentos del capítulo 4 donde se manipula la complejidad de la ejecución de

la acción? Esto puede ser debido a que el locus de control o las demandas cognitivas para realizar una tarea donde tienes que seleccionar entre varios programas motores (alcance, agarre, etc.) sea mayor que para una tarea donde tienes que realizar siempre el mismo programa motor (alcance). Este mayor locus de control puede influir en que los efectos de Facilitación en los tramos motores (efecto de la señal en el SOA corto) no se manifiesten debido a que hay un mayor control atencional. Esto entraría en consonancia con la idea de que el mecanismo de Facilitación parece ser modulado más fácilmente que la IR (Lupiañez, en prensa).

Antes de concluir este apartado, queremos resaltar la importancia de haber encontrado diferencias en los tamaños de los efectos de Facilitación e IR en función de la complejidad del mapping estímulo-respuesta ya que este dato tiene importantes implicaciones sobre la relación de los efectos de Facilitación e IR. En primer lugar, este patrón de datos contradice las explicaciones que indican que un mayor efecto de Facilitación conlleva una aparición más tardía de la IR (Klein, 2000) ya que en los experimentos realizados en el capítulo 4 ambos efectos aumentaban cuando la complejidad motora en el mapping E-R era menor. Sin embargo, como ya indicamos en la discusión del capítulo 4, el patrón de datos se puede enmarcar perfectamente dentro de la explicación postulada por Kathoon et al (2004) sobre la IR. Ellos postulan que la mayor implicación de los sistemas prefrontales (encargados del control voluntario) cuando el mapping E-R es más indirecto (más complejo motormente) hará que aumente su actividad inhibitoria sobre los sistemas de orientación subcorticales encargados de los mecanismos atencionales reflexivos como la IR y Facilitación, viéndose así reducido el tamaño de los efectos respectivos observados. Evidencias neuropsicológicas apoyan esta teoría ya que pacientes con daños prefrontales tienen una incapacidad para planear y ejecutar tareas que están guiadas por señales internas (Fuster 1989, Perecman, 1987).

Como conclusión de este apartado, podemos aseverar que la atención y el movimiento están estrechamente relacionados; los efectos atencionales modulan las latencias en los tramos de movimiento por una parte y las demandas motoras influyen en la magnitud, aparición y curso temporal de los efectos atencionales y motores estudiados.

CONTROL MOTOR BÁSICO; MAPAS MENTALES Y ATENCIÓN

El control motor no ha estudiado solo los factores relacionados con el movimiento sino que también se ha encargado tradicionalmente de estudiar procesos sensoriomotores anteriores a la conducta motora, como los mapas mentales. Por tanto, como el objetivo primordial de esta tesis era integrar la atención y el control motor no queríamos restringir nuestros estudios a la conducta motora. Con este objetivo realizamos una investigación para determinar si las partes que componen el efector de nuestros anteriores experimentos (conjunto dedos-mano) comparten la misma representación mental. Hipotetizábamos que si dedos y manos no compartían la misma representación mental encontraríamos diferencias en los efectos atencionales estudiados, como así fue. Encontramos un efecto de Facilitación en la mano (ensayos más rápidos cuando señal y estímulo objetivo fueron presentados en la mano que cuando la señal fue presentada en el dedo y el target en la mano) e IR en el dedo (respuesta más rápidas cuando la señal fue presentada en la mano y el target en el dedo que cuando ambos fueron presentados en el dedo). Lo que indica por una parte que ambas áreas son representadas de forma distinta, ya que si compartieran el mismo marco de referencia no encontraríamos diferencias entre los efectos observados en el dedo y en la mano, por un lado, y un papel protagonista de la mano en la activación de ambas representaciones mentales por otro lado. Además, encontramos IR entre dedos y manos al igual que es encontrada entre hemicampos (Weger et al., 2008), lo que se puede considerar una evidencia de que ambas áreas tienen mapas mentales diferentes. Investigaciones como las realizadas por Haggard et al., (2005) en la que demuestran que las manos son representadas alocéntricamente, mientras que los dedos son codificados somatotópicamente, o los estudios sobre agnosia del dedo (Benton, 1959; Gerstmann, 1942, Mayer et al., 1999; Kinsbourne y Warrington, 1962; Anema et al., 2008) van en la línea de nuestros resultados.

Quizá lo mas interesante de esta investigación sea proveer de una nueva herramienta para discernir diferentes representaciones mentales, comprobándose que las diferencias atencionales y en general el paradigma atencional utilizado (Posner y Cohen, 1984) es una herramienta útil para discriminar la categorización mental de las distintas partes del cuerpo. Además, el hecho de haber obtenido distintos patrones en los efectos

atencionales estudiados en función del área (manos vs dedos) nos puede ayudar a comprender cómo las distintas resoluciones espaciales de los miembros (recordemos que en las manos había procesos de priming que facilitaban la detección de estímulos presentados en ellas) pueden influir en el feedback que se produce durante el movimiento en futuras investigaciones.

