

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ

FACULTAD DE CIENCIAS SOCIO SANITARIAS

TRABAJO FIN DE MÁSTER RENDIMIENTO DEPORTIVO Y SALUD



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

**ESTUDIO DE LA FATIGA TRAS ENTRENAMIENTOS DE FUERZA CON
DISTINTO OBJETIVO EN JUGADORES DE BALONMANO**

Línea profesional

AUTOR: GABRIEL AROCAS TORRECILLAS

Nº expediente: 801

TUTOR/A: RAFAEL SABIDO SOLANA

Departamento y Área: Facultad de Ciencias Sociosanitarias. Máster Universitario en Rendimiento Deportivo y Salud.

Curso académico: 2018-2019

Convocatoria de JUNIO

ÍNDICE

1. Introducción	3-6
2. Material y método	7-8
2.1. Participantes	7
2.2. Instrumental y procedimiento de medida	7
2.3. Diseño de intervención	8
3. Referencias bibliográficas	9-11



RESUMEN

El propósito de este estudio fue examinar el efecto de determinados entrenamientos de fuerza enfocados al tren inferior sobre la capacidad de recuperación basándonos en la HRV (rMSSD), en la saltabilidad (CMJ) y en la potencia media propulsiva (PMP) desarrollada en jugadores de balonmano. Los participantes fueron 3 jugadores senior de balonmano (28.1 ± 7.37 años; 183 ± 10.15 cm; 89.17 ± 8.31 Kg; 159.33 ± 18.15 Kg de RM en back squat). Se establecieron dos cargas de entrenamiento de la fuerza de intensidad diferente, una de carácter metabólico (fuerza hipertrofia) y una de carácter neural (fuerza máxima) en cada uno de los jugadores.

Palabras clave: balonmano, HRV, control autonómico, entrenamiento de la fuerza, fuerza hipertrofia, fuerza máxima, fatiga, recuperación, saltabilidad, velocidad de ejecución y potencia.

1. INTRODUCCIÓN

El balonmano es un deporte de equipo que se juega en una pista de 40x20m, en el cual se enfrentan 7 contra 7 jugadores en dos períodos de 30 minutos, donde no existe limitación en cuanto al número de cambios a realizar durante el partido. Esta libertad en el reglamento respecto a los cambios hace que este deporte tenga una intensidad muy elevada. Se trata, por tanto, de un deporte primordialmente de corte intermitente donde se producen esfuerzos de corta duración, pero muy explosivos a lo largo del encuentro, utilizando en la mayoría de estas acciones determinantes los depósitos de ATP y fosfocreatina (Herrero, 2003).

Los jugadores de balonmano deben poseer altos valores de fuerza máxima ya que se trata de un deporte de mucho contacto y también deben estar bien dotados de altas prestaciones de fuerza explosiva y potencia junto a una gran capacidad de recuperación mediante fosforilación oxidativa en los períodos de menor intensidad donde estos puedan recuperar (Karcher & Buchheit, 2014). En este deporte destacan acciones como cambios de velocidad y dirección, lanzamientos, saltos, correr a máxima velocidad, contacto y choques entre los jugadores (Marques, Van Den Tillaar, Vescovi & González-Badillo, 2007).

Las respuestas del sistema ante el entrenamiento son individuales de cada sujeto, produciendo distintas adaptaciones en función de las características del deportista (Buchheit et al., 2010; Hautala et al., 2003). Centrándonos en el principio de individualización del entrenamiento de los deportistas, numerosos autores han estudiado el equilibrio del sistema nervioso autónomo (SNA) como medio para conocer el estado de éstos (Bellenger et al., 2016; Borresen & Lambert, 2008; Buchheit et al., 2010), el cual nos indica la capacidad del organismo de adaptarse a un estímulo. En una situación de reposo en la cual no hay situación de estrés, predomina la estimulación de la rama parasimpática, pero, por el contrario, en una situación de estrés físico o mental, como el ejercicio, predomina la actividad de la rama simpática (Rodas, Carballido, Ramos & Capdevila, 2008).

