



**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**

**Departamento de Rendimiento Deportivo y Salud**

**Trabajo Final de Máster:**

**CONTROL DE LA FATIGA EN EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA**

**Estrella Ortiz García**

**Elche, 2016**

Alumno:

Estrella Ortiz García

Tutor:

Dr. D. Rafael Sabido Solana

Titulación:

Master Universitario en Rendimiento Deportivo y Salud

Curso Académico:

2015 – 2016



**Trabajo Fin de Máster**

**Título:** Control de la fatiga en el entrenamiento de fuerza

**Nombre del Alumno:** Estrella Ortiz García

**Nombre del Tutor:** Dr. D. Rafael Sabido Solana

**Tipo de TFM:** Trabajo de iniciación a la investigación

**Titulación:** Máster Universitario en Rendimiento Deportivo y Salud

**Centro:** Universidad Miguel Hernández de Elche

**Curso académico:** 2015 - 2016

**Convocatoria:** Julio





## ÍNDICE

INTRODUCCION.....	1
MATERIAL Y MÉTODO.....	4
RESULTADOS.....	10
DISCUSIÓN.....	17
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21





**Resumen:** El objetivo del presente estudio es valorar el estado de fatiga de los deportistas en dos tipos diferentes de entrenamiento de fuerza: hipertrofia y potencia, mediante una nueva técnica de análisis del control postural, la entropía. La muestra estuvo compuesta por 17 jugadores de balonmano del Club Balonmano de Elche. Este análisis de la fatiga se produjo en dos tipos de entrenamiento de fuerza: hipertrofia y potencia. Las variables cuantificadas se registraron previas al desarrollo de la actividad y posterior, se cuantificó la capacidad de salto y una prueba de estabilidad. Los resultados muestran diferencias significativas en la entropía en el eje X y Z. Este trabajo puede ayudar a conocer cómo afecta cada tipo de trabajo a los jugadores y así poder individualizar al máximo el entrenamiento.

**Palabras clave:** Balonmano, fatiga, entropía, CMJ, hipertrofia, potencia.



## INTRODUCCIÓN

La fatiga en el deporte es un fenómeno de gran interés de estudio por su influencia en el rendimiento. Esta ha sido abordada desde diferentes puntos de vista, y a día de hoy, todavía no se conocen todos los mecanismos implicados en ella (Åstrand, Rodahl, Dahl & Strømme, 2010).

La fatiga durante el ejercicio es un reflejo de la incapacidad del organismo o músculo para mantener una intensidad de esfuerzo o la potencia de trabajo que se está efectuando. Es un mecanismo de defensa que refleja la imposibilidad de adaptarse a un esfuerzo, cuyo objetivo es evitar las consecuencias negativas que produce una práctica deportiva desmesurada o excesiva (Barbany, 2006).

Podemos encontrar diferentes tipos de fatiga según sus manifestaciones. Así pues, encontramos la fatiga de origen psíquico, con un componente subjetivo importante, reflejo del estrés intelectual. La fatiga central o neurológica está producida por una sobrecarga neural y de las vías y circuito nervioso, y afecta a estructuras situadas por encima de la placa motora. Y por último la fatiga periférica, originada por la actividad muscular derivada de la práctica física a niveles excesivos de cantidad, duración o velocidad de ejecución, y que afecta a estructuras que están situadas por debajo de la placa motora. Esta última, se divide en cuatro subcategorías, no excluyentes entre sí, según la duración y la afectación general del organismo: Fatiga local, fatiga general, fatiga aguda y fatiga crónica (Barbany, 2006).

Algunos ejemplos de fatiga deportiva son: el insuficiente aporte de oxígeno a la musculatura activa, agotamiento de sustratos energéticos, la disminución del pH intracelular, desequilibrios iónicos y deshidratación, agotamiento de neurotransmisores, etc. Esto puede provocar, entre otras consecuencias, disminución de la fuerza contráctil,

aumento del tiempo de reacción o cambios electromiográficos (Barbany, 2006). Todo esto tiene como consecuencia una pérdida en el rendimiento del deportista o deportistas.