Creemos que con la investigación realizada en esta tesis hemos contribuido al acercamiento de la atención y el control motor, aunque pensamos que todavía queda mucho camino por recorrer y muchas preguntas que esperaremos resolver en próximas investigaciones. Así, será interesante investigar más a fondo el patrón de los efectos de Facilitación (menores latencias en los ensayos válidos) en los tramos motores del movimiento ya que, como concluíamos anteriormente, la demanda motora inicial y la ejecución del movimiento no parecen explicar totalmente la aparición de estos efectos. Necesitaremos realizar más experimentos para determinar un modelo de predictibilidad de los efectos de validez en los tramos motores. Si nuestro objetivo futuro es continuar investigando la naturaleza de estos efectos, creemos que sería muy interesante introducir técnicas de neuroimagen junto a las técnicas psicofisiológicas y cinemáticas que utilizamos en parte de la investigación de esta tesis. Esto permitirá establecer cómo las demandas motoras influyen en los efectos causados por la señal exógena desde las primeras fases del procesamiento de la información. Obsérvese que nuestra metodología permite concluir que los efectos de Facilitación, IR y SOA son mayoritariamente premotores, pero no si son perceptivos, atencionales, etc, ya que la respuestas que hemos medido son premotoras o motoras. Por tanto, son necesarias otras metodologías, como las técnicas de neuroimagen, para establecer en qué fase del procesamiento, anterior a la respuesta motora, se producen los efectos estudiados.

CONCLUSIONS

Regarding Motor Control, we have detected a new factor in the research of movement complexity; the use of same vs. different muscles in sequential actions.

We concluded that all the experimental tasks used in the experiments of this thesis were not totally planned before the beginning of the movement

The IOR effect was mostly pre-motor because only appeared in premotor stages, in agreement with previous research (Chica & Lupiáñez, 2004; Howard et al., 1999; Li & Lin, 2002a; Lupiáñez et al., 2001; Prime & Ward, 2004)

The Facilitation effect has a more pronounced motor component than the IOR effect. This is in line with several studies (Tipper et al., 1997; Tassinari et al., 1994; Kathoon et al., 2002; Mele et al., 2008; Posner & Cohen, 1984) suggesting that both mechanisms are different in nature.

There is a greater implication of prefrontal cortex in more controlled tasks such as those involving rather indirect S-R mapping. This greater implication of prefrontal cortex entails tonic control of reflexive orienting structures (Khathoon et al., 2004). Therefore, the automatic effects of the signal (positive at the short SOA and negative at the long SOA) had a smaller size.

The Simon affects stages subsequent to response selection and it can be observed during motor stages of the action, at least when the initial action complexity is high.

The inversion of the SOA effect is a mechanic effect that arouses because in the long SOA condition a greater control of response execution is necessary as a consequence of the early action initiation.

Finally, with regard to the executant member of our research (the whole fingers-hand), we can to assert that these two areas have different mental representation with different patterns of attentional effects.

REFERENCIAS

- Abrahamse, E. L., y Van der Lubbe, R. H. (2008). Endogenous orienting modulates the Simon effect: critical factors in experimental design. *Psychological Research*, 72, 261-272.
- Abrams, R.A. y Dobkin, R.S. (1994). Inhibition of return: Effects of attentional cueing on eye movement latencies. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 467-477.
- Adam, J.A. (1971). A closed loop theory of motor behaviour. *Journal of Motor Behaviour*, 3, 111 -149.
- Allain, S., Carbonnell, L., Burle, B., Hasbroucq, T., y Vidal, F. (2004). On-line executive control : An electromiographic study. *Psychophysiology*, 4, 113-115.
- Anema H., Wolswijk V., Ruis C. y Dijkerman, H.C. (2008) Grasping Weber's illusion: The effect of receptor density differences on grasping and matching. *Cognitive Neuropsychology*, 25, 951-967.
- Anson, J.G., (1982). Memory drum theory: Alternative tests and explanations for the complexity effects on simple reaction time. *Journal of Motor Behavior* 14, 228-246.
- Anson, J.G., (1989). Effects of movement of inertia on simple reaction time. *Journal of Motor Behavior*, 21, 60-71.
- Arbid, M.A., Iberall, T., y Lyons, D. (1985). Coordinated control programs for movements of the hand. In A. W. Goddwin y I. Darian-Smith (Eds.), *Hand function and the neocortex* (pp.111-129). Berlin: Springer-Verlang.
- Azañón, E., y Soto-Faraco, S. (2008). Changing Reference Frames during the Encoding of Tactile Events. *Current Biology*, 18, 1044-1049.
- Baba, D.M. y R.G. Marteniuk, (1983). Timing and torque involvement in the organization of a rapid forearm flexion. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 35A, 323-331.

- Benton, A.L. (1959). *Right-left discrimination and finger localization: Development and pathology*. New York, Hoeber-Harper
- Billin, J. (1980) An overview of task complexity. *Motor Skill; Theory into practice*, 1, 18-23.
- Bjørklund, R.A. (1992) Perceptual and motor components of performance in three different reaction time experiments. *Scand J Psychol*, 33, 147-59.
- Bosbach, S., Prinz, W., y Kerzel, D. (2005). Is direction position? Position- and direction-based compatibility effects in tasks with moving stimuli. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. Human Psychology*, 58, 467-506.
- Botwinick, J. y Thompson, L. (1966). Premotor and motor components of reaction Time. *Journal of Experimental Psychology*, 71, 9-15.
- Bower, T. G.R. (1974). *Development in infancy*. San Francisco: Freeman
- Briand, K. A., Larrison, A., y Sereno, A.B. (2000). Inhibition of return in manual and saccadic response systems. *Perception and Psychophysics*, 62, 1512–1524.
- Burle, B., Pssamai, C.A., Vidal, F., Bonnet, M. y Hasbroucq, T. (2002). Executive control in the Simon effect : an eletromyographic and distributional analysis. *Psychological Research*, 66(4), 324-336.
- Burton, H., Sinclair, R. J., y McLaren, D.G. (2007). Cortical network for vibrotactile attention: A fMRI study. *Human Brain Mapping*.
- Canic, M.J. y Franks, I.M. (1989). Response preparation and latency in patterns of tapping movements. *Human Movement Science* 8, 123-139.
- Carlsen A.N., Dakin, C.J., Chua R., y Franks I.M. (2007) Startle produces early response latencies that are distinct from stimulus intensity effects. *Experimental Brain Research*, 176, 199-205.

