

VALIDACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA LA MEDICIÓN DEL TIEMPO DE REACCIÓN Y TIEMPO DE MOVIMIENTO EN ESGRIMA

Redondo, J. C. ¹; Alonso, C. J. ²; Sedano, S. ³; De Benito, A. M. ¹

1. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de León
2. Profesor de Educación Física en Enseñanza Secundaria I.E.S. Parquesol de Valladolid
3. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad Europea Miguel de Cervantes

RESUMEN

La tecnología actual vinculada a la utilización de fotocélulas presenta grandes prestaciones para la medición del tiempo de reacción (TR) y el tiempo de movimiento (TM) en acciones deportivas. Este trabajo ha buscado validar un protocolo para la medición de estos tiempos, realizando en esta caso una acción simple de esgrima: el fondo. Para ello, 6 tiradores experimentados participaron voluntariamente en el estudio, realizando un total de 24 acciones. El TR y TM fueron medidos a través un sistema telemétrico de cronometraje con fotocélulas láser (DSD Laser System[®], León, España) con tres periféricos y el protocolo fue validado mediante el sistema Vicon, de captura de movimiento, con 7 cámaras a 100 Hz. Se comparó la relación entre los dos sistemas mediante el análisis de la varianza ANOVA de medidas repetidas ($p > 0.01$) y el grado de concordancia con el coeficiente de correlación intraclass (ICC) para el TR y el TM (0.987 y 0.988 respectivamente). En consecuencia, se observa una asociación significativa entre ambos sistemas de medición.

Palabras clave: esgrima, tiempo de reacción, tiempo de movimiento, fotocélulas, análisis 3D

ABSTRACT

In sport actions current technology related to the use of photo-cells presents great benefits for the measurement of the reaction time (TR) and movement time (TM). The current study tries to validate a measuring system of this times thorough a basic fencing's action: lunge. Six voluntary experimented fencers took part in the study doing 24 lunges trials (4 attempts each fencer). TR and TM were measured with a DSD Laser System[®] with three peripherals and the measuring protocol was validated using a 3D video system with a motion capture system (Vicon, Oxford, UK) with 7 cameras at 100 Hz. Validity was determined $p > 0.001$ (repeated measure ANOVA). To know the degree of relatedness of the results offered by DSD Laser System[®] in comparison with results registered in the Vicon, intraclass correlation coefficient (ICC) was calculated for TR and TM (0.987 y 0.988). Therefore, the results registered by DSD Laser System[®] could be considered reliable using this protocol.

Key Words: fencing, reaction time, movement time, photo-cells, 3D analysis

Correspondencia:

Juan Carlos Redondo Castán

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de León

Campus de Vegazana s/n, 24071 - León (Castilla y León)

jc.castan@unileon.es

Fecha de recepción: 29/05/2013

Fecha de aceptación: 17/06/2013

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con las consideraciones de Sheppard y Young (2006) la esgrima puede ser calificada como un deporte de agilidad en el que existen movimientos corporales con cambios de dirección, rápidas aceleraciones o deceleraciones, con incertidumbre espacial y temporal y en el que las tareas que se realizan son abiertas y con implicación física y cognitiva. Y basándonos en los componentes universales de la agilidad descritos por Young, James y Montgomery (2002), en esgrima nos debemos centrar en el tiempo de movimiento y el tiempo de reacción como variables importantes en el rendimiento (Douvis, Tsigganos, Smirniotou y Zacharogiannis, 2011; Roi y Bianchedi, 2008).

