

## Efecto de la posición inicial sobre la respuesta de reacción en las acciones de ataque en esgrima

### Effect of the initial position on the reaction response in the actions of attack in fencing

Marcos Gutiérrez-Dávila, Francisco J. Giles-Girela, Carlos Zinseng  
Carmen Gutiérrez-Cruz, Francisco J. Rojas

Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Granada. España

#### Resumen

El propósito de este estudio ha sido comprobar el efecto que produce el desplazamiento del peso del cuerpo hacia el apoyo más retrasado, en la posición de "en guardia", con respecto a una distribución equidistante de los dos apoyos y la posición habitual, sobre la velocidad de desplazamiento horizontal del centro de masas, CM, durante las acciones posteriores de ataque con fondo. Han participado 19 esgrimistas (14 hombres y 5 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 el CM se desplazaba hacia el apoyo posterior (retrasada), el esgrimista partía de la posición de "en guardia" manteniendo una fuerza vertical sobre la el pie más retrasado, entre el 65% y 75% del peso corporal, siendo entre el 45% y 55% para la situación experimental de distribución equidistante de los dos apoyos (equidistante). En una tercera situación, se pidió al esgrimista que partiera de su posición habitual de "en guardia". Los resultados han puesto de manifiesto que, cuando se parte de una posición retrasada del CM para realizar una acción de ataque con fondo, el tiempo de movimiento se incrementa y la velocidad del CM es menor durante los primeros instantes del movimiento.

**Palabras clave:** biomecánica; esgrima; fuerza; impulso angular.

#### Abstract

The main aim of this study was to determine the effect that produced the displacement of the weight of the body towards the back foot, in the position of "en-garde", with regard to an equidistant distribution of both supports and the habitual position, on the speed of horizontal displacement of the center of mass, CM, during a lunge attack in fencing. 19 fencers (14 men and 5 women), with an experience in regional competition of more than five years participated in this study. Two force platforms, operating to 500 Hz, a video camera, to 210 Hz and an electronic chronometer adapted to the system of wired up of the sword were used to record data. An electronic signal was used to synchronise all the recording systems mentioned. For the experimental situation where the CM was moving towards the back foot (backward), the fencer adopted the position of "en-garde" with a vertical force on the back foot, between 65 % and 75 % of the corporal weight, and between 45 % and 55 % for the experimental situation of equidistant (equidistant) distribution of both supports. In a third situation, the fencer adopted his/her habitual position of "en garde". The results indicated that, the backward position increases the time of movement and the speed of the CM decreases during the movement initiation of the lunge attack.

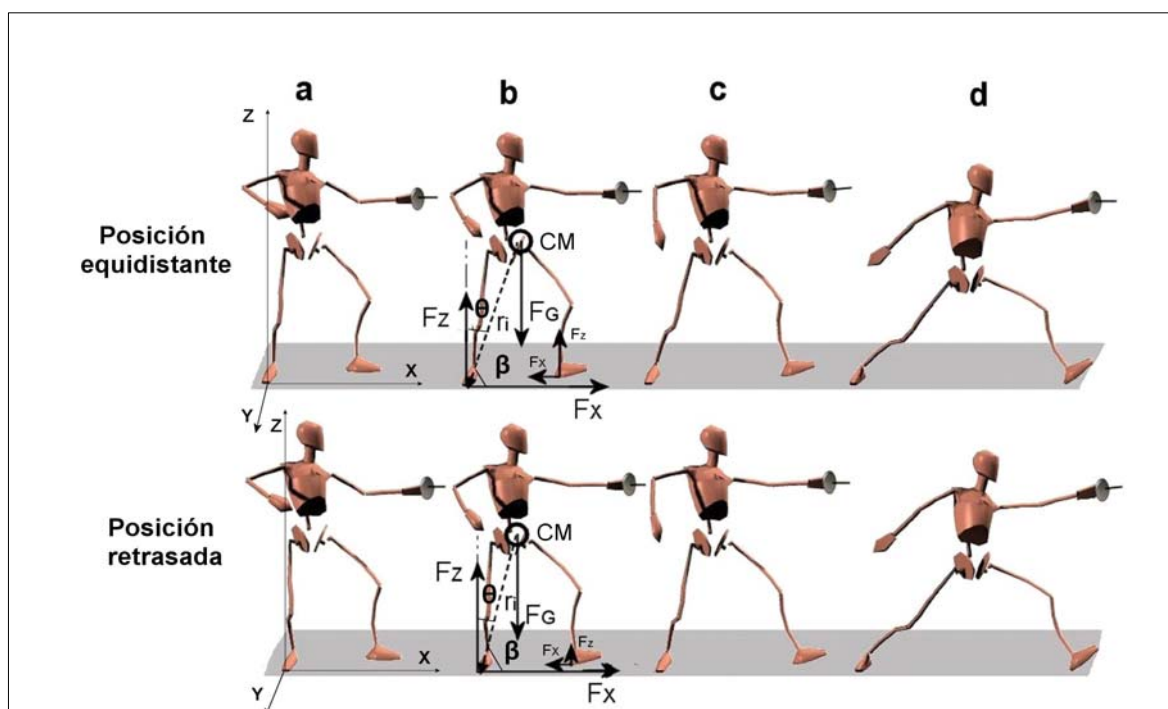
**Key words:** biomechanics; fencing; force; angular impulse.