- Carlton, L.G., (1981). Processing visual feedback information form movement control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 1019-1030.
- Carlton, L.G., Carlton, M.J., y Newell, K.M. (1987). Reaction time and response dynamics. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 39A, 337-360.
- Carlton, L.G. y Newell K.M. (1987). Response production factors and reaction time. *Bulletin of the Psychonomic Society* 25, 373-376.
- Chamberlin, C.J. y Magill, R.A. (1989). Preparation and control of rapid, multisegmented responses in simple and choice environments. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 60, 256-267.
- Chambers C.D., Payne J.M., Mattingley, J.B. (2007) Parietal disruption impairs reflexive spatial attention within and between sensory modalities. *Neuropsychologia* 45, 1715–1724.
- Chica, A.B. y Lupiáñez, J. (2004). Inhibición de Retorno sin retorno de la atención. *Psicothema*, 16, 248-256.
- Christina, R.W. and Rose, B.J. (1985). Premotor and motor reaction time as a function of response complexity. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 56, 306-315.
- Christina, R.W., Fischman, M.G., Vercruyssen M.J.P., y Anson J.G, (1982). Simple reaction time as a function of response complexity: Memory drum theory revisited. *Journal of Motor Behavior*, 14, 301-321.
- Christina, R.W., Fishman, M.G., Lambert A.L., y Moore, J.F. (1985). Simple reaction time as a function of response complexity: Christina et al.. (1982) revisited. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 56, 316-322.
- Correa, A., Lupiáñez, J., Milliken, B., y Tudela, P. (2004). Endogenous temporal orienting of attention in detection and discrimination tasks. *Perception y Psychophysics*, 66(2), 225-227.

- Correa, A., Lupiáñez, J., y Tudela, P. (2005). Attentional preparation based on temporal expectancy modulates processing at the perceptual-level. *Psychonomic Bulletin and Review*, *12*(2), 328-334.
- Correa, A., Lupiáñez, J., y Tudela, P. (2006). The attentional mechanism of temporal orienting: Determinants and attributes. *Experimental Brain Research*, *169*(1), 58-68.
- Correa, A., Sanabria, D., Spence, C., Tudela, P., y Lupiáñez, J. (2006). Selective temporal attention enhances the temporal resolution of visual perception: Evidence from a temporal order judgment task. *Brain Research*, *1070*(1), 202-205.
- Coull, J.T. y Nobre, A.C. (1998). Where and when to pay attention: The neural systems for directing attention to spatial locations and to time intervals as revealed by both PET and fMRI. *Journal of Neuroscience*, *18*, 7426-7435.
- Coull, J.T., Frith, C.D., Büchel, C., y Nobre, A.C. (2000). Orienting attention in time: Behavioural and neuroanatomical distinction between exogenous and endogenous shifts. *Neuropsychologia*, *38*, 808-819.
- Cram, J.R., Kasman, G.S., y Holtz, J. (1998). *Introduction to Surface Electromyography*. Gaithersburg (Maryland): Aspen Publication.
- De la Cruz, J.C. (2006). *Anatomía funcional*. Granada: Síntesis.
- Dijkerman, H.C., y De Haan, E. H. F. (2007a). Somatosensory processes subserving perception and action. *Behavioral and Brain Sciences*, *30*, 189-201.
- Dijkerman, H. C., y De Haan, E. H. F. (2007b). Somatosensory processes subserving perception and action: Dissociations, interactions, and integration. *Behavioral and Brain Sciences*, *30*, 224-230.
- Driver, J. (2001). A selective review of selective attention research from the past century. *British Journal of Psychology*, *92*, 53-78.

- Egly, R., Rafal, R.D., y Henik, A. (1992). *Reflexive and voluntary orienting in detection and discrimination tasks*. Trabajo presentado en el Encuentro Annual de la Psychonomic Society, St. Louis.
- Eriksen C.W. y Yeh Y.Y. (1985) Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 11, 583-597.
- Fielding, J., Georgiou-Karistianis, N., Bradshaw, J., Millist, L., y White, O. (2005). No sequence dependent modulation of the Simon effect in Parkinson's disease. *Brain Research Cognition*, 25, 251-260.
- Fischman, M. G. (1984). Programming time as a function of number of movement parts and changes in movement direction. *Journal of Motor Behavior*, 16, 405-423.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- Fitts, P. M. (1975). Factors in complex skill training. En R. Glaser (Eds), *Training research and education*. Nueva York: John Wiley.
- Forster, B., y Eimer, M. (2005). Covert attention in touch: Behavioral and ERP evidence for costs and benefits. *Psychophysiology*, 42, 171-179.
- Franks I.M, Nagelkerke, P., Ketelaars, M., y Van Donkelaar, P. (1998). Response preparation and control of movement sequences. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 52, 93-101
- Fuentes, L.J., Vivas, A.B., de Labra, C., Valle-Inclán, F. y Alonso, D. (2002). *Visuospatial attention and stimulus-response compatibility*. Ponencia presentada en el Congreso de la Sociedad Española de Psicología Experimental. Oviedo, España.