Son numerosos los autores (Roca, 1983; Williams y Walmsley, 2000a) que han definido el tiempo de reacción (TR) como aquel que transcurre entre la presentación del estímulo y el inicio de la respuesta, aunque otros como Devienne, Audiffren, Ripoll y Stein (2000) lo denominan «tiempo premotor». Y en cuanto al tiempo de movimiento (TM) hay también bastante unanimidad al definirlo como el periodo de tiempo que transcurre desde que se inicia la respuesta hasta que se finaliza (Harmenberg, Ceci, Barvestad, Hjerpe y Nyström, 1991; Roca, 1983), aunque autores como Devienne y col. (2000) lo denominan «tiempo motor» y lo definen como el tiempo que transcurre desde el final del tiempo premotor a la finalización de la tarea. Además, existe un tercer término, tiempo de respuesta (TTR), que es la unión de los dos tiempos anteriores y que los autores ya citados definen de forma clara, aunque con terminología variada, como el tiempo que transcurre desde la aparición del estímulo a la finalización de la respuesta correspondiente que Devienne y col. (2000) denomina «tiempo de respuesta», Williams y Walmsley (2000a) «tiempo total de respuesta» y Roca (1983) «respuesta de reacción».

Para la medición de estos tiempo, los estudios actuales tratan de colocar al sujeto en una situación lo más ecológica posible y que tanto el estímulo como la respuesta sean lo más parecidas posibles a lo que posteriormente realiza en el campo de juego para después poder sacar conclusiones específicas del deporte como Sheppard y Young (2006) al afirmar que la falta de una relación significativa entre la flexibilidad y el rendimiento en el salto, en su estudio, indica que factores externos pueden influir en las características funcionales de energía de las extremidades inferiores durante la esgrima. Si en la acción que se estudia, el estímulo no tienen relación con lo que sucede en el campo de juego, es difícil sacar conclusiones de que lo que estamos estudiando tenga algún paralelismo con el rendimiento deportivo (Cox, 2002). Por ello, debemos de huir de acciones inespecíficas como apretar o soltar un botón (Crowe, 2001), y trabajar en la línea de lo trabajos realizados por Devienne y col. (2000) sobre ataques de esgrima a la vez que estudian la influencia de contracciones

isométricas repetidas en el desempeño cognitivo en los que no observaron deterioro en el tiempo motor después de este tipo de contracción o los de Mori, Ohtani e Imanaka (2002) con ataques de kárate, estudiando las habilidades anticipatorias en ese deporte, e intentar detallar con rigor la metodología utilizada en el protocolo para que no se vea afectada la medida obtenida (Cronin, Green, Levin, Brughelli, y Frost, 2007).

Además para la medición de estos factores de rendimiento (TR y TM), debemos buscar test utilicen tecnología que sea accesible para las entidades deportivas. Por ello, creemos que una tecnología actual y apropiada para la medición de TR y TM en acciones esgrima está vinculada a la utilización de fotocélulas con el DSD Laser System® (DSD Laser System, León, España) que salva los principales inconvenientes de los sistemas de fotocélulas que emplean haces de luz infrarroja. Con este sistema se elimina la utilización cronómetros que reciben por cableado la señal de las barreras y que no pueden realizar cálculos, gráficos o almacenar los registros recibidos, no existe limitación de la distancia de separación entre los módulos emisor y receptor de luz infrarroja, que en ocasiones entorpece o interfiere en la ejecución del deportista, y aporta precisión en la detección de los cortes o paso de los objetos/sujetos a través de la barrera, como consecuencia de su alta frecuencia de muestreo (DSD, S.L., 2004).

Por ello, el objeto del presente trabajo es desarrollar y validar un protocolo de medición de TR y TM específico de esgrima, con un sistema como el de fotocélulas laser que se pueda realizar en cualquier sala de esgrima o lugar de competición, que no incurra en los errores metodológicos típicos en la utilización de las fotocélulas de luz infrarroja y cuya complejidad y coste es sea inferior a otros sistemas complejos que empleados en laboratorios de investigación.

MÉTODO

Participantes

Para la realización de este estudio se empleó una muestra de 6 tiradores experimentados, 3 varones y 3 mujeres, (edad media 19.6 ± 4.2 años; peso 70.6 ± 8.4 kg; talla 174.6 ± 6.7 cm y experiencia en esgrima 7.4 ± 3.2 años) todos ellos entre los 12 primeros en sus respectivos rankings nacionales. Estos tiradores participaron de manera voluntaria en el estudio y fueron previamente informados de los objetivos y métodos del mismo, aprobados por el Comité de Ética de la Universidad de León donde se llevó a cabo el estudio, prestando su consentimiento por escrito antes de llevar a cabo el estudio. Cada tirador realizó en total 4 tocos de forma alterna, de manera que entre acción y acción se asegurase un descanso de 90 s.