Correspondencia/correspondence: F. Javier Rojas Ruiz  
Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Granada. España  
Email: [fjrojas@ugr.es](mailto:fjrojas@ugr.es)

## Introducción

En esgrima, la posición de “en guardia” constituye el elemento técnico básico del que parten todas las acciones. Aunque con ciertas variantes individuales, el esgrimista adopta una posición de perfil con respecto al oponente (figura 1a), donde una línea imaginaria de ataque pasaría a través de los talones de los dos pies que están apoyados plenamente en el suelo y orientados perpendicularmente entre sí, manteniendo una cierta flexión de piernas y el brazo ligeramente flexionado hacia delante (Gresham-Fiegel, House, y Zupan, 2013).

La mayoría de las publicaciones coinciden en señalar que, en la posición de “en guardia”, el peso del cuerpo debería de estar repartido por igual entre los dos apoyos (Thirioux, 1970; Szabó, 1977) o, ligeramente desplazado hacia delante (Arkayev, 1980; Beke y Polgar, 1990; Stewart y Kopetka, 2005). En este sentido, Gholipour, Tabrizi y Farahmand (2008), comparando esgrimistas de élite con novatos, han descrito que antes de realizar un ataque con fondo, desde la posición de “en guardia”, el grupo de élite mantenía la posición del CM más adelantado que el grupo de novatos. A pesar de ello, son escasos los estudios donde se ha podido constatar empíricamente el efecto que tiene la posición inicial del centro de masa del esgrimista (CM), sobre la eficiencia de las acciones posteriores.



**Figura 1.-** Secuencia temporal del ataque con fondo desde una posición equidistante del CM (superior) y retrasada (inferior), junto al diagrama de fuerzas al inicio del movimiento para las dos situaciones.

El propósito de este estudio ha sido comprobar el efecto que produce el desplazamiento del peso del cuerpo hacia el apoyo más retrasado, en la posición de “en guardia” (figura 1, inferior), con respecto a una distribución por igual entre los dos apoyos (figura 1, superior), sobre la velocidad de desplazamiento horizontal del CM durante las acciones posteriores de ataque con fondo. De forma complementaria, se pretende describir la distribución habitual del peso del cuerpo en la posición de “en guardia” y compararla con las dos situaciones experimentales propuestas.

La acción de ataque con fondo desde la posición de “en guardia”, se inicia con la extensión del brazo de forma simultánea con la aplicación de fuerza horizontal del pie más retrasado contra el suelo (Gholipour y col. 2008), mientras que el pie más adelantado inicia el despegue (figura 1b,c). La fuerza horizontal continúa ejerciéndose contra el suelo hasta que el pie más retrasado se desliza hacia delante o el pie más adelantado vuelve a tomar contacto con el suelo (figura 1d). Este proceso de aplicación de fuerza horizontal, constituye la fase de aceleración horizontal del CM (Gutiérrez-Dávila, Rojas, Antonio y Navarro, 2013). La componente horizontal de la velocidad alcanzada por el CM al final de la fase de aceleración horizontal, estará relacionada con el impulso horizontal desarrollado durante esta fase. Así, considerando el tiempo como un factor de eficacia para las acciones en esgrima, el impulso horizontal debería incrementarse a partir de la fuerza, tratando de reducir el tiempo de aplicación. Para ello, la fuerza horizontal debería ser máxima desde el inicio de la fase de aceleración. Cronin, Mc Nair y Marshall (2003), confirman esta teoría, al poner de manifiesto que el tiempo utilizado para alcanzar el máximo pico de fuerza, constituye el mejor factor individual de predicción de eficiencia en las acciones de fondo en esgrima.

El análisis dinámico de las fuerzas que actúan durante la realización de las acciones de ataque con fondo (ver figura 1b), nos sugiere que un desplazamiento horizontal del CM hacia el apoyo más retrasado, como consecuencia del desplazamiento del peso hacia este mismo apoyo, podría provocar efectos contraproducentes al desplazamiento horizontal del ataque. A partir de las fuerzas representadas en la figura 1b (superior), la fuerza horizontal ( $F_x$ ) produciría, a lo largo del tiempo, un impulso angular, al que denominaremos “de mortal hacia atrás”. Por el contrario, la componente vertical ( $F_z$ ) producirá otro impulso angular contrario, al que denominaremos “de mortal hacia delante”. A tiempos iguales, las magnitudes de los dos impulsos estarían relacionadas con el producto entre las magnitudes de las respectivas componentes de la fuerza neta resultante ( $F_x$  y  $F_z$ ), su vector posición ( $r_i$ ) y el seno del ángulo formado por dichos vectores ( $\theta$  o  $\beta$ , para el impulso de mortal hacia delante y hacia atrás, respectivamente). Así, para que el cuerpo no tienda a girar durante la producción de fuerza, la resultante de los dos impulsos angulares debe ser cero.