- Fuentes, L.J., Vivas, A.B., y Humphreys, G.W. (1999). Inhibitory tagging of stimulus properties in inhibition of return: Effects on Semantic Priming and Flanker Interference. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52, 149-164.
- Furubayashi, T. y Kasai, T. (1990). Influence of initial forearm position on premotor times (PMTs) of the biceps bracciali during an elbow flexion task. *Human Movement Science*, 583-598.
- Fuster, J.M. (1989). *The prefrontal cortex: anatomy, physiology, and neuropsychology of the frontal lobe*. New York: Raven Press.
- Gallese, V. (2000) The acting subject: Towards the neural basis of social cognition. En: T. Metzinger (Eds) *Neural Correlates of Consciousness. Empirical and Conceptual Questions* (pp.325-333). Cambridge MA, MIT Press: Cambridge.
- Gallace, A., Tan, H. Z., y Spence, C. (2007). The body surface as a communication system: The state of art after 50 years of research. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 16, 655-676.
- Garcia-Colera, A., y Semjen, A. (1988). Distributed planning of movement sequences. *Journal of Motor Behavior*, 20, 341-367.
- Georgiour, N, Bradhaw, J.L., Phillips, J.G, Bradshaw, J.A., y Chiu, E. (1995). The Simon effect and attention deficits in Gilles de la Tourette's syndrome and Huntingston's disease. (1995). *Brain*. 118 (5), 1305-1318.
- Gerstmann J (1942) Problem of imperception of disease and of impaired body territories with organic lesions: relation to body scheme and its disorders. *Archive of Neurology and Psychiatry* 48, 890-913.
- Gibson, J. (1933). Adaptation after effect and contrast in perception of curved lines. *Journal of Experimental Psychology*, 16 1-31.

- Glencross, D.J. (1972). Latency and response complexity. *Journal of Motor Behavior*, 4, 448-458.
- Graziano, M. y Gross, C. (1998) Spatial maps for the control of movement. *Current Opinion in Neurobiology*, 8, 195–201
- Gribble P.L. y Ostry D.J. (1998). Independent coactivation of shoulder and elbow muscles. *Experimental Brain Research*, 123, 355-360.
- Griffin I.C., Miniussi, C., Nobre, A.C. (2002) Multiple mechanisms of selective attention: differential modulation of stimulus processing by attention to space or time. *Neuropsychologia*, 40, 2325-2340
- Haggard P., Kitadono K., Press C., y Taylor-Clarke M. (2005) The brain's fingers and hands. *Experimental Brain Research*, 172, 94-102
- Haggard, P. y Wolpert, D. (2005) Disorders of body scheme. En Freund HJ, Jeannerod M, Hallett M, Leiguarda R (Eds) *Higher-order Motor Disorders: froma neuroanatomy and neurobiology to clinical neurology* (pp.261-271). Oxford University Press, Oxford.
- Handy, T. C., Jha, A. P., y Mangun, G. R. (1999). Promoting novelty in vision: Inhibition of return modulates perceptual level processing. *Psychological Science*, 10(2), 157-161.
- Hayes, K.C. y Marteniuk, R.G. (1976). 'Dimensions of motor task complexity'. In: G.E. Stelmach (ed.), *Motor control: Issues and trends* (pp. 201-228). New York: Academic Press.
- Head, H. y Holmes, H.G. (1911) Sensory disturbances from cerebral lesions. *Brain* 34, 102–254.
- Henry, F.M. y Rogers, D.E. (1960). Increased response latency for complicated movements and a 'memory drum' theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly* 31, 448-458.

- Higgins, E. (1977): *Human Movement: an integrated approach*. Dubuque: Tc C. V. Mosby Co.
- Hommel, B. (1993a). The role of attention for the Simon effect. *Psychological Research*, 55, 208-222.
- Hommel, B. (1993b). Inverting the Simon effect by intention: Determinants of direction and extent of effects of irrelevant spatial information. *Psychological Research*, 55, 270-279.
- Hommel, B. (1995). Stimulus-response compatibility and the Simon effect: Toward an empirical clarification. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 764-775.
- Hommel, B. (1996). The limits of intentional action coding. *Manuscrito no publicado*, citado por J. Memelink y B. Hommel. En Attention, instruction, and response representation (2005). *European Journal of Cognitive Psychology*, 17 (5), 674-685.
- Hommel, B. (1997). Toward an action-concept model of stimulus-response compatibility. En B. Hommel y W. Prinz (Eds.), *Theoretical issues in stimulus-response compatibility*. Amsterdam: Elsevier.
- Howard, L.A., Lupiáñez, J., y Tipper, S.P. (1999) Inhibition of return in a selective reaching task: an investigation of reference frames. *Journal of General Psychology*, 126, 421-442
- Huertas, F. (2005). *Estudio de la respuesta motriz y su modulación atencional por los efectos de Inhibición de Retorno y Simon*. Tesis Doctoral sin publicar. Universidad de Valencia.
- Ivanoff, J. y Klein, R. (2001). The presence of a nonresponding effector increases inhibition of return. *Psychonomic Bulletin y Review*, 8, 307-314.