Instrumentos

Para la recogida de los datos del test se utilizaron de forma simultánea (Figura 1) un sistema telemétrico de cronometraje con fotocélulas láser (DSD Laser System, León, España) y un sistema de captura de movimiento (Vicon Peak, Oxford, UK).



FIGURA 1: Sistema telemétrico de cronometraje con fotocélulas láser (DSD Laser System, León, España) y sistema Vicon de análisis 3D

El sistema telemétrico de cronometraje con fotocélulas láser constaba de tres periféricos (Figura 2) utilizando el software SportSPEED-v2.0, validado para una precisión de 500 Hz (García-López y col., 2002):

- Una barrera de láser (periférico «A»), que realiza la función de detector de paso, que envía la señal por telemetría al módulo central.
- Una varilla metálica (periférico «B»), que gira en el plano horizontal, que al entrar en contacto con la cazoleta del arma envía la señal por cable al módulo central.
- Y la punta del arma del tirador (periférico «C»), que funciona como un pulsador, conectado por cable al módulo central.

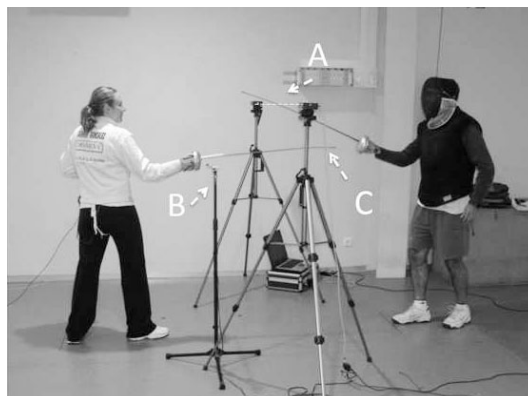


FIGURA 2: Materiales empleados

Y el sistema de captura de movimiento, Vicon MX13, con 7 cámaras grabando a 100 fotogramas por segundo colocadas alrededor del tirador. En cada tirador (TIR_1), se colocaron 35 marcadores reflectantes de 12,5 mm, según el modelo Plug-In Gait (Plug-In Gate Market Set, Vicon Peak, Oxford, UK). Tanto el arma del tirador (ESP_1) como la del maestro (ESP_2) se configuraron como un cuerpo flexible con tres marcadores reflectantes de 8 mm (Figura 3) y el pecho del maestro (TAR_1) como un plano rígido determinado por 4 marcadores reflectantes de 12,5 mm. Las coordenadas tridimensionales de los todos marcadores se reconstruyeron con el software Vicon Nexus (Nexus 1.8.3, Vicon, Oxford, UK).