Siguiendo esta línea, los estudios de Baker et al. (1993) y Saugen et al (1997), concluyen que la fatiga a nivel central se recupera tras transcurrir varios minutos de la finalización del ejercicio físico, por lo que podría afectar al rendimiento durante el transcurso del partido, pero no en la realización de los test para medir la fatiga. Lo que proponen es que la disminución en el rendimiento en estos test, sobretodo en deportes donde la carga sea de carácter excéntrico como puede ser el balonmano, está producida por los cambios en las estructuras encargadas de producir y transmitir fuerza o los Long Lasting Changes within muscle, ya que estos tienen una recuperación más lenta.

Si nos centramos en la valoración de la fatiga, como ya hemos comentado anteriormente, en la literatura se están utilizando test de salto, de velocidad de sprint, test con máquinas isocinéticas, lacta sanguíneo y electromiografía (Marín, 2015; Thorlund, Michalsik, Madsen & Aagaard 2008; Ronglan, Raastad & Børjesen, 2005).

La prueba de lactato sanguíneo se realiza antes y después del ejercicio, para ver cómo ha variado la concentración de este. La concentración de lactato depende de diversos factores, como el tipo de ejercicio, la duración de este y otros factores como la humedad, temperatura, dieta, etc. (Marín, 2015; Beneke, Leithäuser & Ochentel, 2011). Por último, la EMG se realiza junto a una prueba de contracción isométrica máxima, para ver los cambios que produce la fatiga en diferentes parámetros de la señal (Thorlund, Michalsik, Madsen & Aagaard, 2008).

En cuanto al salto, se suele realizar un salto máximo en contra movimiento en una plataforma de fuerza, para ver cómo afecta la fatiga a la altura (Marín, 2015; Thorlund, Michalsik, Madsen & Aagaard 2008; Ronglan, Raastad & Børjesen, 2005). Para el test de

velocidad de sprint se utilizan fotocélulas a los 10 y 20 metros de carrera, y, como en el caso anterior, se compara el tiempo sin fatiga y el tiempo con fatiga, para ver cómo afecta esta a la velocidad en el sprint (Ronglan, Raastad & Børghesen, 2005). En la máquina isocinética se realizan tanto pruebas isoinerciales (Ronglan, Raastad & Børghesen, 2005) como pruebas isométricas (Thorlund, Michalsik, Madsen & Aagaard 2008). Los datos que se analizan para ver cómo afecta la fatiga son el pico de torque (Ronglan, Raastad & Børghesen, 2005), la fuerza isométrica máxima, el RFD y la ratio de RFD entre la musculatura del cuádriceps y la isquiosural (Thorlund, Michalsik, Madsen & Aagaard, 2008).

En los últimos años ha aparecido una nueva forma de cuantificación, que intenta analizar una serie de fluctuaciones que se producen en el propio sistema del deportista durante la realización de un gesto. Este sistema denominado entropía intenta determinar cómo es de regular un sistema, cuanto menor sea la entropía de un sistema más predecible será y tendrá una menor complejidad (Algaba del Castillo, De la Cruz-Torres, Naranjo-Orellana, Centeno-Prada & Beas-Jiménez, 2008; Naranjo-Orellana & De La Cruz-Torres, 2013). McGregor et al. (2011) utilizaron este parámetro como un posible predictor de fatiga, en su estudio observaron que aumentaba de manera significativa la entropía en los tres ejes (vertical, antero-posterior y medio-lateral) entre la prueba realizada después del entrenamiento, es decir con fatiga, y la prueba antes (sin fatiga) y por lo tanto la complejidad del control motor.

Por lo general, el control postural se evalúa utilizando enfoques analíticos lineales tradicionales. En los últimos años, ha habido un creciente interés en el uso de técnicas de análisis no lineales derivados del campo de los sistemas dinámicos (McGregor et al., 2011). En particular, el uso de diferentes tipos de entropía, que han proporcionado nuevos conocimientos sobre la naturaleza del control postural. Además, Bollt, Skufca, McGregor

en 2009 desarrollaron un nuevo enfoque para el análisis de complejidad denominada Control Entropy, que paliaba uno de los principales problemas que tiene el uso de estas técnicas, que era el hecho de que no se podían utilizar en acciones dinámicas.

El objetivo del presente estudio es valorar el estado de fatiga de los deportistas en dos tipos diferentes de entrenamiento de fuerza: hipertrofia y potencia, mediante esta nueva técnica de análisis del control postural.



