

## Efecto de la probabilidad de error durante la acción de ataque en esgrima

---

C. GUTIÉRREZ-CRUZ, F.J. GILES, C. ZINGSEM, F.J. ROJAS, M. GUTIÉRREZ-DÁVILA  
Departamento de Educación Física y Deportiva. Universidad de Granada

### Resumen

*El propósito de este estudio ha sido comprobar el efecto que tiene la probabilidad de que surja el error durante la realización de una acción de ataque en esgrima, sobre los parámetros temporales de las respuestas de reacción (TRR) y la velocidad de desplazamiento del centro de masas (CM). Han participado 17 esgrimistas (14 hombres y 3 mujeres), con una experiencia en competición regional de más de cinco años. Para el registro de los datos, se han utilizado dos plataformas de fuerza, operando a 500 Hz, una cámara de vídeo, a 210 Hz y un cronómetro electrónico adaptado al sistema de cableado de las armas. Una señal electrónica se utilizó para sincronizar temporalmente todos los registros. Para la situación experimental donde no existía incertidumbre durante la acción (CIA), los esgrimistas tenían que realizar un ataque simple con fondo lo más rápidamente posible al aparecer un círculo en el centro del plastrón (E1), intentando situar la punta de la espada dentro del círculo. Para la situación experimental donde existía incertidumbre debida a la posibilidad de error (CIA), los esgrimistas tenían los mismos objetivos que en la situación anterior, aunque debían de inhibir la acción de ataque a otra de defensiva, en el caso de que el círculo desapareciera del plastrón durante la acción. Los resultados ponen de manifiesto que, cuando existe la posibilidad de error durante la realización del ataque en esgrima, se incrementan los parámetros temporales de la respuesta de reacción (TR y TM) y disminuye la velocidad de ejecución.*

**Palabras clave:** Control Motor, Biomecánica, Esgrima, Respuesta de reacción, Cambio de patrón de movimiento.

### Abstract

*The main aim of this study has been to verify the effect that has the probability from which the mistake arises during the accomplishment of an action of assault in fencing, on the temporary parameters of the answers of reaction (TRR) and the speed of displacement of the center of masses (CM). 17 fencers (14 men and 3 women), with an experience in regional competition of more than five years took part in this study. Two force platforms, operating to 500 Hz have been in used, a video camera, to 210 Hz and an electronic chronometer adapted to the system of wired up of the weapon for the record of the data. An electronic sign was used for synchronizing temporarily all the records. For the experimental situation where uncertainty did not exist during the action (CIA), the fencers had to realize a simple assault with lunge as rapidly as possible when a circle appeared in the center of the plastron (E1), trying to place the top of the sword inside the circle. For the experimental situation where there existed uncertainty due to the possibility of mistake (CIA), the fencers had the same aims that in the previous situation, though they must disable the action of assault to other one of defensive, in case the circle was disappearing of the plastron during the action. The results reveal that, when the possibility of mistake exists during the accomplishment of the assault in fencing, there are increased the temporary parameters of the response of reaction (TR and TM) and it diminishes the speed of execution.*

**Keywords:** Motor Control, Biomechanics, Fencing, Reaction response, Change of movement pattern.

---

### Correspondencia:

F.Javier Rojas Ruiz

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Departamento de Educación Física  
Ctra. Alfacar s/n 18011- Granada, (España). E-mail: fjrojas@ugr.es

## Introducción

En esgrima, el éxito de la mayoría de las acciones de ataque a blancos lejanos, requieren la participación de un componente táctico que facilite la programación de un patrón de movimiento adecuado para engañar al oponente en su acción defensiva. La necesidad de engañar al oponente para tener éxito en este tipo de acciones, se pone de manifiesto al comprobar que los tiempos de movimiento utilizados por esgrimistas de alto nivel son 2.5 superiores al tiempo de reacción de elección requerido para iniciar la defensa [1]. Así, el componente táctico, permite al esgrimista la predicción de las acciones defensivas que realizará el oponente, además de facilitar la programación de un patrón de movimiento adecuado para anticiparse a las acciones defensivas. Según lo expuesto, el concepto de anticipación para este tipo de acciones, está relacionado con la probabilidad de que el oponente realice los movimientos defensivos previstos por el atacante. Cuando esto no ocurre, surge el error y la necesidad de inhibir el patrón de movimiento inicial y cambiar a otro más adecuado.

El proceso de cambio de un patrón de movimiento a otro más adecuado, requiere un tiempo de procesamiento de la información, el cual estará condicionado por el nivel de incertidumbre creado por la acción no prevista del oponente en su defensa. Es un hecho suficientemente contrastado, que el tiempo de reacción simple ( $TR_S$ ) es más reducido que el tiempo de reacción de elección (TRE) el cual se incrementa de forma logarítmica en función del número de respuestas posibles [2, 3]. En este sentido, Borysiuk y Waskiewicz [4] y Czajkowski [5] han puesto de manifiesto que la reducción de la incertidumbre en esgrimistas permite procesar la información más rápidamente y, por consiguiente, responder con mayor rapidez y eficiencia. Gutiérrez-Dávila, Rojas, Antonio y Navarro han constatado que el TRE durante las acciones de ataque, en esgrimistas de alto nivel, se incrementa como media, de 186 a 243 ms, cuando el número de respuestas posibles pasa de dos a cuatro [6].