Cuando el CM se desplaza hacia el apoyo más retrasado (ver figura 1b, inferior), la fuerza vertical se incrementa ligeramente y el ángulo  $\theta$  se reduce, con respecto a la situación donde el peso se distribuye por igual entre los dos apoyos (figura 1b, superior). Este cambio produciría una cierta reducción del impulso angular de mortal hacia delante y, consecuentemente, una rotación de mortal hacia atrás durante los primeros instantes de la aplicación de fuerza. Para que esto no ocurra, el esgrimista tendría que reducir el impulso de mortal hacia atrás aplicando menos fuerza horizontal, lo que supone un desplazamiento hacia delante del CM más lento.

Sin embargo, desde la mecánica muscular, se ha puesto de manifiesto que los músculos no pueden activarse o desactivarse instantáneamente, por el contrario, necesitan un cierto tiempo para pasar de una tensión cero a la máxima tensión, o viceversa (Brown y Loeb, 2000; Neptune y Kautz, 2001). Partiendo de estas aportaciones, es posible considerar que un desplazamiento del peso del cuerpo hacia el apoyo más retrasado, podría incrementar la pretensión muscular de la pierna más retrasada y disminuir la tensión muscular de la pierna adelantada, lo que favorecería al incremento de la fuerza horizontal al inicio del movimiento. Así, considerando que la musculatura de la pierna más retrasada no mantuviera una cierta pretensión cuando se inicia el fondo, la fuerza ejercida hacia delante sería próxima a cero, aumentando gradualmente a medida que los músculos de la pierna más retrasada incrementan su tensión y los de la más adelantada la

reducen. Sin embargo, cuando la musculatura ya mantiene una cierta pretensión, el esgrimista dispondría de una fuerza al comienzo de la fase de aceleración y la pierna adelantada tendría una tensión próxima a cero, lo que daría una cierta ventaja a la posición retrasada del CM.

A pesar de las ventajas descritas, no podemos confirmar que el incremento de la pretensión de la pierna más retrasada, debido a la fuerza vertical, pudiera facilitar la generación posterior de fuerza horizontal y, en el caso de que esta posibilidad existiera, la reducción del impulso angular de mortal hacia adelante debido al desplazamiento el CM hacia atrás, dificultaría la producción de fuerza horizontal en los primeros instantes de la generación de fuerza. Considerando los antecedentes y controversias presentadas, el objetivo de este estudio ha sido valorar el efecto de la posición inicial retrasada sobre los factores biomecánicos que determinan la respuesta de reacción, consideramos como hipótesis que el desplazamiento del peso hacia el apoyo más retrasado en la posición de “en guardia”, reducirá la velocidad de desplazamiento del CM durante el ataque directo con fondo.

## Método

### *Participantes*

Han participado 19 esgrimistas (14 hombres y 5 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=  $24,2 \pm 6,2$  años; talla =  $1,72 \pm 0,07$  m; masa =  $69 \pm 9,2$  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.

### *Material y procedimientos*

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, lo que nos permitió registrar las componentes rectangulares de la fuerza neta para cada una de las plataformas, así como la fuerza resultante de componente horizontal ( $F_{AX} + F_{BX}$ ).

Una cámara de vídeo, Casio EX - FH20, a 70 Hz registraba el plano sagital de los esgrimistas, a partir de la cual se determinó la posición de su centro de gravedad (CG), antes de iniciar el movimiento. 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 una pantalla blanca de  $0,70 \times 0,55$  m, que actuaba como plastrón. El centro geométrico de la pantalla se situó a una altura que correspondía con el 75% de la talla del esgrimista. 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 reacción (TRR), considerado como el periodo de tiempo comprendido entre el instante en que aparecía proyectado el círculo (E) hasta que la punta de la espada impactaba en el plastrón. 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.

Tras un calentamiento previo de 15 minutos, los esgrimistas 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), 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  $-0,001 \pm 0,056$  m. Antes de comenzar los ensayos de registro, los esgrimistas realizaron una sesión de varios ataques al plastrón hasta que se habituaron con el procedimientos y sistema de toma de datos.

En este estudio se ha utilizado un diseño intragrupo en tres situaciones experimentales, en donde, los esgrimistas recibieron las instrucciones de realizar un ataque simple de golpeo recto con fondo, al aparecer el círculo en el centro de simetría del plastrón (E) a la mayor velocidad posible y para todos los ensayos. Para la situación experimental donde el CM se desplazaba hacia el apoyo posterior (retrasada), el esgrimista partía de la posición de “en guardia”, manteniendo el registro de la componente vertical de la plataforma situada bajo el pie más retrasado, entre el 65% y 75% del peso corporal, siendo entre el 45% y 55% para la situación experimental de distribución equidistante de los dos apoyos (equidistante). En una tercera situación, se pidió al esgrimista que partiera de su posición habitual de “en guardia”. Se realizaron cinco ensayos válidos para todos los sujetos en las tres condiciones de partida descritas, registrándose el tiempo de la respuesta de reacción (TRR) y analizándose el ensayo correspondiente al valor mediano del TRR, para cada situación. El ensayo se repitió cuando la punta de la espada no alcanzaba el círculo, anotándose como error. Siguiendo la metodología propuesta por Gutiérrez-Dávila, Dapena y Campos (2006), el inicio del movimiento 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 y se anotaba como error.