- Ivanoff, J., Klein, R.M., y Lupiáñez, J. (2002). Inhibition of return interacts with the Simon effect: An omnibus analysis and its implications. *Perception y Psychophysics*, 64 (2), 318-327.
- Ivry, R.B. (1986). Force and timing components of the motor program. *Journal of Motor Behavior* 18, 449-474.
- Jackson GM, Jackson SR, Husain M. (2000). The coordination of bimanual prehension movements in a centrally desafferented patient. *Brain* 123(3), 380-393.
- Jeannerod, M. (1981). Intersegmental coordination during reaching at natural objects. In J.Long y A. Baddeley (Eds.), *Attention and performance IX* (pp. 153-169). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Jeannerod, M. (1984). The timing of natural prehension movements. *Journal of Motor Behavior*, 26(3), 235-254.
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eyes' movement. En J.B. Long y A.D. Baddeley (eds.). *Attention and Performance IX* (pp. 187-203). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Karlin, L. (1959). Reaction time as a function of foreperiod duration and variability. *Journal of Experimental Psychology*, 58, 185-191.
- Kasai. T. y Komiyama, T. (1990). Effects of varying force components on EMG reaction times of isometric ankle dorsiflexion. *Human Movement Science* 9, 133-147.
- Keele, S. W., y Posner, M. I. (1968) Processing visual feedback in rapid movement. *Journal of Experimental Psychology*, 77, 155-158.
- Kennett, S., Eimer, M., Spence, C., y Driver, J. (2001). Tactile-visual links in exogenous spatial attention under different postures: Convergent evidence from psychophysics and ERPs. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 462-478.

- Kennett, S., Spence, C., y Driver, J. (2002). Visuo-tactile links in covert exogenous spatial attention remap across changes in unseen hand posture. *Perception y Psychophysics*, 64, 1083-1094
- Kerr, B., (1978). 'Task factors that influence selection and preparation for voluntary movements'. In: G.E. Stelmach (ed.), *Information processing in motor control and learning* (pp. 55-69). New York. Academic Press.
- Kerzel, D., Hommel, B., y Bekkering H. (2001). A Simon effect induced by induced motion and location: Evidence for a direct linkage of cognitive and motor maps. *Perception y Psychologist*, 63(5), 862-874.
- Ketelaars, M Garry, M, y Franks I. (1998). On-line programming of simple movement sequences *Human Movement Science. Volume 16, Issue 4, June 1997, Pages 461-485*
- Khatoon, S., Briand, K. A., y Sereno, A. B. (2002) The role of response in spatial attention: direct versus indirect stimulus-response mappings. *Vision Res*, 42, 2693-708.
- Kim D.H. y Cruse, H. (2000) Two kinds of body representation are used to control hand movements following tactile stimulation, *Experimental Brain Research*, 139, 76–91.
- Kinsbourne M. y Warrington, E.K. (1962). A study of finger agnosia. *Brain* 85, 47-66.
- Klapp, S.T. (1975). Feedback versus motor programming in the control of aimed movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 104, 147-153.
- Klapp, S.T. y Erwin, C.I. (1976). Relation between programming time and duration of the response being programmed. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 105, 591-598.

- Klatzky, R. L. y Lederman, S. J. (1987). The intelligent hand. In G. H. Bower (Ed.), *Psychology of learning and motivation* (Vol.21) (pp. 121-151). San Diego: Academic Press.
- Klein, R. M. (2000). Inhibition of return. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(4), 138-147.
- Klein, R. M., Schmidt, W. C., y Muller, H. J. (1998). Disinhibition of return: Unnecessary and unlikely. *Perception y Psychophysics*, 60(5), 862-872.
- Klein, R.M. y Taylor, T.L. (1994). Categories of cognitive inhibition with reference to attention. En D. Dagenbach y T.H. Carr (Eds.), *Inhibitory processes in attention, memory, and language*. San Diego: Academic Press.
- Knapp, B. (1989). *La habilidad en el deporte*. Valladolid: Miñon
- Kobor I, Furedi L, Kovacs G, Spence, C. y Vidnyanszky Z (2006). Back-to-front: improved tactile discrimination performance in the space you cannot see. *Neurosci Lett*, 1, 163–167.
- Kuypers, H. G. (1973). The anatomical organization of the descending pathways and their contributions to motor control especially in primates. In J. E. Desmedt (Ed.), *New developments in electromyography and clinical neurophysiology* (pp. 38-68).). Basel: Karger.
- LaBerge, D. (1995). *Attentional processing: The brain's art of mindfulness*. Cambridge: Harvard University Press.
- Lakatos, S. y Shepard, R. N. (1997). Time-distance relations in shifting attention between locations on one's body. *Perception y Psychophysics*, 59, 557-566.
- Larish, D.D. y G.A. Frekany. 1985. Planning and preparing expected and unexpected movements: Reexamining the relationships of arm, direction and extend of movement. *Journal of Motor Behavior* 17, 168-189.
- Lawrence, D. G. y Hopkins, D. A. (1972). Developmental aspects of pyramidal control in the rhesus monkeys. *Brain Research*, 40, 117-118.

- Li, C. S. y Lin, S. C. (2002a). A perceptual level mechanism of the inhibition of return in oculomotor planning. *Cognitive Brain Research*, 14, 269-276.
- Li, C. S., y Lin, S. C. (2002b). Inhibition of return in temporal order saccades. *Vision Research*, 42(17), 2089-2093.
- Los, S.A. y Van der Heuvel, C.E. (2001). Intentional and unintentional contributions to nonspecific preparation during reaction time foreperiods. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 370-386.
- Lu, C.H. y Proctor, R.W. (1995). The influence of irrelevant location information on performance: A review of the Simon and spatial Stroop effects. *Psychonomic Bulletin y Review*, 2, 174-207.
- Lupiañez, J. (en prensa). Inhibición de Retorno. En Nobre, A.C. y Coull, J., Attention and Time. Oxford University Press.
- Lupiañez, J. y Funes, M. J. (2005). Peripheral spatial cues modulate spatial congruency effects: Analysing the "locus" of the cueing modulation. *European Journal of Cognitive Psychology*, 17(5), 727-752.
- Lupiañez, J., Milán, E., Tornay, F.J., Madrid, E. y Tudela, P. (1997). Does IOR occur in Discrimination Tasks?: Yes, it does, but later. *Perception y Psychophysics*, 59, 1241-1254.
- Lupiañez, J. y Milliken, B. (1999). Inhibition of return and the attentional set for integrating versus differentiating information. *Journal of General Psychology*, 126, 392- 418.
- Lupiañez, J., Milliken, B., Solano, C., Weaver, B., y Tipper, S.P. (2001). On the endogenous control over the time course of Inhibition of Return. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54, 753-773.