## MATERIAL Y MÉTODO

### *Participantes*

Para este estudio contamos con 14 jugadores de balonmano en categoría juvenil de primer año del club balonmano elche, con una altura y un peso medio de  $1.79\text{m} \pm 0.08$  y  $76.11\text{kg} \pm 12.12$  respectivamente. El equipo compite en la liga regular provincial. Tenían experiencia en el entrenamiento de fuerza, aunque no trabajaban este tipo de entrenamiento desde diciembre de 2015. Realizaban 3-4 sesiones por semana de entrenamiento específico de balonmano, la duración de estas era aproximadamente 90 minutos.

### *Procedimiento evaluación*

Para los tres tipos de entrenamiento (hipertrofia, potencia y fuerza explosiva), se midió tanto la altura de salto, como la entropía.

Antes de la ejecución de los ejercicios de fuerza se realizó un calentamiento específico.

Los test realizados a los jugadores pre y post al entrenamiento específico de fuerza fueron los siguientes:

-Salto en contra movimiento (CMJ): donde las instrucciones eran que saltaran lo máximo posible. Se realizaron tres saltos máximos en posición de jarra (manos cogidas de la cintura durante todo el salto) de los cuales nos quedamos con el máximo. Para ello se utilizó una plataforma de contacto al uso. La altura de salto se calculó mediante la fórmula " $h = g \times ft^2 / 8$ " [(donde "h" es la altura del salto en metros; "g" es la aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m} \times \text{s}^{-2}$ ); "ft" es el tiempo de vuelo en s)] (Bosco et al, 1983). La flexión para realizar el contra movimiento se dejó libre a las preferencias de cada sujeto.

-Prueba de estabilidad: se realizó una prueba de estabilidad de un minuto con el móvil Huawei p8 lite, utilizando una aplicación de acelerometría (accelerometer analyzer), para posteriormente calcular la entropía del sujeto con el software Entropi. La posición que se utilizó fue con ojos cerrados, brazos colgando y un cuarto de sentadilla. A los sujetos se les decía que tenían que mantenerse lo más quietos posibles en un minuto, que es lo que duraba la prueba.

El protocolo de medición consistía en realizar el calentamiento, las pruebas anteriormente explicadas (primero saltos luego entropía), el entrenamiento de fuerza y en terminar se volvían a realizar los test.

#### *Tratamiento de los datos*

Para la altura de salto se redondearon los resultados a dos decimales, redondeando el último a partir del 0.5.

En cambio, para los datos de la aplicación móvil se tomaron 715 datos, el inicio de los cuales lo marcaba la flexión de rodillas para realizar el cuarto de sentadilla, que se podía observar en el eje Y.

#### *Procedimiento entrenamiento*

Antes de empezar con el entrenamiento se realizó una adaptación anatómica y recordatorio de los movimientos utilizados, además de la valoración del RM de manera directa para sentadilla y press banca. Los RM de los ejercicios restantes se obtuvieron de forma indirecta utilizando los anteriores.

En la tabla 1 y 2 se presenta el entrenamiento que se realizó durante el periodo de intervención y en la tabla 3 y 4 sesiones tipo de hipertrofia y potencia respectivamente.

Tabla 1. Descripción del programa de entrenamiento de hipertrofia (semana 1, 2, 3) y potencia (semana 4, 5, 6).

Semana	Sesión de entrenamiento	Series x Rep (% 1RM)	Tiempo de Recuperación (min)
Semana 1	1	4x10 (60-65%)	1-2
	2	4x10 (60-65%)	1-2
Semana 2	3	4x10 (60-65%)	1-2
	4	4x10 (60-65%)	1-2
Semana 3	5	4x10 (60-65%)	1-2
	6	4x10 (60-65%)	1-2
Semana 4	7	4x8 (30-60%)	1-2
	8	4x8 (30-60%)	2-3
Semana 5	9	4x8 (30-60%)	2-3
	10	4x8 (30-60%)	2-3
Semana 6	11	4x8 (30-60%)	2-3
	12	4x8 (30-60%)	2-3

Tabla 2. *Ejercicios de entrenamiento de las dos fases de la periodización del entrenamiento de fuerza.*