#### *Variables y Análisis de los resultados*

Además del tiempo de la respuesta de reacción (TRR), se han registrado sus dos componentes temporales: a) el tiempo de reacción (TR), definido como el periodo comprendido desde que aparece el estímulo, E ( $t_0$ ), hasta que se inicia el movimiento ( $t_{INI}$ ) y b) el tiempo de movimiento (TM), definido como el periodo comprendido desde  $t_{INI}$  hasta el instante en que la punta de la espada toma contacto con el plastrón. Siguiendo con el análisis temporal, se ha registrado el tiempo utilizado por el esgrimista durante la fase de aceleración horizontal, desde el inicio del movimiento hasta que despega el pie atrasado (*t. aceleración CM*), el tiempo en despegar del suelo el pie más adelantado (*t. despegue pie adelantado*) y el tiempo hasta vuelve a tomar contacto el pie adelantado (*t. vuelo pie adelantado*)

Los registros de fuerza correspondiente a la posición de “en guardia”, en las tres condiciones expuestas, se obtuvieron mediante la media de los cincuenta últimos registros de las componentes rectangulares, procedentes de la plataforma situada bajo el pie más retrasado, antes de iniciar el movimiento ( $F_X$  apoyo retrasado y  $F_Z$  apoyo retrasado). Para obtener los registros de las velocidades y desplazamientos horizontales del CM, durante la realización del ataque con fondo, 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 para ello el método trapezoidal. Las constantes de integración (componentes rectangulares de la posición del CM en la posición de “en guardia”), se determinaron a partir de las imágenes de vídeo. Para ello, se digitalizaron cinco imágenes, a una frecuencia de 30 Hz, a partir del instante en que aparece el estímulo E ( $t_0$ ), utilizando para

ello 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, (1983) y adaptados por de Leva, (1996). Para la conversión de los datos a escala real, se utilizó un sistema de referencias de 1,58 x1,58 x1 m. Finalmente, las constantes de integración se obtuvieron realizando la media de las coordenadas planas de la posición del CM de las cinco imágenes digitalizadas.

Para evaluar las posibles diferencias de la velocidad horizontal del CM en las tres posiciones de “en guardia”, se ha bloqueado el factor tiempo. Así, se ha registrado el espacio de componente horizontal recorrido por CM a los 0,2 s y 0,4 s, del inicio del movimiento. Para completar el análisis, se ha registrado la velocidad horizontal alcanzada después de los dos periodos temporales propuestos. Finalmente se registró la velocidad y el espacio horizontal recorrido al final de la fase de aceleración.

### *Análisis estadístico*

Se han calculado la media y desviación típica para cada variable en cada situación experimental, determinándose las diferencias entre las medias de los tres niveles de la variable (habitual, equidistante y retrasado, respectivamente), mediante un análisis de varianza multifactorial para medidas repetidas (MANOVA), junto a la prueba de contrastes para determinar las diferencias de cada nivel con respecto a los demás. Para evaluar la fiabilidad de las pruebas, se aplicó un análisis de varianza de medidas repetidas a todos los ensayos en las tres condiciones experimentales (cinco ensayos de cada participante), tomando como variable dependiente el tiempo de respuesta de reacción (TRR). No existiendo diferencias significativas entre los ensayos de cada esgrimista en cada situación experimental. El coeficiente de correlación intraclase ha sido de 0,908,  $p < 0,001$ , 95% IC (0,823, 0,960,) para la situación habitual, de 0,927,  $p < 0,001$ , 95% IC (0,858, 0,968) para la situación equidistante y de 0.917,  $p < 0,001$ , 95% IC (0,838, 0,964) para la situación retrasada. Para el tratamiento estadístico de los datos se ha utilizado el software Statistical Package for the Social Sciences, SPSS v. 20.0.

## **Resultados**

En la tabla 1 se presenta la estadística descriptiva e inferencial de las variables, para las tres posiciones del CM en la posición de “en guardia” (habitual, equidistante y retrasada, respectivamente). Las fases temporales en las que se han obtenido los registros se presentan según la secuencia temporal de la realización del ataque con fondo. En la posición de “en guardia”, las alturas del CM y de la mano armada, han sido similares en todas las condiciones propuestas, sin embargo, han existido claras diferencias entre las medias de su posición horizontal ( $p < 0,001$ ). La prueba de contrastes indica que estas diferencias sólo existen cuando se compara la condición retrasada, con respecto a las otras dos. Las componentes de la fuerza media aplicada contra el suelo por el pie más retrasado, se han expresado en porcentaje del peso corporal de cada esgrimista. Así, la fuerza media horizontal ( $F_x$  *apoyo retrasado*) ha sido significativamente menor para la posición retrasada del CM, con respecto a las otras dos ( $p < 0,001$ ). La fuerza vertical ( $F_z$  *apoyo retrasado*), ha sido mayor cuando el CM se desplaza hacia el apoyo más retrasado, manteniéndose en valores similares para las otras dos condiciones. Finalmente, los datos para este periodo, han puesto de manifiesto que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tiempos de reacción (TR) de las tres condiciones experimentales.