Con el propósito de reducir la incertidumbre, cuando surge el error durante la acción de ataque, la respuesta alternativa suele asociarse a un patrón de movimiento programado y no a la acción imprevista del oponente. Es decir, a cada patrón de movimiento programado para el ataque, se le asociaría una sola acción alternativa en el caso de producirse el error, de este modo el número de res-

puestas se reduce a una. Según lo expuesto, la incertidumbre durante la acción de ataque, está condicionada por el nivel de probabilidad de error que tiene el esgrimista antes de realizarse la acción, lo que constituye una intención de movimiento consciente que puede verse influenciada por este tipo de incertidumbre [7].

Para garantizar la adaptabilidad en la respuesta cuando existe incertidumbre durante la acción, se necesita una facilitación estratégica o de alto orden, que permita inhibir la primera acción que desencadena un estímulo para aumentar la precisión de la respuesta [8]. Siguiendo a Duque, Lew, Mazzocchio, Oliver y Ivry [9] este proceso de inhibición de respuestas se desarrolla mediante dos mecanismos estrechamente relacionados: El primero inhibe la activación de las posibles respuestas seleccionadas a nivel espinal (control de impulsos), con el propósito de evitar acciones prematuras y el segundo determinaría una acción entre las más relevantes (resolución de conflictos). Así, antes de iniciar el movimiento, se activarían todas las respuestas posibles, requiriéndose señales inhibitorias a nivel espinal, a la espera de la información exterior que haga prevalecer una de ellas. Este segundo mecanismo inhibitorio ocurriría a niveles corticales superiores, produciendo una cierta demora en la respuesta [10,11], lo que nos permite pensar que la incertidumbre debida a la posibilidad de error durante la acción de ataque, incrementaría el TR de los esgrimistas y la velocidad de desplazamiento.

La influencia que tiene este tipo de incertidumbre, provocada por la previsión de error durante la acción, también podría explicarse con el modelo teórico sobre las dos corrientes de la percepción visual [12,13]. A partir de este modelo, la respuesta de reacción requiere la contribución de dos procesos visuales que tienen funciones diferentes. La corriente o sistema dorsal (dirigida, desde la corteza visual primaria, hacia el lóbulo parietal posterior), se encargaría de identificar la localización de los objetos y sus movimientos, recoge la información visual implícita en el control del movimiento, inmediata y relativamente rápida. La corriente o sistema ventral (dirigida, desde la corteza visual primaria, hacia la corteza del lóbulo temporal inferior), asociada a la consciencia explícita, estaría encargada de recoger la identidad de los objetos, informando sobre las probabilidades que existen para llevar a cabo la acción.

A pesar de las diferencias expuestas, los dos sistemas trabajan en estrecha colaboración [14,15] aunque, dependiendo de la situación, el control

del movimiento puede estar dominado más por una que otra corriente visual. Así, cuando se realiza una acción sin incertidumbre durante la acción, la corriente ventral dominaría antes de iniciarse el movimiento, mientras que durante la acción sería la corriente dorsal quien dominaría sobre la ventral, favoreciendo la rapidez del movimiento. En cambio, cuando existe incertidumbre durante la acción, el dominio de la corriente dorsal se retrasaría hasta el instante en que se produce el cambio de acción, lo que podría contribuir a que el desplazamiento hasta ese instante fuese más lento.

Según lo expuesto, el propósito de este estudio ha sido comprobar el efecto que tiene la probabilidad de que surja el error durante la realización de un patrón de movimiento (nivel de incertidumbre), sobre los parámetros temporales de las respuestas de reacción (TRR) y la velocidad de desplazamiento del centro de masas (CM) durante el ataque con fondo de esgrima. Con el propósito de eliminar la incertidumbre debida al número de respuestas asociadas al error, cuando éste se produce, deberá inhibirse el patrón de movimiento inicial para cambiar a otro alternativo asociado al primero. Según lo expuesto, consideramos como hipótesis que la incertidumbre debida a la probabilidad de error durante la acción, incrementará el tiempo de reacción al estímulo ( $TR_1$ ) y reducirá la velocidad de desplazamiento del CM.

## Método

Han participado 17 esgrimistas (14 hombres y 3 mujeres), con una experiencia en competición regional de más de cinco años. Diez de ellos eran especialistas en espada y el resto eran especialistas en florete (edad=  $25.6 \pm 6.5$  años; talla=  $1.75 \pm 0.08$  m; masa=  $70 \pm 11.1$  Kg). A todos ellos se les informó y solicitó su consentimiento para participar en este estudio siguiendo las directrices de la Comisión Ética de la Universidad.