	Tren superior	Tren inferior
Hipertrofia (4x10 al 65% 1RM)	Jalón Press Banca	Media sentadilla Peso muerto
Potencia (4x8 al 30-60% 1RM)	Jalón Press Banca lanzado Push Press	Sentadilla con salto Tirones

Tabla 3. *Sesión tipo hipertrofia.*

PRESS BANCA (Kg)	PESO MUERTO (Kg)	SENTADILLA (Kg)	DESCANSO
40	50	75	1'30"
40	50	85	1'30"
40	50	75	1'30"
40	50	75	1'30"
45	50	80	1'30"
40	50	75	1'30"
55	50	90	1'30"
55	50	90	1'30"
55	50	90	1'30"
55	50	90	1'30"
45	50	75	1'30"
50	50	75	1'30"
45	50	75	1'30"
35	50	75	1'30"
4x10	4x10	4x12	Series y repeticiones

Tabla 4. Sesión tipo potencia.

PRESS BANCA LANZADO (Kg)	TIRONES (Kg)	SENTADILLA CON SALTO (Kg)	DESCANSOS
30	40	50	2'
30	40	50	2'
30	40	50	2'
30	40	50	2'
35	40	65	2'
35	40	65	2'
35	40	65	2'
35	40	65	2'
30	40	60	2'
30	40	60	2'
35	40	55	2'
30	40	55	2'
35	40	55	2'
30	40	55	2'
4x8	4x8	4x8	Series y repeticiones

### Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico de los datos con el software IBM SPSS Statistics 20 y el programa Microsoft Excel 2010. Se llevó a cabo un análisis de los descriptivos básicos (Media y Desviación Típica), una prueba de normalidad, una prueba T para medidas relacionadas entre las mediciones pre-pos y un análisis de correlación de Pearson, además del cálculo del tamaño del efecto.

## RESULTADOS

*Diferencias Pre y Post y tamaño del efecto*

Para los análisis realizados, tanto para el entrenamiento de hipertrofia como para el entrenamiento de potencia, encontramos diferencias significativas en la variable entropía en los ejes X y Z para el entrenamiento de hipertrofia.

Si nos centramos en el tamaño del efecto, este es moderado para la variable SD\_Z tanto en el entrenamiento de potencia como en el de hipertrofia. Pero solo lo es la variable salto en el caso del entrenamiento de hipertrofia. Por último, encontramos un tamaño del efecto pequeño del tamaño del efecto para la variable ENT\_Y para los dos tipos de entrenamiento. Además, en el caso de hipertrofia también aparece la variable SD\_X y en el de potencia ENT\_X. Los demás tamaños del efecto son triviales.

En la tabla 5 se exponen los valores obtenidos para cada una de las variables estudiadas para el entrenamiento de hipertrofia y en la tabla 6 para el entrenamiento de potencia.

Tabla 5. Resultados prueba T para pruebas relacionadas y el tamaño del efecto hipertrofia.

	<b>M Pre</b>	<b>SD Pre</b>	<b>M Post</b>	<b>SD Post</b>	<b>Sig.</b>	<b>Tamaño del efecto</b>
<b>SD_X</b>	,03443343	,016648805	,03550807	,012302510	,840	-0,63087441
<b>SD_Y</b>	,03444200	,012784260	,04125143	,009486617	,096	-1,11398767
<b>SD_Z</b>	,05711286	,032726557	,04511057	,013440270	,167	-0,24517486
<b>ENT_X</b>	,12657121	,028766086	,14775750	,030482173	,049*	-1,342763
<b>ENT_Y</b>	,24096929	,058280474	,25407457	,023189568	,378	-0,78904231

<b>ENT_Z</b>	,06352136	,035084745	,08014021	,028157854	,014*	-1,04970981
<b>SALTO</b>	,3643	,03694	,3536	,04236	,101	-0,30995863

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Tabla 6. Resultados prueba T para muestras relacionadas y el tamaño del efecto potencia.