A continuación, en la tabla 1, se presentan las variables registradas desde el inicio del movimiento, hasta 0,2 s. Los datos ponen de manifiesto que no existen diferencias entre las medias de las tres condiciones, para el tiempo que tarda el pie más adelantado en despegar del suelo, (*t. despegue pie adelantado*). Sin embargo, se han registrado claras diferencias para el desplazamiento horizontal del CM ( $s_{X(CM)}$ ) a los 0,2 s del inicio del movimiento ( $p < 0,001$ ). Un comportamiento similar se presenta para la velocidad horizontal alcanzada por el CM ( $v_{X(CM)}$ ) a 0,2 s del inicio del movimiento ( $p < 0,001$ ). La prueba de contrastes para estas dos variables, indican que sólo existen diferencias cuando se compara la situación donde el CM está retrasado, con respecto a las otras dos situaciones, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre la posición habitual y la equidistante del CM. Esta tendencia en los registros se mantiene a 0,4 s del inicio del movimiento. Así, el desplazamiento horizontal del CM ( $s_{X(CM)}$ ) y la velocidad alcanzada en ese instante ( $v_{X(CM)}$ ), han sido significativamente menores en la posición retrasada del CM, con respecto a las otras dos ( $p < 0,001$ ).

Al final de la fase de aceleración horizontal del CM, ocurre todo lo contrario a lo expuesto en el párrafo anterior para  $s_{X(CM)}$  y  $v_{X(CM)}$ . Efectivamente, han existido claras diferencias entre las media de las tres condiciones, para el espacio recorrido por el CM al final de la fase de aceleración, siendo mayor para la situación donde el CM parte retrasado y menor para la posición equidistante ( $p < 0,001$ ). La velocidad horizontal del CM al final de la fase de aceleración ha sido significativamente mayor cuando el ataque se inicia con el CM retrasado ( $p < 0,001$ ), mientras que no han existido diferencias estadísticamente significativas para las otras dos condiciones. El tiempo medio empleado para realizar esta fase (*t aceleración CM*), ha sido mayor para la situación donde se parte con el CM retrasado, con respecto a las otras dos situaciones ( $p < 0,001$ ). De los resultados expuestos, se constata que el mayor desplazamiento del CM y la mayor velocidad registrada por el CM al final de la fase de aceleración, para la condición retrasada, se debe al mayor tiempo empleado para realizar esta fase y al incremento de la velocidad horizontal del CM al final de esta fase.

Tabla 1.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables más significativas para la posición habitual (1), equidistante (2) y retrasada (3).

Variables	Habitual	Equidistante	Retrasado	F	Análisis de contrastes post hoc
<b>Posición inicial "en guardia" (<math>t_{IN}</math>)</b>					
Posición vertical CM (m)	0,903 ± 0,072	0,900 ± 0,072	0,898 ± 0,070	0,19	
Posición horizontal CM (m)	0,358 ± 0,075	0,366 ± 0,085	0,208 ± 0,064	148,49***	3 < 1, 2
Posición vertical cazoleta (m)	1,128 ± 0,072	1,109 ± 0,064	1,116 ± 0,073	1,42	
Posición horizontal cazoleta (m)	0,991 ± 0,10	1,006 ± 0,100	0,780 ± 0,096	144,75***	3 < 1, 2
$F_x$ apoyo retrasado (% peso)	10,3 ± 1,8	10,5 ± 2,1	7,5 ± 1,9	28,82***	3 < 1, 2
$F_z$ apoyo retrasado (% peso)	48,5 ± 4,2	48,2 ± 3,1	69,2 ± 3,5	Cond.	3 > 1, 2
Tiempo Reacción, TR (s)	0,177 ± 0,019	0,181 ± 0,020	0,180 ± 0,012	0,57	
<b>A 0,2 s del inicio del movimiento</b>					
t. despegue pie adelantado (s)	0,056 ± 0,039	0,055 ± 0,040	0,044 ± 0,030	0,65	
Desplazamiento horizontal, $s_{X(CM)}$ (m)	0,025 ± 0,008	0,025 ± 0,007	0,016 ± 0,004	15,61***	3 < 1, 2
Velocidad horizontal, $v_{X(CM)}$ ( $ms^{-1}$ )	0,378 ± 0,099	0,385 ± 0,097	0,243 ± 0,056	23,32***	3 < 1, 2
<b>A 0,4 s del inicio del movimiento</b>					
Desplazamiento horizontal, $s_{X(CM)}$ (m)	0,194 ± 0,035	0,191 ± 0,035	0,121 ± 0,024	37,63***	3 < 1, 2
Velocidad horizontal, $v_{X(CM)}$ ( $ms^{-1}$ )	1,340 ± 0,164	1,324 ± 0,199	0,839 ± 0,159	54,52***	3 < 1, 2
<b>Final fase de aceleración horizontal</b>					
t. aceleración CM (s)	0,525 ± 0,051	0,508 ± 0,048	0,645 ± 0,058	100,36***	3 > 1, 2
Desplazamiento horizontal, $s_{X(CM)}$ (m)	0,400 ± 0,088	0,364 ± 0,076	0,507 ± 0,077	54,57***	3 > 1,2; 1 > 2
Velocidad horizontal, $v_{X(CM)}$ ( $ms^{-1}$ )	1,665 ± 0,210	1,634 ± 0,261	1,824 ± 0,245	9,02***	3 > 1, 2
<b>Contacto con el plastrón</b>					
Tiempo Respuesta Reacción, TRR (s)	0,720 ± 0,054	0,722 ± 0,060	0,898 ± 0,075	113,58***	3 > 1, 2
Tiempo de movimiento, TM (s)	0,543 ± 0,052	0,541 ± 0,056	0,718 ± 0,068	134,51***	3 > 1, 2
t. vuelo pie adelantado (s)	0,505 ± 0,072	0,489 ± 0,096	0,672 ± 0,099	63,31***	3 > 1, 2
Error (%)	2,9 ± 9,3	6,0 ± 9,4	8,9 ± 12,8	1,92	