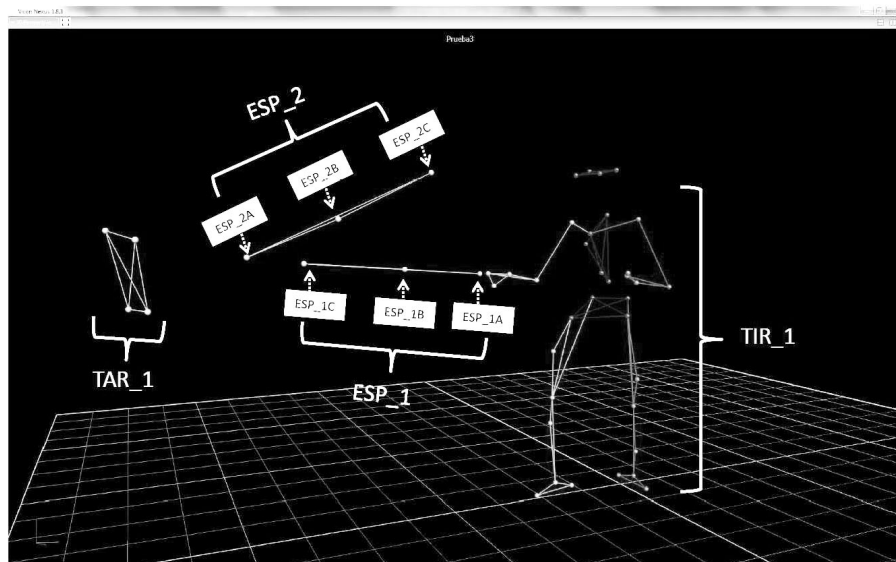


FIGURA 3: Plantilla de análisis del sistema Vicon de análisis 3D, para cuerpo y arma del tirador y el arma y el pecho del maestro

Procedimiento

Las mediciones fueron registradas tras dos sesiones de familiarización con el protocolo de medición y con los objetivos del estudio. Para la realización de la pruebas se exigió a los tiradores que utilizasen la vestimenta específica de esgrima.

Antes de iniciar las mediciones, los tiradores llevaron a cabo un calentamiento estandarizado, dirigido por un Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte que incluía: ejercicios de coordinación dinámica general, ejercicios de movilidad articular, estiramientos y fondos por parejas. Al efectuar las mediciones se solicitó a los tiradores que realizasen los tocados a distintas velocidades, comenzando a baja velocidad y aumentando la intensidad de la acción de manera progresiva hasta alcanzar el máximo individual.

Para medir el TR y el TM la acción será un tocado ante un estímulo visual. Se pretende que el test sea lo más específico posible por ello se opta por iniciar la acción por medio de un estímulo real al que los tiradores están habituados y que no requiere tiempo de aprendizaje. De acuerdo con Williams y Walmsley (2000a) el test, como se representa en la figura 4, consiste en que el tirador ante el «embite» de 8.^a del maestro, estando en guardia de 6.^a (paso de 1 a 2), realiza un fondo a tocar en el pecho del maestro (paso de 3 a 4).

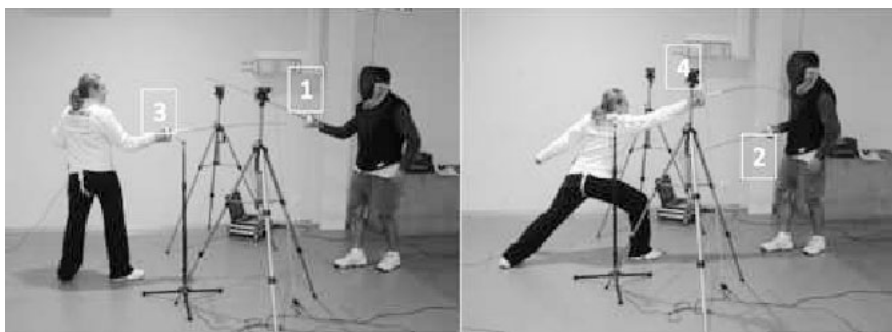


FIGURA 4: Posiciones inicial y final del test

En el sistema telemétrico de cronometraje con fotocélulas láser (Figura 2), según el protocolo establecido, la acción del maestro pone en marcha el sistema cortando la barrera láser (periférico «A»). Así, el tiempo de reacción medido con las fotocélulas (TRF) será el transcurrido desde el inicio de la acción del maestro hasta que el tirador toca la varilla metálica (periférico «B»). Siendo tiempo de movimiento medido con las fotocélulas (TMF) el que va desde que se gira la varilla metálica hasta que la punta del arma (periférico «C») toca el pecho del maestro.

Y en el sistema Vicon (Figura 5), el tiempo de reacción (TRV) será el transcurrido desde que la punta del arma del maestro (ESP_2A) inicia el movimiento (T0) hasta que lo hace la espada del alumno (T1, centrándonos en ESP_1A). Siendo el tiempo de movimiento (TMV) el que media entre el inicio del movimiento de ESP_1A (T1) y la coincidencia en el espacio (T2) entre la punta del arma del alumno (ESP_1C) el plano determinado por el pecho del maestro (TAR_1). Significando que estos tiempos se obtienen a través la variable «distancia desde el origen» que permite exportar el software Vicon Nexus, de cada uno de los marcadores antes mencionados.