	<b>M Pre</b>	<b>SD Pre</b>	<b>M Post</b>	<b>SD Post</b>	<b>Sig.</b>	<b>Tamaño del efecto</b>
<b>SD_X</b>	,03238114	,012517658	,03697436	,008824412	,122	-0,9357
<b>SD_Y</b>	,04252636	,015129572	,04955500	,011596936	,138	-1,03985543
<b>SD_Z</b>	,06994300	,042462776	,05333043	,018958125	,217	-0,22495612
<b>ENT_X</b>	,15288671	,039561672	,15184179	,026410049	,919	-0,54471698
<b>ENT_Y</b>	,21677414	,058211093	,24304964	,035579901	,111	-1,02564449
<b>ENT_Z</b>	,06029971	,035153010	,07079414	,026542528	,369	-0,8643599
<b>SALTO</b>	,3814	,06011	,4007	,04497	,123	-0,88772767

### Correlaciones

En la tabla 7 podemos observar los valores de correlación entre cada una de las variables estudiadas en el entrenamiento de hipertrofia. Vemos que existe correlación negativa entre el valor de la desviación típica en el eje X e Y y su respectivo valor de entropía en ese mismo eje (ej. SD\_Z y ENT\_Z). Además, existe una correlación positiva adicional entre SD\_x y SD\_Z y negativa con ENT\_X.

Por último, existe una correlación casi significativa positiva entre los saltos y SD\_x, SD\_Z y negativa con ENT\_X.

Tabla 7. *Correlaciones entrenamiento hipertrofia.*

		difSD_x _H	difSD_y _H	difSD_z _H	difENT_x _H	difENT_y _H	difENT_z _H	difSALTO _H
difSD_x_H	Correlación de Pearson	1	,352	,707**	-,609*	-,255	-,348	,437
	Sig. (bilateral)		,218	,005	,021	,378	,223	,118
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	,005	,001	,006	-,006	-,003	-,002	,003
	Covarianza	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	14	14	14	14	14	14	14
difSD_y_H	Correlación de Pearson	,352	1	,180	,360	-,568*	,076	
	Sig. (bilateral)	,218		,537	,206	,034	,796	
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	,001	,003	,001	,002	-,006	,000	
	Covarianza	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	14	14	14	14	14	14	
difSD_z_H	Correlación de Pearson	,707**	,180	1	-,611*	-,352		
	Sig. (bilateral)	,005	,537		,020	,217		
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	,006	,001	,012	-,009	-,008		
	Covarianza	,000	,000	,001	-,001	-,001		
	N	14	14	14	14	14		
difENT_x_H	Correlación de Pearson	-,609*	,360	-,611*	1			
	Sig. (bilateral)	,021	,206	,020				
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	-,006	,002	-,009	,017			

	Covarianza	,000	,000	-,001	,001
	N	14	14	14	14
difEN T_y_H	Correlación de Pearson	-,255	-,568*	-,352	
	Sig. (bilateral)	,378	,034	,217	
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	-,003	-,006	-,008	
	Covarianza	,000	,000	-,001	
	N	14	14	14	
difEN T_z_H	Correlación de Pearson	-,348	,076		
	Sig. (bilateral)	,223	,796		
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	-,002	,000		
	Covarianza	,000	,000		
	N	14	14		
difSAL TO_H	Correlación de Pearson	,437			
	Sig. (bilateral)	,118			
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	,003			
	Covarianza	,000			
	N	14			

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

\*\*.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Para el entrenamiento de potencia solo se encuentran correlaciones positivas entre SD\_X, SD\_Y y SD\_Z (Tabla 8).

Tabla 8. Correlaciones entrenamiento potencia.

		difSD_x _POT	difSD_ y_POT	difSD_ z_POT	difENT_ x_POT	difENT_ y_POT	difENT_ z_POT	Dif SALTO_ POT
difSD_ x_POT	Correlación de Pearson	1	,550*	,684**	-,446	-,127	,196	,058
	Sig. (bilateral)		,041	,007	,110	,665	,501	,843
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	,001	,001	,004	-,002	-,001	,001	,000
	Covarianza	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	14	14	14	14	14	14	14
difSD_ y_POT	Correlación de Pearson	,550*	1	,750**	-,101	-,441	-,184	
	Sig. (bilateral)	,041		,002	,730	,114	,528	
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	,001	,004	,008	-,001	-,005	-,002	
	Covarianza	,000	,000	,001	,000	,000	,000	
	N	14	14	14	14	14	14	
difSD_ z_POT	Correlación de Pearson	,684**	,750**	1	-,120	-,337		
	Sig. (bilateral)	,007	,002		,683	,239		
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	,004	,008	,030	-,003	-,012		
	Covarianza	,000	,001	,002	,000	-,001		
	N	14	14	14	14	14		
difENT _x_PO T	Correlación de Pearson	-,446	-,101	-,120	1			
	Sig. (bilateral)	,110	,730	,683				
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	-,002	-,001	-,003	,019			
	Covarianza	,000	,000	,000	,001			
	N	14	14	14	14			
difENT	Correlación de	-,127	-,441	-,337				