- Lupiáñez, J., Ruz, M., Funes, M. J., y Milliken, B. (2007). The manifestation of attentional capture: facilitation or IOR depending on task demands. *Psychological Research*, 71(1), 77-91.
- Lupiáñez, J. y Solano, C. (1998). Inhibición de Retorno en una tarea de discriminación de color: No interacción con el efecto Simon. *Cognitiva*, 9, 195-205.
- Lupiáñez, J., Tudela, P., y Rueda, M. R. (1999). Control inhibitorio en la orientación atencional: Una revisión sobre la inhibición de retorno / Inhibitory control in attentional orientation: A review about the inhibition of return, *Cognitiva* 1, 23-24.
- Madrid, E. (1996) Control del movimiento de la atención visual y el periodo psicológico refractario. Trabajo de investigación sin publicar.
- Mapelli, D. Rusconi, E y Umiltà C. (2003).The SNARC effect: an instance of the Simon effect. *Cognition*, 88, 1-10.
- Marteniuk, R. G., Mackenzie, C. L., Jeannerod, M., Athenes, S., y Dugas, C. (1987). Constraints on human arm movement trajectories. *Canadian Journal of Psychology*, 4, 365-378.
- Mayer E., Martory M.D., Pegna, A.J., Landis, T., Delavelle, J., y Annoni, J.M. (1999) A pure case of Gerstmann syndrome with a subangular lesion. *Brain* 122:1107–1120
- Maylor, E. A. (1985). Facilitatory and inhibitory components of orienting in visual space. In M. I. Posner y O. S. M. Marin (Eds.), *Attention and performance XI* (pp. 189–204). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McGlone FP, Lloyd, DM, y Tipper, SP (1999) Manipulation of attention within the somatosensory systems. In D.Harris (ed) *Engineering psychology and cognitive ergonomics*, Vol. 4: Job design, product design and human computer interaction, pp 309–315.

- Mele, S., Savazzi, S., Marzi, C. A., y Berlucchi, G. (2008). Reaction time inhibition from subliminal cues: is it related to inhibition of return? *Neuropsychologia*, 46(3), 810-819.
- Miles E, Poliakoff E, y Brown RJ (2008) Investigating the time course of tactile reflexive attention using a non-spatial discrimination task. *Acta Psychologica* 128, 210-215
- Miller, J.O. y Franz, F.A (2005). Dissociation of bimanual responses with the Simon effect: on the nonunitization of bimanual responses. *Journal of Motor Behavior*, 37(2), 146-156.
- Müller HJ, y Findlay JM (1988) The effect of visual attention on peripheral discrimination thresholds in single and multiple element displays. *Acta Psychologica* 69, 129-155.
- Müller HJ, y Rabbitt PM (1989) Reflexive and voluntary orienting of visual attention: time course of activation and resistance to interruption. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 15, 315-330.
- Murray, E. A., Bussey, T. J., y Wise, S. P. (2000). Role of prefrontal cortex in a network for arbitrary visuomotor mapping. *Experimental Brain Research*, 133, 114–129.
- Niemi, P. y Naätänen, R. (1981). Foreperiod and simple reaction time. *Psychological Bulletin*, 89, 133-162.
- Oña, A., Martínez, M., Moreno, F., y Ruiz, L.M. (1999). *Control y Aprendizaje Motor*. Madrid: Síntesis.
- Oña, A., Serra, E., Martín, N., Padial, P. y Gutiérrez, M. (1990). El control de la información en la respuesta motora de reacción. *Archivos de Medicina del Deporte*, 7, 345- 351.
- Palastanga, N. (1998). *Anatomy and human movement: structure and function*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

- Parasuraman, R. y Davies, D.R. (1984). Preface, en R. Parasuraman y D.R. Davies (Eds.). *Varieties of attention*. Orlando: Academic Press.
- Pashler, H. E. (1998). *The psychology of attention*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Penfield, W. Rasmussen T (1950) *The cerebral cortex of man; a clinical study of localization of function*. Macmillan: New Cork
- Perecman, E. (1987). *The frontal lobes revisited*. New York, NY: IRBN Press.
- Pérez-Dueñas, C., Acosta, A., y Lupiáñez, J. (en prensa). Attentional capture and trait anxiety: Evidence from Inhibition of Return. *Journal of Anxiety Disorders*
- Pick, D. (2003). *The Simon effect with wheel-rotation responses*. *Journal of Motor Behavior*, 35(3), 261-273.
- Posner, M.I. (1978) *Chronometric explorations of mind*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ
- Posner, M.I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M.I. y Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. En H. Bouma y D. Bowhuis (Eds.) *Attention and performance X*. (pp. 531-556). Hillsdale: Erlbaum.
- Posner, M. I. y Dehaene, S. (1994). Attentional networks. *Trends in Neuroscience*, 17, 75-79.
- Posner, M. I., Nissen, M. J., y Klein, R. (1976). Visual dominance : An information-processing account of its origins and significance. *Psychological Review*, 83, 157-171.
- Posner M.I., Nissen, M.J., y Ogden, W.C. (1978) Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In: Pick HL, Saltzman