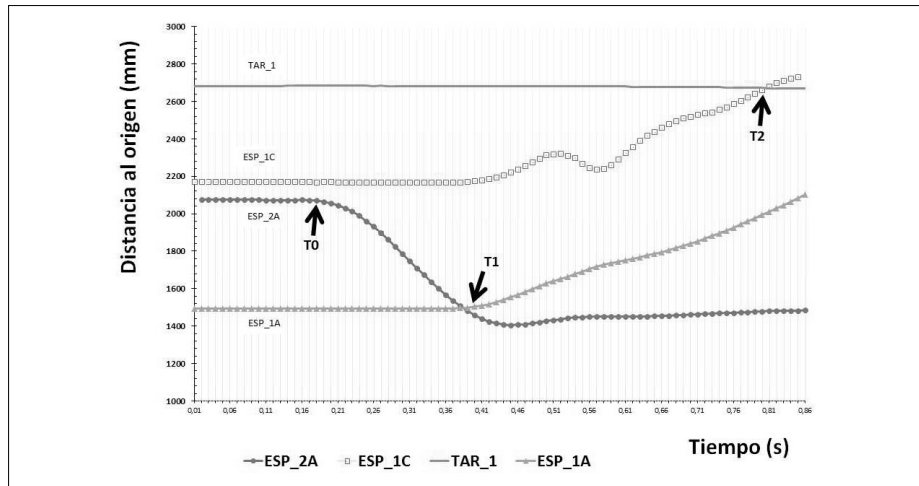


FIGURA 5: Representación gráfica de la distancia desde el origen (mm) en el tiempo (ms) de los marcadores ESP_1A, ESP_1C, ESP_2A y TAR_1, captados con sistema Vicon de análisis 3D a 100 Hz

Además, siguiendo las premisas establecidas por Yiou (2000), para evitar variabilidades no deseadas, previo estudio pormenorizado de las características de la acción que se iba a realizar, se estandarizaron las posiciones, alturas y distancias (Figura 6) de cada uno de los elementos que intervienen en el protocolo.

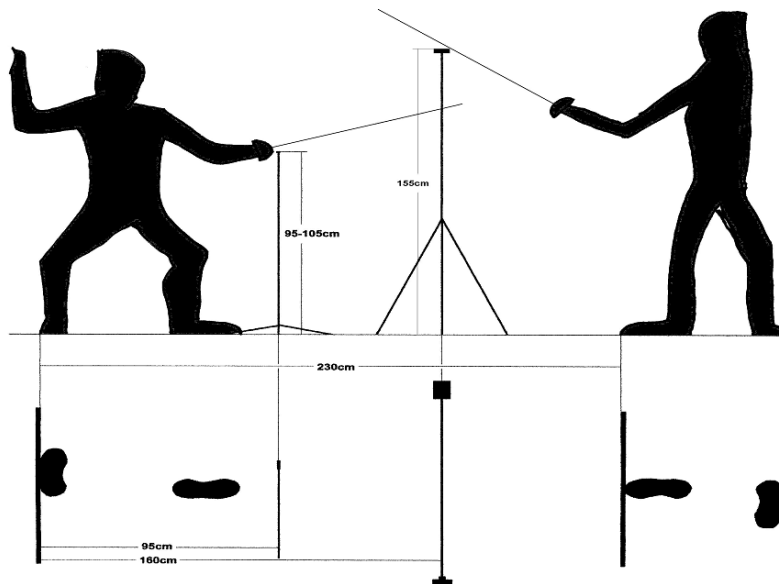


FIGURA 6: Estandarización de posiciones, distancias y alturas, del protocolo de medición de tiempo con fotocélulas laser

Análisis estadístico

Los datos obtenidos en las mediciones se analizaron utilizando el paquete estadístico SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) de cara a la extracción de los parámetros descriptivos media y desviación estándar (Media \pm DS) correspondientes a las distintas variables. La validez del protocolo se realizó comparando las mediciones, tomadas con el sistema telemétrico de cronometraje con fotocélulas láser (DSD Laser System) y las recogidas con sistema de captura de movimiento (sistema Vicon), a través del análisis de la varianza (ANOVA) con medidas repetidas y para cuantificar la concordancia entre las diferentes mediciones se utilizó el coeficiente de correlación intraclase (ICC). Se aplicó el test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para comprobar la distribución normal de las variables analizadas en el estudio y la magnitud del efecto se estimó con el coeficiente de Cohen (ES) (Thomas, Lochbaum, Landers y He, 1997).