$P < 0,001$ \*\*\*



Finalmente, en la tabla 1, se presentan los datos relacionados con el instante de contacto de la punta del arma con el plastrón. Se constata que el tiempo de la respuesta de reacción (TRR), ha sido significativamente mayor para la situación donde el CM parte de una posición retrasada ( $p < 0,001$ ), mientras que la prueba de contrastes indica que no han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las otras dos situaciones. Una estadística similar se presenta para el tiempo de movimiento (TM), siendo significativamente mayor para la situación retrasada, con respecto a las otras dos ( $p < 0,001$ ). El tiempo de vuelo del pie más adelantado (*t. vuelo pie adelantado*), ha sido mayor para la situación retrasada. No han existido diferencias estadísticamente significativas en los errores cometidos durante la realización de los ensayos.

### Discusión

Según los resultados expuestos, se puede afirmar que, cuando se parte de una posición retrasada del CM para realizar una acción de ataque con fondo, el tiempo de movimiento se incrementa y la velocidad del CM es menor durante los primeros instantes del movimiento. Igualmente se constata que la posición equidistante del CM de los esgrimistas corresponde a su posición habitual de “en guardia”, lo que coincide con lo descrito en los textos tradicionales (Thirioux, 1970; Szabó, 1977). No siendo considerada muestra de élite, estos resultados podrían ser coincidentes con las aportaciones de Gholipour y col. (2008), cuando pone de manifiesto que los esgrimistas de élite mantienen la posición del CM más adelantado que los esgrimistas novatos.

En la figura 2, se representan los registros de la fuerza neta y el desplazamiento horizontal del CM para dos participantes (a y b, respectivamente), en dos de las situaciones experimentales propuestas (CM retrasado y CM equidistante, respectivamente). Los datos numéricos de la velocidad horizontal del desplazamiento del CM, nos permiten considerar los registros de estos dos participantes como representantes de toda la muestra (ver tabla 1). Así, podemos afirmar que, tanto los datos como las gráficas expuestas, son coherentes con las teorías biomecánicas sobre los impulsos angulares producidos durante la aplicación de fuerzas, un hecho que trataremos de explicar a continuación.