Para estudiar el equilibrio del SNA se utiliza el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV). La HRV utiliza una evaluación de la variación en el tiempo entre los latidos cardíacos consecutivos o los intervalos R-R. El tiempo entre los intervalos R-R consecutivos fluctúa constantemente como resultado de la interacción entre la ventilación pulmonar, la presión arterial y el gasto cardíaco para mantener la homeostasis de la presión arterial dentro de límites específicos (Malik, Bigger & Camm, 1996). Incluso cuando la frecuencia cardíaca (HR) es relativamente estable, el tiempo entre dos intervalos (R-R) puede diferir sustancialmente. La variación en el tiempo entre tiempos es definida como HRV (Achten & Jeukendrup, 2003).

Rodas et al. (2008) lo definieron como la variación de la frecuencia del latido cardíaco durante un intervalo de tiempo definido con anterioridad (nunca superior a 24 horas) en un análisis de períodos circadianos consecutivos.

La medición de la HRV resulta ser una metodología no invasiva que aporta información sobre el balance simpático-vagal (Bellenger et al., 2016). Otra aplicación que se le ha dado a la HRV es para identificar situaciones de sobrecarga funcional y sobreentrenamiento, lo cual puede ayudar a los entrenadores a gestionar estos períodos. Numerosos estudios han demostrado que ante situaciones de sobrecarga o sobreentrenamiento la HRV se ve reducida ya que la actividad parasimpática es menor, lo cual nos indica una situación en la que el deportista no se ha recuperado correctamente o que la adaptación al entrenamiento no está siendo la adecuada (Bosquet, Merkari, Arvisais & Aubert, 2008; Dupuy, Bherer, Audiffren & Bosquet, 2013). Por el contrario, un aumento de la HRV representa un incremento de la actividad parasimpática, lo que indica una adaptación positiva al entrenamiento (Bellenger et al., 2016).

Uno de los parámetros más utilizados en la literatura para conocer la HRV y, por tanto, la actividad del SNA, es el rMSSD (raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos R-R sucesivos) para el dominio temporal (Rodas et al., 2008). Esta variable nos va a indicar cómo se encuentra la rama parasimpática y es utilizada tanto en salud como rendimiento deportivo. Esta rama parasimpática es la que nos va a indicar si nos estamos adaptando o no al entrenamiento. Es la variable más estable y la que mejor refleja la actividad parasimpática.

Un aspecto importante y poco estudiado hasta la fecha es la sobrecarga durante el ejercicio de fuerza y por ello, el interés de llevar a cabo este estudio en jugadores de balonmano ya que se trata de una capacidad que en este deporte es primordial. En un estudio previo (Rezk, Marrache, Tinucci, Mion & Forjaz, 2006), se evidenció que dos protocolos de ejercicios de fuerza (10 repeticiones con el 80% de 1RM y 20 repeticiones con el 40% de 1RM) causan alteraciones similares en la modulación autonómica cardíaca. Sin embargo, dado que los protocolos difieren tanto en el volumen (número de repeticiones) como en la intensidad (sobrecarga), no fue posible establecer claramente el impacto aislado de la intensidad del ejercicio de la modulación autonómica cardíaca después del ejercicio.

Como la intensidad del ejercicio de fuerza afecta a las respuestas mecánicas y metabólicas en la vasculatura, y, por lo tanto, en los mecanismos reflejos de control cardiovascular, hace posible que diferentes intensidades en el entrenamiento de fuerza promuevan respuestas de diferente índole en la modulación autonómica del corazón post-entrenamiento.