_y_PO	Pearson			
T	Sig. (bilateral)	,665	,114	,239
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	-,001	-,005	-,012
	Covarianza	,000	,000	-,001
	N	14	14	14
difENT	Correlación de Pearson	,196	-,184	
_z_PO	Pearson			
T	Sig. (bilateral)	,501	,528	
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	,001	-,002	
	Covarianza	,000	,000	
	N	14	14	
difSAL	Correlación de Pearson	,058		
TO_PO	Pearson			
T	Sig. (bilateral)	,843		
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	,000		
	Covarianza	,000		
	N	14		

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

\*\*.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).



## DISCUSIÓN

En este estudio hemos querido analizar el efecto que tiene el entrenamiento de hipertrofia y de potencia en dos variables distintas como son la capacidad de salto y la entropía, y si existe relación entre los cambios que se producen en estas.

Si nos centramos en la capacidad de salto, existen numerosos estudios que observan como se ve afectada en diferentes situaciones deportivas, sobrecargas excéntricas (Marín 2015), partidos simulados (Marín 2015;Ronglan, Raastad & Børghesen 2005), entrenamientos o partidos oficiales (Ronglan, Raastad & Børghesen 2005). Todas estas situaciones, suponen un estrés para el organismo, de mayor o menor medida, produciendo diferentes niveles de fatiga. Esto se ve reflejado en la capacidad de salto, que disminuye con el aumento de la fatiga (Marín 2015;Ronglan, Raastad & Børghesen 2005;Thorlund, Michalsik, Madsen & Aagaard 2008). En nuestro caso, hemos utilizado dos tipos de entrenamiento con dos efectos distintos sobre el organismo.

En primer lugar, el trabajo de hipertrofia se caracteriza por tener un volumen y densidad elevados e intensidades moderadas o altas. El objetivo de este tipo de trabajo es producir el mayor grado de fatiga y daño muscular para que posteriormente las fibras musculares se adapten y aumenten su tamaño, aumentando así los niveles de fuerza del sujeto (Badillo & Ayestarán 2002). Como podemos observar en la tabla 5, no encontramos diferencias significativas para la capacidad de salto entre el Pre y el Post. Esto puede deberse a que la carga de entrenamiento se adaptó para que los sujetos realizaran de forma correcta y segura la técnica de los ejercicios utilizados, y a muchos de ellos no les llegó a producir unos niveles de fatiga suficientes como para disminuir el rendimiento en la prueba.

En segundo lugar, el objetivo del trabajo de potencia, es producir la mayor cantidad de fuerza en el menor tiempo posible (Badillo & Serna 2002). Esto produce una activación

muscular, y como consecuencia la capacidad de salto aumenta. En nuestro caso, se puede deber al caso contrario que el anterior, que a los sujetos les produjera una fatiga excesiva como para mejorar el rendimiento pero no lo suficiente como para empeorarlo. Puede tener su justificación en que no todos los jugadores acudían de manera regular a los entrenamientos. También se puede deber a que los tiempos de recuperación no fueron los correctos o no se realizaron de manera pasiva. Al no ser una situación de laboratorio, se tenía que optimizar el tiempo al máximo, y para que los jugadores estuviesen el mayor tiempo posible en pista realizaban un ejercicio de tren inferior y en el descanso de este uno de tren superior.

En cuanto a la entropía, observamos que la tendencia general es a aumentar tanto en el trabajo de hipertrofia como en el de potencia para los tres ejes, aunque aumenta de manera significativa en el entrenamiento de hipertrofia en el eje X y Z (Figura 1 y 2). Esto coincide con los resultados obtenidos por McGregor et al. (2011), donde encontraban un aumento de la entropía después de realizar un entrenamiento que producía fatiga en la musculatura del tren inferior.