Se han utilizado dos plataformas de fuerza de  $0.6 \times 0.37$  m, Dinascan/IBV, (Instituto de Biomecánica de Valencia, Valencia, España), operando a 500 Hz, las cuales registraban la componente horizontal de la fuerza de reacción ( $F_{AX}$  y  $F_{BX}$ ). Una cámara de vídeo (Casio EX - FH20, Tokio, Japón) a 210 Hz registraba el plano sagital de los esgrimistas. Un proyector asociado a un ordenador con tarjeta externa programable, permitía el control temporal de la proyección de un círculo negro de 0.09 m de diámetro, sobre el centro geométrico de una pantalla blanca de  $0.70 \times 0.55$  m, que actuaba como plastrón. En uno de los laterales de la pantalla se implementó una hoja de espada de 0.55 m, perpendicular al plano. Las armas personales fueron implementadas con un cronómetro electrónico (1/1000 s), adaptado al sistema de cableado, que registraba el tiempo de la respuesta de

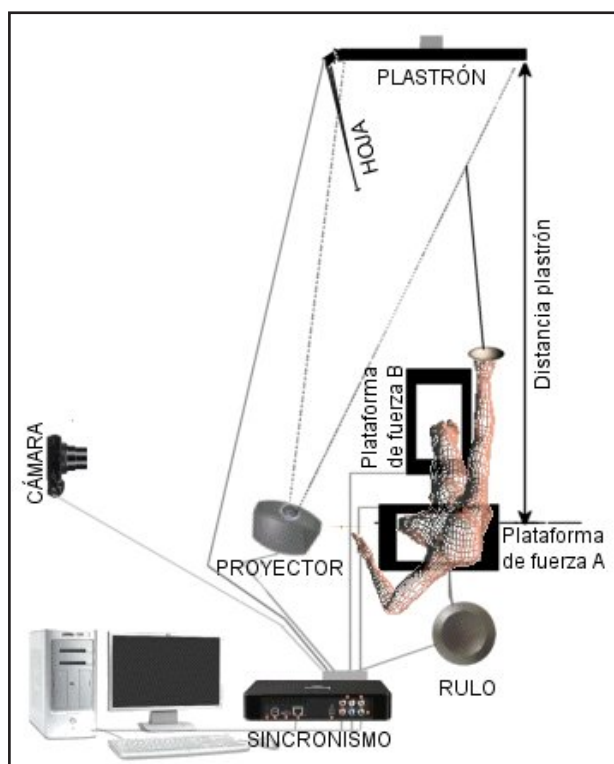


Figura 1. Representación esquemática del protocolo y los sistemas de registro utilizados.

reacción (TRR). Una señal electrónica se utilizó para iniciar los registros de las dos plataformas y el cronómetro. Esta misma señal se utilizó para el sincronismo temporal de la cámara, a través del encendido de un LED situado en su campo visual. En la figura 1, se presenta un esquema de los equipos utilizados.

Tras un calentamiento previo de 15 minutos, se ajustó la altura del plastrón para cada esgrimista, situándose su centro geométrico al 75% de la talla. A continuación, recibieron las instrucciones de mantenerse quietos en su posición habitual de “en guardia” sobre las dos plataformas, situando el primer dedo del pie más retrasado a una distancia de 1.5 veces su talla, con respecto al plastrón. Al aparecer el círculo proyectado en el plastrón ( $E_1$ ) debían de realizar un ataque directo lo más rápido posible, situando la punta de la espada dentro del círculo. Después de realizar varias acciones de ataque contra el plastrón a la distancia preestablecida, se permitió que los esgrimistas realizaran los ajustes de distancia necesarios hasta que se sintieron cómodos en la nueva distancia. Los participantes redujeron la distancia inicial del plastrón una media de  $0,002 \pm 0,07$  m. Antes de comenzar los ensayos de registro, los esgrimistas realizaron una sesión de varios ataques al plastrón hasta que se habituaron con el sistema.

Para los registros de la situación experimental donde no existía incertidumbre durante la acción (SIA), los esgrimistas partían desde la posición de “en guardia” y tras una señal previa que iniciaba un pre-periodo comprendido entre 1.5 s y 3.0 s, tenían que realizar un ataque simple con fondo lo más rápidamente posible al aparecer el círculo en el centro del plastrón ( $E_1$ ), intentando situar la punta de la espada dentro del círculo. Se realizaron cinco ensayos válidos para todos los sujetos en los que se registró el tiempo de la respuesta de reacción ( $TRR_{SIA}$ ), considerado como el periodo de tiempo comprendido entre el instante en que aparece  $E_1$  ( $t_1$ ) y el contacto de la punta del arma con el plastrón (tocado).

Para los ensayos donde existía incertidumbre, debida a la posibilidad de error (CIA), los esgrimistas tenían los mismos objetivos que en la situación anterior, aunque para esta situación experimental, también recibieron las instrucciones de inhibir la acción de ataque a otra de defensiva, en el caso de que el círculo desapareciera del plastrón durante la acción. El movimiento de defensa, alternativo a la acción de ataque, consistía en golpear una espada situada en un lateral del plastrón (lado del brazo no armado del esgrimista), realizando una acción

de parada “de cuarta”. Para evitar el factor aprendizaje, se realizaron 10 ensayos donde se presentaron de forma aleatoria las dos condiciones: cinco ensayos válidos donde desaparecía el círculo durante la acción de ataque y cinco ensayos donde el círculo se mantenía proyectado hasta que la punta de la espada impactaba en el plastrón. Sólo se registraron los cinco ensayos válidos donde el esgrimista debía de realizar el cambio de acción al desaparecer el círculo, registrándose el tiempo de la respuesta de reacción ( $TRR_{CIA}$ ), considerado como el periodo de tiempo comprendido entre  $t_1$  y el instante en que la espada tomaba contacto con la hoja implementada al plastrón (contacto), analizándose sólo el ensayo donde el  $TRR_{CIA}$  obtenía el registro mediano de los cinco registros válidos.