- IJ (eds) Models of perceiving and information processing. Erlbaum, Hillsdale,
- Posner, M.I., Petersen, S.E. (1990) The attention system of human brain. *Annual Review of Neuroscience* 13, 25-42.
- Posner, M.I., Rafal, R.D., Choate, L.S., y Vaughan, J. (1985) Inhibition of return: Neural basis and function. *Cognitive Neuropsychology* 2, 211-228.
- Posner, M.I., y Rothbart, M. K. (1991). Attention and cognitive control. En R.L. Solso (Ed.), *Information Processing and Cognition: The Loyola Symposium*. Hillsdale, NJ; Erlbaum Associates, Inc.
- Posner, M.I. y Rothbart,. (1992). Les mécanismes de l'attention et l'expérience consciente. *Revue de Neuropsychologie*, 1, 85–115.
- Pratt, J., Kingstone, A., y Khoe, W. (1997). Inhibition of return in location and identity based choice decision tasks. *Perception y Psychophysics*, 59, 964–971.
- Pratt, J., y Neggers, B. (2008). Inhibition of return in single and dual tasks: examining saccadic, keypress, and pointing responses. *Percept Psychophys*, 70(2), 257-265.
- Prime, D. J., y Ward, L. M. (2004). Inhibition of return from stimulus to response. *Psychological Science*, 15(4), 272-276.
- Proctor, R. W., Lu, C.-H., y Van Zandt, T. (1992). Enhancement of the Simon effect by response precuing. *Acta Psychologica*, 81, 53–74.
- Quinn, J.T. Jr., Schmidt, R.A. Zelaznik, H.N. Hawkins, B. y McFarquhar, R., (1980). Target-size influences on reaction time with movement time controlled. *Journal of Motor Behavior* 12, 239-261.
- Rafal, R.D., Calabresi, P.A., Brenan, C.W. y Sciolto, T.K. (1989). Saccade preparation inhibits reorienting to recently attended locations. *Journal of*

- Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 673-685.
- Reuter-Lorenz, P. A., Jha, A. P., y Rosenquist, J. N. (1996). What is inhibited in inhibition of return? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(2), 367-378.
- Rizzolatti, G., Luppino, G., Matteli, M. (1998) The organization of the cortical motor system: new concepts. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 106, 283–296.
- Rizzolatti, G. y Sinaglia, C. (2006) *Las neuronas espejo: los mecanismos de la empatía emocional*. Paidós, Barcelona.
- Rock, I. y Harris, C.S. (1967). Vision and touch. *Scientific American*, 216 (5), 96-104.
- Röder, B., Spence, C., y Rösler, F. (2002). Assessing the effect of posture changes on tactile inhibition of return. *Experimental Brain Research*, 143, 453-462.
- Roggeveen, A.B., Prime, D.J., Ward, L.M. (2005) Inhibition of return and response repetition within and between modalities. *Experimental Brain Research* 167, 86-94.
- Rosenbaum, D. A., (1991). *Human Motor Control*. Academic Press: San Diego. California
- Rosenbaum, D.A. (1980). Human movement initiation: Specification of arm, direction and extent. *Journal of Experimental Psychology: General* 109, 444-474.
- Rosenbaum, D.A., Vaughan, J., Barnes, H.J., Marchak, F. y Slotka, J. (1990). Constraints on action selection: Overhand versus underhand grips. In M. Jeannerod (Ed.). *Attention and performance XIII* (pp. 321-342). Hillsdale, NJ: Erlbaum

- Rosenbaum. D.A., Inhoff A.W, y Gordon, A.M., (1984). Choosing between movement sequences: A hierarchical editor model. *Journal of Experimental Psychology: General* 113, 372-393.
- Roswarski, T. E. y Proctor, R. W. (2003). The role of instructions, practice, and stimulus-hand correspondence on the Simon effect. *Psychological Research*, 67, 43-55.
- Santangelo, V., y Spence, C. (2007) Assessing the automaticity of the exogenous orienting of tactile attention. *Perception* 36, 1497-1505.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Semjen, A., (1984). 'Rapid hand movement in step-tracking: Reprogramming of direction and extent'. In: S. Kornblum and J. Requin (Eds.), *Preparatory states and processes* (pp. 95-118). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Siegel, D. (1986). Movement duration, fractionated reaction time, and response programming. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 57, 128-131.
- Siegel, D. (1988). Fractionated reaction time and the rate of force development. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 40A, 545-560
- Simon, J. R., Hinrichs, J. V., y Craft, J. L. (1970). Auditory S-R Compatibility - Reaction Time as a Function of Ear-Hand Correspondence and Ear-Response-Location Correspondence. *Journal of Experimental Psychology*, 86(1), 97-102.
- Simon, J.R. (1969). Reactions toward the source of stimulation. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 174-176.
- Sinclair, R., Kuo, J., y Burton, H. (2000): Effects on discrimination performance of selective attention to tactile features. *Somatosensory and Motor Research*, 17, 145-157.