RESULTADOS

Para cada una de las variables estudiadas el p-valor de la prueba de K-S fue superior a 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula de distribución normal de la muestra. Como se observa en la tabla 1, el sistema utilizado no influyó ni en la medición del TR (F=0.007 y p>0.001) ni del TM (F=2.620 y p>0.001) ni en la concordancia (ICC) de los tiempos 0.997 (TR) y 0.988 (TM) lo cual, asociado al valor del ES (0.000 y 0.102, respectivamente) nos indica que el grado de relación entre ambos sistema de medición es muy elevado. Es decir, la información recogida en cuanto a TR y TM por el sistema el sistema telemétrico de cronometraje con fotocélulas láser (DSD Laser System), empleado en nuestro protocolo, es tan válida como la recogida por el sistema de captura de movimiento (Vicon).

TABLA 1
Tiempo medio, coeficiente de variación (ICC) y ANOVA del TR y TM en función del sistema de medición utilizado (fotocélulas laser y sistema Vicon)

Variable	Grupo	Z de K-S	Media \pm DS	Grados Libertad	Grupo	ICC	ES
					F		
TR (s)	TRF	0.770	0.288 \pm 0.108	1	0.007	0.987	0.000
	TRV	0.958	0.289 \pm 0.108				
TM (s)	TMF	0.466	0.338 \pm 0.105	1	2.620	0.988	0.102
	TMV	0.752	0.345 \pm 0.106				

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En cuanto al análisis del TR, en nuestro grupo de deportistas que compiten habitualmente, observamos concordancia con los estudios de Galilea (1983) y Martínez (2003) que afirman que los deportistas de mayor nivel tienen un TR más bajo. En este

sentido, nuestros registros son inferiores (0.288 s) a los recogidos por Pérez-Tejero, Soto-Rey y Rojo-González (2011) con medias de 0.315 s, en el TR ante estímulos visuales en hombres entrenados, aunque con demandas perceptivas diferentes, siendo similares, nuestros TR, a los registrados por Williams y Walmsley (2000b), con 0.340 s para el fondo corto en tiradores de elite y claramente inferiores a los 0.559 s que registraba para tiradores noveles.

Y en lo relativo al TM los tiempos recogidos con nuestro protocolo son comparables a los registrados por Tsolakis (2010) con un tiempo medio de 0.200 s, algo inferior al nuestro al estar realizado con tiradores de élite. Destacando que este estudio no permitía discriminar entre TR y TM ya que el sistema de fotocélulas empleado no estaba apoyado por un software flexible y adaptable a distintos periféricos.

En relación al objeto del presente trabajo que era definir un protocolo específico de esgrima para medir el tiempo de reacción y tiempo de movimiento (TR y TM), que fuera fácilmente realizable como test de campo, podemos concluir que el test aquí presentado se puede considerar válido. Estableciendo un protocolo en el que la puesta en práctica es rápida, lo que permite que se pueda pasar a un gran número de tiradores y se puede realizar en cualquier sala de esgrima. Y al cumplir con las especificaciones de Yiuo y Do (2000) nos va a permitir comprobar de forma rápida y directa la eficiencia de un gesto técnico básico de la esgrima.

Una vez definido y validado este test, se abren futuras de líneas de investigación que estudien la evolución del TR y TM a lo largo de una competición de esgrima o dentro de diferentes programas de entrenamientos del tirador.