Las imágenes de vídeo fueron utilizadas para determinar la posición del CM del esgrimista más el arma, antes del inicio del movimiento. Para ello, se digitalizaron cinco imágenes a una frecuencia de 30 Hz, a partir de  $t_1$ , utilizando el modelo coordinado de catorce segmentos más dos marcadores situados en la hoja del arma (final del tercio fuerte y junto a la punta), junto a los parámetros inerciales propuestos por Zatsiorsky y Seluyanov [16] y adaptados por de Leva [17]. Para la conversión de los datos a escala real se utilizó un sistema de referencias de  $1.58 \times 1.58 \times 1$  m. A partir del inicio del movimiento ( $t_{INI}$ ), sólo se digitalizaron tres puntos del sistema (los dos marcadores asociados al arma y el extremo posterior del pie más adelantado), a una frecuencia de 210 Hz. Tras la conversión a escala real, las coordenadas planas de los tres marcadores fueron filtradas utilizando un filtro digital de paso bajo a 8 Hz [18] e interpolados a 500 Hz, utilizando splines de quinto orden.

A partir de los datos procedentes de las plataformas de fuerza, se determinaron los registros relativos a las velocidades y desplazamientos del CM del esgrimista más el arma utilizada. Para ello, se calculó la aceleración horizontal del CM a partir de la fuerza neta horizontal de las dos plataformas ( $F_{AX}$  y  $F_{BX}$ ) y la masa del esgrimista. A continuación, se determinó la componente horizontal de la velocidad ( $v_{X(CM)}$ ) y el desplazamiento del CM ( $s_{X(CM)}$ ), mediante la integración de la función aceleración-tiempo, usando par ello el método trapezoidal. Las constantes de integración se determinaron a partir de la media de las cinco posiciones del CM obtenidas a través de las imágenes de vídeo.

El inicio del movimiento ( $t_{INI}$ ), se determinó a partir del instante en que la fuerza neta de componente horizontal ( $F_{AX} + F_{BX}$ ) alcanzaba un valor

mayor o igual al 1% del peso del cuerpo. Cuando ese tiempo era inferior a 100 ms, se repetía el ensayo. Para determinar el instante de cambio de acción ( $t_{CAM}$ ), se ha utilizado la componente vertical de la aceleración del marcador situado al final del tercio fuerte de la espada, utilizando para ello la segunda derivada de la función splines correspondiente a la posición vertical. Aunque el marcador situado en la punta de la espada era más sensible al cambio de registro, se rechazó éste al considerar que los movimientos debidos a la elasticidad del arma podrían producir ciertas interferencias.

Además de la respuesta de reacción, para cada situación experimental, se han registrado sus componentes temporales más significativas para este estudio:

a) tiempo de reacción de inicio del movimiento ( $TR_1$ ), definido como el periodo comprendido entre la aparición del estímulo ( $t_1$ ) y el inicio del movimiento ( $t_{INI}$ ) y

b) tiempo de movimiento (TM), definido como el periodo temporal comprendido entre  $t_{INI}$  y el instante del contacto de la punta del arma con el plastrón (tocado) o el contacto con la hoja asociada al plastrón (contacto), para SIA o CIA, respectivamente.

Para la situación experimental donde se produce el cambio de acción (CIA), el tiempo de movimiento se ha dividido en:

b<sub>1</sub>) tiempo de movimiento al cambio de estímulo ( $TM_{CE}$ ), definido como el periodo comprendido desde  $t_{INI}$  y el instante en que desaparece el círculo del plastrón ( $t_2$ ),

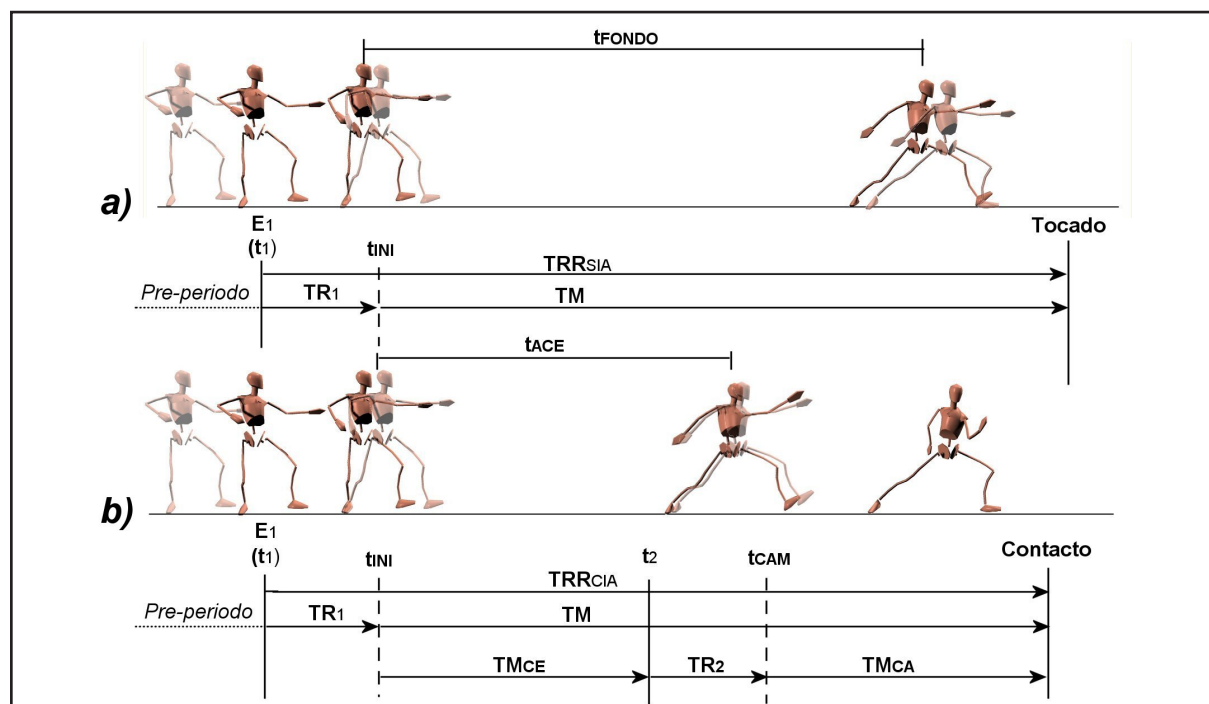
b<sub>2</sub>) tiempo de reacción al cambio de estímulo ( $TR_2$ ), definido como el periodo comprendido entre  $t_2$  y el instante en que se produce el cambio de acción ( $t_{CAM}$ ) y