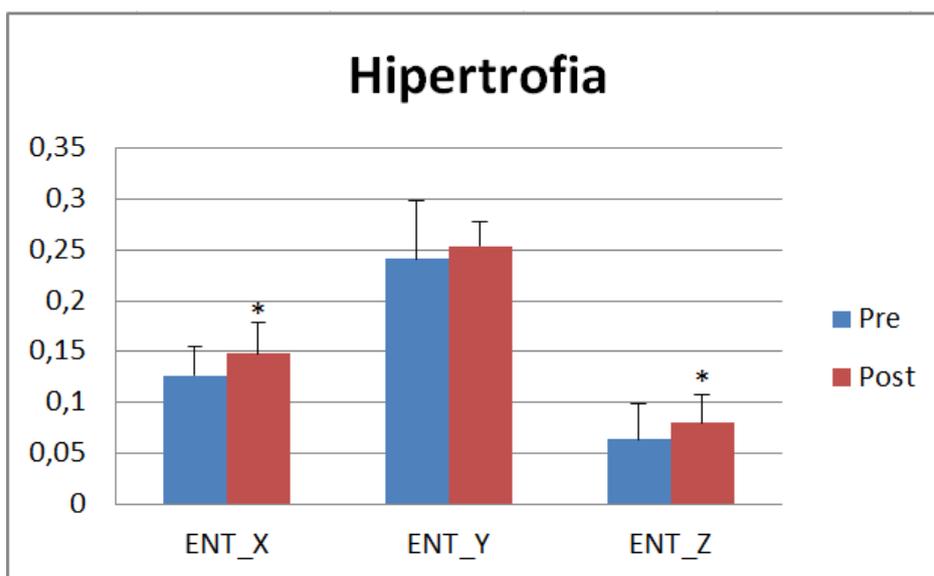


Figura 1. Entropía Pre y Post para los tres ejes en el entrenamiento de hipertrofia.

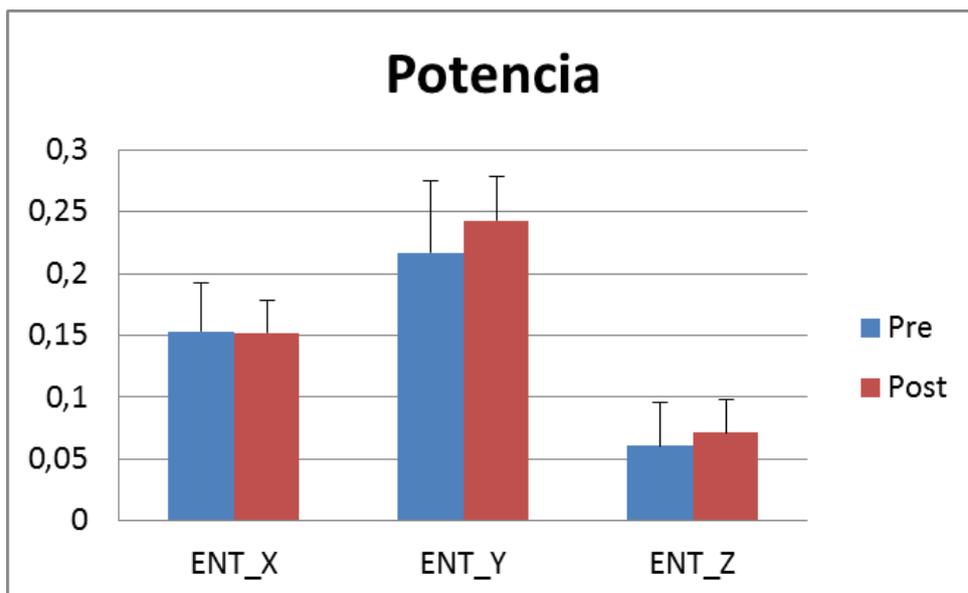


Figura 2. Entropía Pre y Post para los tres ejes en el entrenamiento de potencia.