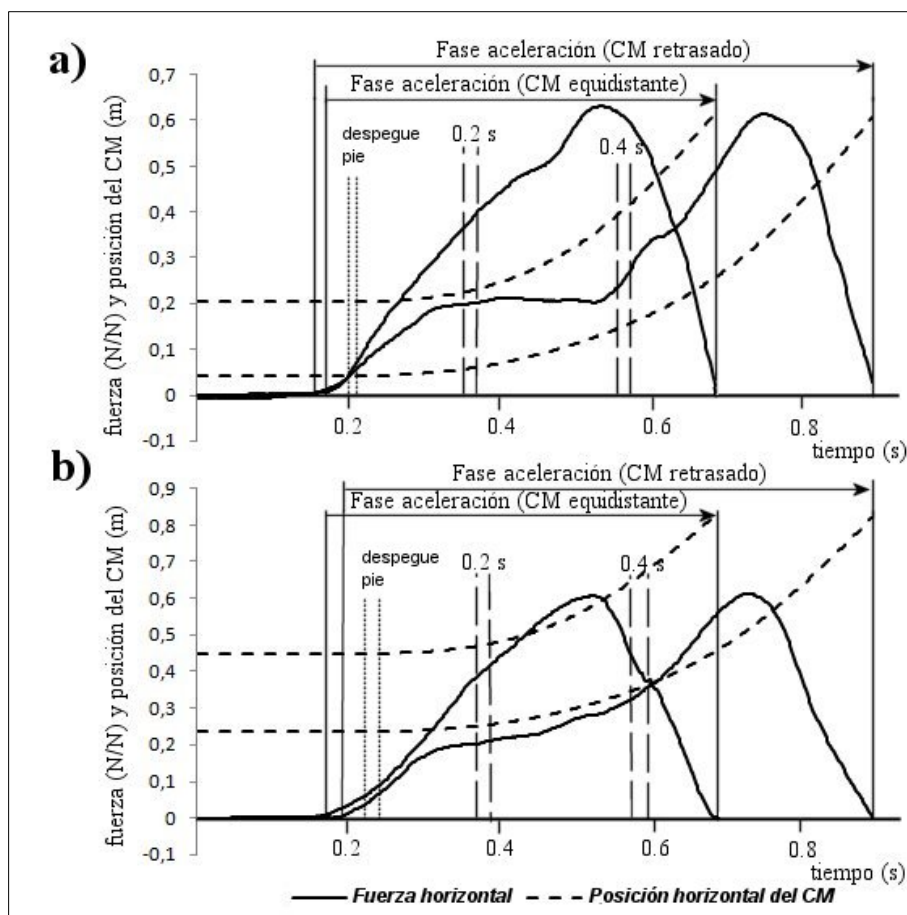


Figura 2.- Registros de la fuerza horizontal neta y el desplazamiento horizontal del CM durante la fase de aceleración, para dos participantes (a y b, respectivamente), en dos situaciones experimentales propuestas (CM retrasado y CM equidistante, respectivamente).

Desde el inicio de la fase de aceleración, hasta que el pie más adelantado despegue del suelo (despegue pie), la fuerza horizontal ha sido similar para las dos situaciones. Esta fuerza produce un cierto impulso angular positivo que tiende a girar al esgrimista hacia atrás (mortal hacia atrás). Por el contrario, la fuerza vertical produce un impulso angular negativo que tiende a girar al esgrimista hacia delante (mortal hacia delante). Así, cuanto mayor sea la fuerza horizontal al inicio del movimiento, mayor será el impulso angular de mortal hacia atrás, lo que beneficia el despegue del pie más adelantado. Posiblemente, este efecto sea mayor cuando el CM está retrasado. En esta situación, el impulso angular de mortal hacia atrás se ve favorecido por el menor impulso angular de mortal hacia delante, producido por las fuerzas verticales, aunque las escasas diferencias entre las medias, registradas para el tiempo de despegue del pie, no permiten justificar este hecho (ver tabla 1).

Tras el despegue, el punto de aplicación de las fuerzas se desplaza hasta el apoyo del pie más retrasado. Cuando el CM parte de una posición equidistante, las fuerzas horizontales siguen incrementándose hasta el final de la fase de aceleración, mientras que, cuando se parte de una posición retrasada del CM, el incremento de la fuerza horizontal es menor hasta, aproximadamente, 0,4 s del inicio, lo que se constata en la tabla 1, con el menor desplazamiento del CM hasta ese instante (0,191m vs. 0,121 m). Por lo tanto, durante este periodo, la velocidad media del CM es menor que cuando se parte de una posición equidistante del CM. A partir de la teoría biomecánica de los impulsos angulares, la posición retrasada del CM reduciría el impulso angular de mortal hacia delante y, en consecuencia, favorecería al impulso angular de mortal hacia atrás. Así, una fuerza horizontal excesiva, provocaría una rotación hacia atrás del esgrimista que le situaría en una posición poco ventajosa para la acción de ataque. Según lo expuesto, la magnitud de la fuerza horizontal está condicionada por la posición horizontal del CM. Es decir, cuanto mayor sea la posibilidad de aplicar fuerzas, mayor debe ser el desplazamiento hacia delante del CM. Este hecho justificaría que los esgrimistas de élite mantengan la posición del CM más adelantado que los esgrimistas noveles, como han señalado Gholipour y col. (2008). Una justificación basada en que los esgrimistas de élite son capaces de producir más fuerza horizontal que los esgrimistas noveles.

Siguiendo con la descripción de las fuerzas representadas en la figura 1 para la posición retrasada del CM, a partir de 0,4 s, las fuerzas horizontales se incrementan hasta el despegue, llegando a conseguir una velocidad horizontal del CM, al final de la fase de aceleración, mayor que la registrada en la situación equidistante ( $1,634 \text{ ms}^{-1}$  vs.  $1,824 \text{ ms}^{-1}$ ). Efectivamente, a partir de ese instante, el CM ya mantiene una posición adelantada, suficiente para que la fuerza vertical pueda producir un impulso angular de mortal hacia delante que contrarreste el producido hacia atrás por la fuerza horizontal. La consecuencia es que la fuerza horizontal puede incrementarse a medida que aumenta la posición horizontal del CM.