b<sub>3</sub>) tiempo de movimiento al cambio de acción ( $TM_{CA}$ ), comprendido entre  $t_{CAM}$  y el instante de contacto con el arma en la hoja asociada al plastrón (contacto).

Para determinar el instante en que desaparecía el círculo ( $t_2$ ), sea utilizado el  $TRR_{SIA}$  mediano de los cinco ensayos, donde  $t_2 = TR_1 + [(TRR_{SIA} - TR_1)/2]$ .

Finalmente, el análisis temporal se ha completado con el tiempo que dura la fase de aceleración horizontal ( $t_{ACE}$ ), considerado como el periodo comprendido desde  $t_{INI}$ , hasta que la fuerza horizontal resultante ( $F_{AX} + F_{BX}$ ) se hace inferior al 1% del peso del esgrimista.

En la figura 2 se representan las componentes temporales de la respuesta de reacción para las condiciones SIA (a) y CIA (b). En la parte superior se han representado las fases temporales de las secuencias de ataque con fondo, para las dos condiciones.



**Figura 2.** Representación esquemática de la secuencia de ataque simple junto a las fases del movimiento (superior), así como un modelo temporal simplificado del ataque simple ejecutado con golpe recto (A) y del ataque simple con cambio en el patrón de movimiento (B).

Para completar el análisis, se ha registrado el espacio horizontal recorrido en el menor de los dos tiempos registrados para la fase de aceleración horizontal ( $t_{ACE}$ ), de cada esgrimista ( $s_{X(CM)}$  truncado), así como la velocidad horizontal al final de ese mismo periodo ( $v_{X(CM)}$  truncado). Finalmente, a partir de las imágenes de vídeo, se han registrado dos variables: a) el tiempo utilizado para realizar el fondo ( $t_{FONDO}$ ), considerado como el periodo temporal comprendido entre  $t_1$  y el instante en que el marcador del talón toma contacto con el suelo y b) la longitud del fondo ( $s_{FONDO}$ ), definida como la distancia comprendida entre el marcador de la punta del pie más retrasado en la posición de guardia y el marcador situado en el talón del pie más adelantado cuando está plenamente apoyado en el suelo después de realizar el fondo.

Para el tratamiento estadístico de los datos se ha utilizado el software Statgraphics 5.1 de Statistical Graphics Corporation (STCS Inc, Rockville, MD). Para cada variable y situación experimental se ha calculado la media y desviación típica. Para determinar las diferencias entre las medias de las variables en las dos situaciones experimentales (SIA y CIA, respectivamente), se ha aplicado un análisis de varianza multifactorial para medidas repetidas (ANOVA). Para evaluar la fiabilidad de las pruebas, se aplicó un análisis de varianza de medidas repetidas a todos los ensayos en las dos condiciones experimentales (cinco ensayos), tomando como variable dependiente el tiempo de respuesta de reacción (TRR). No existiendo diferencias significativas entre los ensayos. El coeficiente de correlación intraclase ha sido de 0.914 ( $p < 0.001$ ) para la situación de ataque con golpe recto sin incertidumbre (SIA) y de 0.866 ( $p < 0.001$ ) para la situación con incertidumbre debida a la posibilidad de error durante la acción (CIA).

## Resultados

En la tabla 1 se presenta la estadística descriptiva y las diferencias entre las medias de las variables más significativas, para las dos condiciones de ataque con fondo propuestas:

- a) sin incertidumbre durante la acción (SIA) y
- b) con incertidumbre debida a la posibilidad de error (CIA).

Los datos ponen de manifiesto que la posición de “en guardia”, antes de iniciarse el movimiento, es similar para las dos condiciones propuestas. Sin embargo, el tiempo de reacción ( $TR_1$ ), ha sido significativamente menor cuando no existe incertidumbre ( $p < 0.05$ ).