Estos resultados nos indican que el sujeto presenta una oscilación más homogénea, y el sistema es más complejo y menos predecible en el eje horizontal y vertical en el caso del entrenamiento de hipertrofia, y en el antero-posterior en el de potencia, aunque este último no obtiene resultados significativos.

Para finalizar, si analizamos las correlaciones en el trabajo de hipertrofia podemos comprobar que existe una correlación positiva entre  $SD_X$  y  $SD_Z$  y negativa con  $ENT_X$ . Esto quiere decir que si aumenta  $SD_X$  o  $SD_Z$  aumenta también la otra variable y que disminuye la entropía en el eje x, y por el contrario, si alguna de estas dos variables disminuye, la otra también lo haría y aumentaría la entropía. Por otro lado, también existe una correlación positiva entre la desviación típica en el eje Y y la entropía en este mismo eje, por lo que si aumenta la desviación típica en el eje Y disminuiría la entropía en este eje y viceversa. Estos resultados coinciden con los hallazgos encontrados en el estudio de McGregor et al. (2011), que observaron que cuando existe fatiga en un organismo, este se vuelve menos variable y por lo tanto su entropía aumenta. Los mecanismos por los cuales se da este fenómeno no están todavía claros y precisan de mayor volumen de investigación.

En cuanto al salto, no existe correlación significativa con ninguna variable, pero es casi significativa con  $SD_x$ ,  $SD_Z$ , que al aumentar la capacidad de salto aumentarían las dos respectivamente y con  $ENT_X$ , que disminuiría si la capacidad de salto aumenta.

Por último, en el entrenamiento de potencia existen correlaciones positivas entre las desviaciones típicas de cada eje. Esto quiere decir que si aumenta la desviación típica en el eje X, Y o Z, aumentarían las otras dos respectivamente. En este caso no se han podido establecer correlaciones de ningún tipo entre las distintas desviaciones típicas y la entropía en ninguno de los ejes ni con la capacidad de salto.

En este estudio hemos intentado observar cómo afecta la fatiga producida por el entrenamiento de hipertrofia y de potencia a catorce jugadores de balonmano de categoría juvenil mediante una nueva técnica de análisis del movimiento como es la entropía, y relacionarla con una variable mecánica como la capacidad de salto. En este estudio no hemos podido observar correlaciones significativas entre estas dos variables. Estos resultados no son definitivos, ya que a lo largo del trabajo hemos ido comentado los diversos errores metodológicos que hemos podido tener. El uso de la entropía es un sistema poco estudiado y que necesita de un mayor número de investigaciones relacionadas con la fatiga para que pueda ser utilizado como tal.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Badillo, J. J. G., & Ayestarán, E. G. (2002). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: Aplicación al alto rendimiento deportivo* (Vol. 302). Inde.
- Badillo, J. J. G., & Serna, J. R. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza* (Vol. 308). Inde.
- Barbany, J. R. (2002). *Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento* (Vol. 24). Editorial Paidotribo.
- Billat, V. (2002). *Fisiología y metodología del entrenamiento. De la teoría a la práctica* (Vol. 24). Editorial Paidotribo.
- Bollt EM, Skufca JD, McGregor SJ: Control Entropy: A Complexity Measure for Nonstationary Signals. *Mathematical Biosciences and Engineering* 2009, 6:1-25.
- McGregor, S. J., Armstrong, W. J., Yaggie, J. A., Bollt, E. M., Parshad, R., Bailey, J. J., ... & Kelly, S. R. (2011). Lower extremity fatigue increases complexity of postural control during a single-legged stance. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 8(1), 1.
- Muñoz, J. M. (2015). Análisis y cuantificación de la fatiga en jóvenes jugadores masculinos de balonmano.
- Ronglan, L. T., Raastad, T., & Børghesen, A. (2006). Neuromuscular fatigue and recovery in elite female handball players. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 16(4), 267-273.

Taylor KL, Hopkins WG, Chapman DW, Cronin JB, Newton MJ, Cormack SJ, and Gill ND. (In review) Monitoring neuromuscular fatigue using vertical jumps. *International Journal of Sports Medicine*.

Thorlund, J. B., Michalsik, L. B., Madsen, K., & Aagaard, P. (2008). Acute fatigue-induced changes in muscle mechanical properties and neuromuscular activity in elite handball players following a handball match. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 18(4), 462-472.