Según lo expuesto, el desplazamiento hacia delante del CM en la posición de “en guardia” es un factor individual que está condicionado por la capacidad del esgrimista para producir fuerza horizontal. Considerando que el tiempo utilizado para alcanzar el máximo pico de fuerza horizontal, constituye el mejor factor individual de predicción de eficiencia en las acciones de fondo en esgrima (Cronin y col. 2003), los esgrimistas expertos capaces de producir una gran fuerza horizontal desde el inicio del movimiento deberían mantener el CM desplazado hacia delante antes de realizar una acción de ataque con fondo. Por el contrario, no deberíamos aconsejar a esgrimistas noveles, con escasa capacidad de producción de fuerzas horizontales, desplazar excesivamente el CM hacia delante. En este caso, el impulso angular de mortal hacia delante se vería incrementado con respecto al de mortal hacia atrás, con una consecuencia sería doble: a) mayor dificultad en el despegue del pie más adelantado y b) el fondo será más corto, debido a la precipitación del apoyo del pie en el suelo, además de una posición más baja del arma al final de la fase de impulso. Quizás estas razones justifiquen la cautela con la que tratan la mayoría de las publicaciones esta cuestión, al poner de manifiesto que, en la posición de “en guardia”, el peso del cuerpo debería estar repartido por igual entre los dos apoyos o, ligeramente desplazado hacia delante (Thirioux, 1970; Szabó, 1977; Arkayev, 1980; Beke y Polgar, 1990; Stewart y Kopetka, 2005).

La mayor fuerza vertical ejercida sobre el apoyo más retrasado, cuando el CM se encuentra desplazado hacia atrás en la posición de “en guardia, ha supuesto una reducción de la fuerza horizontal (ver tabla 1). Estos datos nos indican que no podemos justificar que exista mayor

pretensión muscular cuando se desplaza el CM hacia atrás, aunque en situaciones reales de competición, la pretensión muscular alcanza una dimensión muy diferente a la situación estática de partida que se establece en esta investigación.

## Conclusiones y aplicaciones prácticas

Cuando se parte de una posición retrasada del CM para realizar una acción de ataque con fondo, el tiempo de movimiento se incrementa y la velocidad media del CM es menor durante los primeros instantes del movimiento, siendo el impulso angular, que produce la fuerza horizontal al inicio del movimiento, el principal factor causal.

El desplazamiento hacia delante del CM en la posición de “en guardia”, constituye un factor individual que está condicionado por la capacidad del esgrimista para producir fuerza horizontal. Así, los esgrimistas expertos, capaces de producir una gran fuerza horizontal desde el inicio del movimiento, deberían mantener el CM desplazado hacia delante antes de realizar una acción de ataque con fondo. Por el contrario, los esgrimistas noveles, con escasa capacidad de producción de fuerzas horizontales, deberían mantener el CM en una posición equidistante de los dos apoyos.

## Referencias

- Arkayev, V.A. (1980). *La esgrima*. La Habana: Orbe.
- Beke, Z., y Polgar, J. (1990). *La metodología de la esgrima con sable*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Brown, I.E., & Loeb, G.E. (2000). Measured and modeled properties of mammalian skeletal muscle. IV. Dynamics of activation and deactivation. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, 21, 33-47.
- Cronin, J.; Mc Nair, P., & Marshall, R. (2003). Lunge performance and its determinants. *Journal of Sports Sciences*, 21, 49-57.
- de Leva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanovs segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, 29(9), 1223-1230.
- Gholipour, M.; Tabrizi, A., & Farahmand, M. (2008). Kinematics Analysis of Lunge Fencing Using Stereophotogrametry. *World Journal of Sport Sciences*, 1 (1), 32-37.
- Gresham-Fiegel, C.N.; House, P.D., & Zupan, M.F. (2013). The effect of nonleading foot placement on power and velocity in the fencing lunge. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(1), 57-63.
- Gutiérrez-Dávila, M.; Rojas, F.J.; Antonio, R., & Navarro, E. (2013). Response timing in the lunge and target in elite versus médium-level fencers. *European Journal of Sports Science*, 13, 364-371 .
- Gutiérrez-Dávila, M.; Dapena, J., & Campos, J. (2006). The effect of muscular pre-tensing on the sprint start. *Journal of Applied Biomechanics*, 22(3), 194-201.
- Neptune, R.R., & Kautz, S.A. (2001). Muscle activation and deactivation dynamics. The governing properties in fast cyclical human movement performance?. *Exercise and Sport Science Reviews*, 29, 76-81.

Stewart, S.L., & Kopetka, B. (2005). The kinematic determinants of speed in the fencing lunge. *Journal of Sports Sciences*, 23 (2), 105.

Szabó, L. (1977). *Fencing and the Master*. Budapest: Corvina.

Tirioux, M.P. (1970). *Esgrime modern aux trios armes* (pp.18-19). Paris: Amphora.

Zatsiorsky, V.M., & Seluyanov, N.V. (1983). The mass and inertial characteristics of the main segments of the human body. In Matsui, H. & K. Kobayashi (Eds.), *Biomechanics VIII-B* (pp. 1152-1159). Champaign, IL: Human Kinetics.