A continuación, en la tabla 1, se presentan los datos para el instante en que desaparece el objetivo en la situación CIA ( $t_2$ ). Aunque en la situación SIA no desaparezca el objetivo, se han registrado los valores para ese mismo instante. Los datos reflejan que existen diferencias significativas entre las medias ( $p < 0.001$ ), para el espacio horizontal recorrido por el CM hasta ese instante ( $s_{X(CM)}$ ), así como para la velocidad horizontal alcanzada en  $t_2$  ( $v_{X(CM)}$ ). Según las condiciones experimentales, el tiempo de reacción para realizar el cambio de acción ( $TR_2$ ), sólo existe en la situación CIA. Los registros medios sólo se presentan como una referencia con respecto a  $TR_1$ . Así, han existido diferencias significativas cuando se comparan las medias de  $TR_2$  con las registradas para  $TR_1$  en la situación SIA (0.174 vs. 0.208;  $p < 0.01$ ), mientras que no han existido diferencias estadísticas cuando se compara con la media de  $TR_1$  en la situación CIA (0.198 vs. 0.208 s). Considerando que los sistemas de registro han sido diferentes para  $TR_1$  y  $TR_2$ , deberíamos ser cautos con la interpretación de estos resultados.

Como se esperaba, al ser la distancia al plastrón igual para las dos condiciones (SIA y CIA, respectivamente), la distancia horizontal recorrida por el CM, ha sido similar en las dos situaciones experimentales, aunque se ha requerido más tiempo,  $t$  (ACE) con la condición CIA (0.523 vs 0.558 s;  $p < 0.05$ ). La velocidad horizontal media, al final del impulso de aceleración, también ha sido significativamente mayor para la condición CIA (1.76 vs. 1.65 ms<sup>-1</sup>;  $p < 0.05$ ). Quizás los datos más representativos de esta investigación se presentan en la tabla 1, como valores de tiempos igualados en la fase de aceleración, donde se trunca el tiempo del mayor para hacerlo igual al menor. Con este término se ha pretendido reflejar el bloqueo del factor tiempo al final de la fase de aceleración, lo que nos permite comparar el espacio recorrido por el CM de cada esgrimista, en el menor los dos tiempos de impulso de aceleración de las condiciones propuestas ( $s_{X(CM)}$ -truncado), así como el velocidad horizontal alcanzada en ese mismo instante ( $v_{X(CM)}$ -truncado). Los datos ponen de manifiesto que, para las dos variables, existen claras diferencias significativas entre las medias ( $p < 0.001$ ). Es decir, el espacio recorrido por el CM para un mismo tiempo, ha sido mayor cuando no existe incertidumbre, SIA, (0.370 vs. 0.294 m), así como la velocidad registrada en ese mismo tiempo (1.74 vs 1.52 ms<sup>-1</sup>).

Finalmente, en la tabla 1, se presentan los datos asociados al instante en que la punta de la es-

pada toma contacto con el plastrón (tocado), para la situación SIA y el instante en que la hoja del arma toma contacto con la hoja asociada al plastrón (contacto), para la situación CIA. Los datos indican que el tiempo de la respuesta de reacción (TRR) y el tiempo de movimiento (TM), han sido significativamente mayores cuando existe incertidumbre debida a la posibilidad de error durante la acción ( $p < 0.001$ ). Según las condiciones propuestas, el tiempo de movimiento para realizar el

cambio de acción,  $t_{CAM}$ , sólo puede existir en la condición CIA, por lo que sus datos de tendencia central se presentan como un posible indicador del incremento de la respuesta de reacción registrado para esta situación. Aunque la longitud media del fondo,  $S_{FONDO}$ , ha sido similar para las dos condiciones, el tiempo utilizado para realizarlo ha sido significativamente mayor en CIA (0.642 vs. 0.713 s;  $p < 0.05$ ).

<b>Variables</b>	<b>SIA</b>	<b>CIA</b>	<b>F</b>
<b>Posición inicial "en guardia" (<math>t_{INV}</math>)</b>			
<i>Posición vertical CM (m)</i>	0.895 ± 0.072	0.896 ± 0.081	0.00
<i>Posición horizontal CM (m)</i>	0.356 ± 0.083	0.359 ± 0.090	0.05
<i>Posición vertical cazoleta (m)</i>	1.121 ± 0.071	1.102 ± 0.072	2.51
<i>Posición horizontal cazoleta (m)</i>	0.986 ± 0.011	0.996 ± 0.012	0.50
<i>TR<sub>1</sub> (s)</i>	0.174 ± 0.017	0.198 ± 0.035	6.54*
<b>Cambio de estímulo (<math>t_2</math>)</b>			
<i>t<sub>(CAMBIO ESTÍMULO)</sub> (s)</i>	0.451 ± 0.030	0.451 ± 0.030	Cond.
<i>s<sub>X(CM)</sub> (m)</i>	0.070 ± 0.018	0.048 ± 0,025	13.29**
<i>v<sub>X(CM)</sub> (ms<sup>-1</sup>)</i>	0.730 ± 0.112	0.533 ± 0,212	14.92**
<i>TR<sub>2</sub> (s)</i>	-	0.208 ± 36	-
<b>Final impulso de aceleración</b>			
<i>t<sub>(ACE)</sub> (s)</i>	0.523 ± 0.052	0.558 ± 0.084	5.15*
<i>s<sub>X(CM)</sub> (m)</i>	0.405 ± 0.089	0.386 ± 0.097	0.70
<i>v<sub>X(CM)</sub> (ms<sup>-1</sup>)</i>	1.757 ± 0.256	1.650 ± 0.257	6.60*
<b>Tiempos del impulsos de aceleración igualados</b>			
<i>s<sub>X(CM)</sub>-truncado (m)</i>	0.370 ± 0.087	0.294 ± 0.080	21.11***
<i>v<sub>X(CM)</sub>-truncado (ms<sup>-1</sup>)</i>	1.742 ± 0.256	1.521 ± 0.250	20.97***
<b>Tocado / contacto</b>			
<i>TRR (s)</i>	0.717 ± 0.053	0.795 ± 0.067	75.23***
<i>TM (s)</i>	0.543 ± 0.052	0.601 ± 0.060	31.27***
<i>TM<sub>CA</sub> (s)</i>	-	0.101 ± 0.034	-
<i>t<sub>FONDO</sub> (s)</i>	0.642 ± 0.060	0.713 ± 0.088	6.42*
<i>s<sub>FONDO</sub> (m)</i>	1.25 ± 0.13	1.30 ± 0.27	0.92
*** $p < 0.001$ ; ** $p < 0.01$ ; * $p < 0.05$			