REFERENCIAS

- Cox, R. H. (2002). *Sport psychology: Concepts and applications* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Cronin, J.B., Green, J.P., Levin, M.E., Brughelli, G.T. y Frost, D.M. (2007). Effect of starting stance on initial spring performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 990-992.
- Crowe, O. (2001). Eyes colour and reaction time to visual stimuli in rugby league players. *Perceptual And Motor Skills*, 93, 455-460.
- Desarrollo de Software Deportivo S.L. (DSD, S.L.). *Sistema telemétrico de cronometraje con fotocélulas láser*. Inventores: Morante Rábago, J. C., de Paz Fernández, M., García López, J. y Redondo Castán, J. C. Int. Cl.7:G07C 1/24. Fecha de solicitud: 23.01.2005. España, patente de invención. ES 2 239 890 A1. 2005-01-10.
- Devienne, M.F., Audiffren, M. Ripoll, H. y Stein J.F. (2000). Local muscular fatigue and attentional processes in a fencing task. *Perceptual And Motor Skills*, 90, 315-318.
- Douvis, A., Tsiganos, G., Smirniotou, A. y Zacharogiannis, E. (2011). Stretching has no effect on flexibility and specific kinetic patterns of fencing performance and Charilaos Tsolakis. *International Journal of Fitness*, 7, 13-20.

- Galilea, B. (1983). Tiempo de reacción y deporte: una aproximación empírica. *Apunts: Educación Física y Deportes*, 20, 119-123.
- García, J., González, J., Rodríguez, J.A., Morante Rábago, J.C. y Villa Vicente, J. G. (2002) *Validación y Aplicación de un nuevo sistema de fotocélulas: DSD Laser System*. Llibre de les Actes del Cinquè Congrés de Ciències de L'Esport, L'Educació Física i la Recreació. INEF Catalunya, Centre de Lleida. Lleida: 583-595.
- Harmenberg, J., Ceci, R., Barvestad, P., Hjerpe, K. y Nyström J. (1991). Comparison of different test of fencing performance. *International Journal of Sport Medicine*, 12, 573-56.
- Martínez, O. (2003). *El tiempo de reacción visual en el kárate*. (Tesis doctoral). INEF Madrid, Universidad Politécnica. Madrid.
- Mori, S., Ohtani, Y. y Imanaka, K. (2002). Reaction times and anticipatory skills of karate athletes. *Human Movement Science*, 21, 213-230.
- Pérez-Tejero, J., Soto-Rey, J. y Rojo-González, J.J. (2011). Estudio del tiempo de reacción ante estímulos sonoros y visuales. *Motricidad. European Journal of Human Movement*. 27, 149-162
- Roca, J. (1983). *Tiempo de reacción y deporte*. Barcelona. Generalitat de Catalunya-INEF.
- Roi, G.S. y Bianchedi, D. (2008). The Science of Fencing Implications for Performance and Injury Prevention. *Sports Medicine*, 38 (6), 466-481.
- Sheppard, J.M. y Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, 2006; 24(9): 919 – 932.
- Thomas, J.R, Lochbaum, M.R, Landers, D.M, y He, C. (1997). Planning significant and meaningful research in exercise science. Estimating sample size. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 68, 33-43.
- Tsolakis, C., Kostaki, E. y Vagenas, G. (2010). Anthropometric, flexibility, strength-power, and sport-specific correlates in elite fencing. *Perceptual and Motor Skills*, 110 (3), 1015-1028.
- Williams, L.R.T. y Walmsley, A. (2000 a). Response amendment in fencing: differences between elite and novice subjects. *Perceptual And Motor Skills*, 91, 131-142.
- Williams, L.R.T. y Walmsley, A. (2000 b). Response timing and muscular coordination in fencing: a comparison of elite and novice fencers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3 (4), 460-475.
- Yiou, E. (2000). In Fencing, Does Intensive Practice Equally Improve the Speed Performance of the Touche when it is Performed Alone and in Combination with the Lunge? *International Journal of Sport Medicine*, 21, 122-126.
- Young, W. B., James, R., y Montgomery, I. (2002). Is muscle power related to running speed with changes of direction? *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43, 282 – 288.