- Singer, R. (1980). *Motor Learning and human performance*. Nueva York: McMillan.
- Soto-Faraco, S., Ronald, A., y Spence, C. (2004). Tactile selective attention and body posture: Assessing the contribution of vision and proprioception. *Perception y Psychophysics*, 66, 1077-1094.
- Spence, C. (2002). Multimodal attention and tactile information-processing. *Behavioural Brain Research*, 135, 57-64.
- Spence, C., y Driver J. (Eds.). (2004). *Crossmodal space and crossmodal attention*. Oxford: Oxford University Press. Gallace,
- Spence, C., Kettenmann, B., Kobal, G., y McGlone, F. P. (2000). Selective attention to the chemosensory modality. *Perception y Psychophysics*, 62, 1265-1271.
- Spence, C., Lloyd, D., McGlone, F., Nicholls, M. E. R., y Driver, J. (2000). Inhibition of return is supramodal: A demonstration between all possible pairings of vision, touch and audition. *Experimental Brain Research*, 134, 42-48.
- Spence, C., McDonald, J., y Driver, J. (2004). Exogenous spatial cuing studies of human crossmodal attention and multisensory integration. In C. Spence y J. Driver (Eds.), *Crossmodal space and crossmodal attention* (pp. 277-320). Oxford: Oxford University Press.
- Spence C, McGlone FP, (2001) Reflexive spatial orienting of tactile attention. *Experimental Brain Research*, 141, 324–330.
- Spence C., Nicholls, M., Gillespie, N., y Driver, J. (1998) Cross-modal links in exogenous covert spatial orienting between touch, audition, and vision. *Percept Psychophys* 60, 544–557.
- Spence, C., Nicholls, M. E. R., y Driver, J. (2001). The cost of expecting events in the wrong sensory modality. *Perception y Psychophysics*, 63, 330-336.

- Spence, C., Pavani, F., y Driver, J. (2000) Crossmodal links between vision and touch in covert endogenous spatial attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 26, 1298–1319.
- Spence, C., Shore, D. I., y Klein, R. M. (2001). Multimodal prior entry. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 799-832.
- Spijkers, W.A.C., (1987). Programming of direction and velocity of an aiming movement: The effect of probability and response-specificity. *Acta Psychologica* 65, 285-304.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extension of Donders' method. En W.G. Koster (Ed.), *Attention and Performance II: Proceedings of the Donders centenary symposium on reaction time*. Amsterdam: North-Holland.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Tanaka, Y. y Shimojo, S. (1996). Location vs. feature: reaction time reveals dissociation between two visual functions. *Visual Research*, 36, 2125-2140.
- Taniguchi, R., Nakamura R., y Kasai, T. (1984). Influence of arm positions on EMG-reaction time of the biceps brachii for elbow flexion and forearm supination. *Perceptual and Motor Skills* 59, 191-194.
- Tassinari, G., Aglioti, S., Chelazzi, L., Peru, A., y Berlucchi, G. (1994) Do Peripheral Non-Informative Cues Induce Early Facilitation of Target Detection. *Vision Research*, 34, 179-189.
- Tassinari, G., y Campara, D. (1996) Consequences of covert orienting to non-informative stimuli of different modalities: a unitary mechanism? *Neuropsychologia* 34, 235–245.
- Taylor, T.L. y Klein, R.M. (1998). On the causes and effects of inhibition of return. *Psychonomic Bulletin and Review*, 5, 625 -643.

- Terry, K.M., Valdes, L.A. y Neill, W.T. (1994). Does "inhibition of return" occur in discrimination tasks? *Perception y Psychophysics*, 55, 323-339.
- Tessari A., y Rumiati, R.I. (2002) Motor distal component and pragmatic representation of objects. *Cognitive Brain Research* 14, 218-227.
- Tian, Y., y Yao, D. (2008). A study on the neural mechanism of inhibition of return by the event-related potential in the Go/NoGo task. *Biological Psychology*, 79(2), 171-178.
- Tipper, S. P., Rafal, R., Reuterlorenz, P.A., Starrveltdt, Y., Ro, T., Egly, R., y Danzinger, S. (1997) object-based facilitation and inhibition from visual orienting in the human split-brain. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 23, 1522-1532.
- Tudela, P. (1992). Atención. En J.F.L. Trespalacios P. Tudela (Eds.), *Atención y Percepción* (Cap. 4). Madrid: Alhambra.
- Turatto, M., Galfano, G., Bridgeman, B., y Umiltà, C. (2004). Space-independent modality-driven attentional capture in auditory, tactile and visual systems. *Experimental Brain Research*, 155, 301-310.
- Van Donkelaar, P., y Franks, I. M. (1991). Preprogramming versus on-line control in simple movement sequences. *Acta Psychologica*, 77, 1-19.
- Wallace, S.A., J.R. Frankeny y Larish, D.D. (1982). Effects of initial limb position on the accuracy, reaction time and electromyographic patterns of rapid movements. *Human Movement Science* 1, 215-231.
- Weger, U.W., Al-Aidroos, N., y Pratt, J. (2008) Objects do not aid inhibition of return in crossing the vertical meridian. *Psychological Research*, 72, 176-182.
- Welsh, T.N, y Elliott, D. (2005). The effects of response priming on the planning and execution of goal-directed movements in the presence of a distracting stimulus. *Acta Psychologica*, 119, 123-142.

- Wing, A.M., y Kristofferson, A. B. (1973). Response delays and the timing of discrete motor responses. *Perception and Psychophysics*, 14, 5-12.
- Wing, A. M., Turton, A., y Graser, C. (1986). Grasp size and accuracy of approach in reaching. *Journal of Motor Behavior*, 18, 245-260.
- Zelaznik, H.N., Hawkins, B., y Kesselburgh, L. (1983). Rapid visual feedback processing in single-aiming movements. *Journal of Motor Behavior*, 15, 217-236.