**Tabla 1.** Estadística descriptiva y ANOVA para medidas repetidas de las variables más significativas, para las dos condiciones experimentales propuestas: a) sin incertidumbre durante la acción (SIA) y b) con incertidumbre debida a la posibilidad de error (CIA).

## Discusión

En esta investigación se ha puesto de manifiesto que, cuando existe incertidumbre debida a la posibilidad de error durante la realización del ataque en esgrima, el tiempo de la respuesta de reacción es mayor que en ausencia de incertidumbre, incrementándose el tiempo de reacción (TR) y el tiempo de movimiento (TM). Considerando que la posición de partida (en guardia) ha sido la misma para las dos condiciones, se constata que la velocidad media de desplazamiento horizontal del CM, se reduce con la incertidumbre. Como se esperaba, debido a que la distancia al plastrón ha sido la misma para las dos condiciones, no han existido diferencias significativas en el desplazamiento horizontal del CM durante el impulso de aceleración, ni en la longitud media del fondo, aunque el tiempo utilizado para su ejecución se ha incrementado con la incertidumbre, para las dos variables. En consecuencia, cuando existe incertidumbre debida a la posibilidad de error durante la acción, el movimiento se hace más lento, lo que confirma los resultados de Sanderson [19], Borysiuk y Waskiewicz [4] y Gutiérrez-Dávila et al [6].

Aunque se conocía la respuesta que debían de realizar en caso de error, sólo la posibilidad de que pueda existir el error durante la acción de ataque, ha provocado que la ejecución del movimiento haya sido más lenta, lo que confirma las teorías propuestas por la neuropsicología cognitiva sobre la facilitación estratégica en las respuesta [7-10]. Así, cuando no hay previsión de error durante la acción (sin incertidumbre), los planes motores y su secuenciación surge mediante un patrón de sólo beneficios, conocido como facilitación automática. En este patrón el movimiento se desarrolla de forma implícita, inconsciente y automatizada, lo que constituye una ventaja para realizar respuestas rápidas. Sin embargo, cuando existe una previsión de que pueda producirse el error durante la acción, para garantizar la flexibilidad en las acciones de cambio de objetivo, el esgrimista desarrolla otro tipo de facilitación, conocida como facilitación estratégica o de alto orden, que permitiría al esgrimista inhibir la primera acción de ataque y cambiar a otra acción asociada manteniendo la precisión de la respuesta, lo que justificaría el hecho de que el movimiento se realice más lentamente cuando existe la previsión de error durante el ataque.

En las dos situaciones existe una sola respuesta ante un mismo estímulo, es decir, el tiempo de reacción es simple y la respuesta es la misma para las dos condiciones, por lo que la explicación al

incremento del TR ante la posibilidad de error, no puede basarse en el incremento del número de respuestas posibles ante un mismo estímulo [2, 3]. A este hecho, se le podría dar el mismo sentido explicativo que el expuesto en el párrafo anterior para la reducción de la velocidad durante la acción. Así el proceso de inhibición de respuestas durante la acción se desarrollaría mediante dos mecanismos estrechamente relacionados [9]. El primero inhibiría la activación de las posibles respuestas seleccionadas a nivel espinal (control de impulsos) para evitar salidas prematuras y el segundo tendría que tomar la decisión de continuar con el ataque directo o inhibir éste para cambiar a otra acción asociada (resolución de conflictos). De este modo, antes de iniciar el movimiento, se activarían las dos respuestas posibles, requiriéndose señales inhibitorias a nivel espinal, a la espera de la información exterior que haga prevalecer una de ellas. Este segundo mecanismo inhibitorio ocurriría a niveles corticales superiores, produciendo una cierta demora en la respuesta [10, 11], lo que nos permite pensar que la incertidumbre debida a la posibilidad de error durante la acción de ataque, incrementaría el tiempo de reacción de los esgrimistas.

A pesar de la cautela que debemos tener al comparar el tiempo de reacción de inicio de movimiento ( $TR_1$ ) y el que se produce durante la acción ( $TR_2$ ), debida a la diferente sensibilidad de los sistemas de registro utilizados, el hecho de no haber existido diferencias estadísticamente significativas entre el  $TR_1$ , registrado en la condición CIA y  $TR_2$ , pone de manifiesto que el movimiento no afectaría al TR y apoyaría las teorías expuestas sobre el efecto de las señales inhibitorias sobre el tiempo de reacción.

Las teorías basadas en el modelo teórico sobre las dos corrientes de la percepción visual, [12, 13] también confirmarían los resultados expuestos en esta investigación. Así, cuando se realiza una acción sin que se vea afectada por las acciones defensivas no previstas del oponente, la corriente dorsal sería la dominante desde el inicio del movimiento ( $E_1$ ). Al ser una corriente que recoge información visual implícita en el movimiento, permite que el movimiento se realice de forma rápida, automatizada y manteniendo una buena precisión del movimiento hasta alcanzar el objetivo [15]. Por el contrario, cuando existe la posibilidad de error durante la acción el ataque, la corriente ventral, asociada a la consciencia explícita, domina sobre la dorsal. La consecuencia es que el movimiento se realizaría más lentamente, aunque exista una



acción asociada y alternativa al posible error. Investigaciones precedentes indican que cuando la acción alternativa al error es imprevista o no está asociada a la primera acción de ataque, el TR se incrementa y el movimiento se hace aún más lento [6].

## Conclusiones

Cuando existe la posibilidad de error durante la realización del ataque en esgrima, se incrementan los parámetros temporales de la respuesta de reacción (TR y TM), la velocidad de ejecución disminuye y, en consecuencia, el movimiento se hace más lento. Unos resultados que ponen de manifiesto la importancia que tiene en esgrima la intención táctica para predecir con éxito los movimientos defensivos que realizará el oponente durante la acción la acción de ataque. La predicción que se hace mediante el componente táctico, condicionaría la probabilidad de producirse el error y, consecuentemente, la velocidad de ejecución del ataque.

## Bibliografía

- Gutiérrez-Dávila, M., Rojas, F.J., Antonio, R. y Navarro, E.** (2011). Response timing in the lunge and target change in elite versus médium-level fencers. *European Journal of Sports Sciences*, 1-22.
- Schmidt, R.A., y Lee, T.D.** (2011). *Motor control and learning*. (5TH 5th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Stein, J.F.** (2008). Factors influencing the initiation, performance and precision of the hit in fencing. In X. Iglesias (Ed.): *Proceedings of the 1st International Congress on Science and Technology in Fencing*. (pp. 7-13), Barcelona, Spain.
- Borysiuk, Z., & Waskiewicz, Z.** (2008). Information processes, stimulation and perceptual training in fencing. *Journal of Human Kinetics*, 19, 63-82.
- Czajkowski, Z.** (2009). Tactics in fencing. Preparatory actions. *Studies in Physical Culture and Tourism*, 16 (4), 371-378.
- Gutiérrez-Dávila, M., Rojas, F.J., Antonio, R. y Navarro, E.** (2013). Effect of Uncertainty on the Reaction Response in Fencing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 84, 1, 16-23.
- Desmurget, M. y Sirigu, A.** (2009). A parietal-premotor network for movement intention and motor awareness. *Trends Cogn. Sci.* 13 (10): 411-419.
- Gao, J., Wong-Lin, K., Holmes, P., Simen, P. y Cohen, J.D.** (2009). Sequential effects in two-choice reaction time tasks: Decomposition and synthesis of mechanisms. *Neural Comput.* 21 (9): 2407-2436.
- Duque, J., Lew, D., Mazzocchio, R., Oliver, E. y Ivry, R.B.** (2010). Evidence for two concurrent inhibitory mechanisms during response preparation. *J. Neurosci.*, 30 (10): 3796-3802.
- Schluter, N.D., Rushworth, M.F., Passingham, R.E. y Mills, K.R.** (1998). Temporary interference in human lateral premotor cortex suggests dominance for the selection of movements. A study using transcranial magnetic stimulation. *Brain*, 121: 785-79.
- Ivanoff, J. Branning, P. y Marois, R.** (2009). Mapping the pathways of information processing from sensation to action in four distinct sensorimotor tasks. *Hum. Brain Mapp.*, 30 (12): 4167-4186.
- Goodale M. A. y Westwood, D.** (2004). A. An evolving view of duplex vision: separate but interacting cortical pathways for perception and action. *Curr. Opin. Neurobiol.*, 14: 203-211.
- Milner A. D. y Goodale, M.A.** (1995). *The visual brain in action*. Oxford: Oxford University Press.
- Glover, J.J.** (2004). Separate visual representations in the planning and control of action. *Behavioral and Brain Sciences*, 27, 3-78.
- Van der Kamp, J., Rivas, F., Van Doorn, H. y Savelsbergh, G.** (2008). Ventral and dorsal system contributions to visual anticipation in fast ball sports. *Int. J. Sport Psychol.*, 39: 100-130.
- Zatsiorsky, V.M. y Seluyanov, N.V.** (1983). The mass and inertial characteristics of the main segments of the human body. In: *Biomechanics VIII-B*. Matsui, H. and K. Kobayashi (Eds) Champaign, IL: Human Kinetics, 1152-1159.
- Leva, De, P.** (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanovs segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*. 29(9): 1223-1230.
- Winter, D.** (1990) *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, Second Edition. Published by John Wiley & Sons, New York.
- Sanderson, F.H.** (1983). The effect of directional uncertainty on reaction time and movement time in a fencing task. *Journal of Sports Sciences*, 1 (2), 100-105.