Por otra parte, el rendimiento en el salto vertical es un indicador muy válido de la capacidad de aplicar fuerza en una unidad de tiempo (RFD) con el tren inferior y, por ello, está relacionado de manera directa con la aptitud neuromuscular y capacidad funcional del deportista. Un sujeto que muestre una buena saltabilidad es muy probable que también posea un buen rendimiento en otras capacidades realizadas a alta velocidad, como acelerar y desacelerar en carrera o realizar cambios de dirección, entre otras (Nuzzo, Anning & Scharfenberg, 2011). Se ha podido comprobar que la pérdida de saltabilidad es un excelente indicador del grado de fatiga neuromuscular generada pre-post entrenamiento (Gorostiaga et al., 2010; Sánchez & González, 2011; Gathercole, Sporer, Stellingwerff & Sleivert, 2015). Por tanto, la pérdida de altura en el salto vertical con contra-movimiento (CMJ) es equivalente a la pérdida de velocidad media, máxima y de despegue, por lo que la fatiga neuromuscular se puede medir mediante esta pérdida porcentual pre-post entrenamiento (González, Sánchez, Pareja & Rodríguez, 2017). Estudios recientes, muestran que incluso la pérdida de velocidad máxima de altura en el salto puede ser utilizado como un estimador de la pérdida de velocidad en la carrera (sprint) y de la fatiga al hacer este tipo de esfuerzos (Jiménez et al., 2016).

Como muestran los estudios de González-Badillo (2000) y Sánchez-Medina et al. (2010, 2014) la máxima potencia media propulsiva se alcanza con una carga diferente dependiendo de si el ejercicio es de tren inferior, tren superior o si se trata de un movimiento olímpico. Ello afecta de diferente manera en la fatiga al verse más o menos masa muscular implicada en la acción y al efectuarse a intensidades diferentes de la RM dependiendo del ejercicio seleccionado. A todo ello se suma el inconveniente de que a la hora de calcular la potencia hay que tener muy en cuenta la variable exacta que se utiliza (potencia media, potencia media de la fase propulsiva, potencia pico), ya que esta influye en gran medida en la determinación de la(s) carga(s) que maximicen la potencia mecánica (Sánchez-Medina et al., 2010, 2014). En el estudio de Siegel, Gilder, Staron & Hagerman (2002) encuentran una diferencia entre la carga óptima para obtener mayores niveles de potencia en ejercicios de tren inferior y tren superior. Respecto a la producción de potencia máxima en el squat se da en cargas de entre el 50% y 70% del RM, mientras que en el ejercicio de bench press se dan entre el 40% y 60% del RM.

La velocidad de ejecución es una variable de gran importancia en el entrenamiento de la fuerza y un elemento determinante de la intensidad debido a que tanto las exigencias neuromusculares como los efectos del entrenamiento dependen en gran medida de la propia velocidad a la que se desplazan las cargas (Sánchez & González, 2011). Cuanto mayor sea la velocidad alcanzada ante una misma carga, mayor será la intensidad, y esto influirá en el efecto del entrenamiento (González & Ribas, 2002).

El control de la velocidad no sólo nos permite conocer de manera muy precisa el verdadero esfuerzo que representa una carga determinada al hacer la primera repetición de una serie, sino que también nos permite conocer el grado de esfuerzo realizado al saber en qué porcentaje se pierde velocidad a medida que se van haciendo repeticiones en cada una de las series, y esto, es un valor importante, porque la pérdida de velocidad es un indicador de alta validez para estimar la fatiga (Edman, 2003; Allen et al., 2008).

El objetivo final del presente trabajo es observar cómo afecta la carga de entrenamiento aguda de dos manifestaciones diferentes de la fuerza, valorando la fatiga que estas generan en los jugadores de balonmano mediante la aplicación disponible para Smartphone HRV4Training (PPG), registrando y valorando la HRV, mediante un test de saltabilidad (CMJ) y en un test de potencia en dos sesiones de intensidad diferente. Una de ellas consistió en realizar una sesión semanal de carácter metabólico (fuerza hipertrofia), mientras que a la semana siguiente se llevó a cabo una sesión de carácter neural (fuerza máxima) y se pretendió ver cómo respondía la HRV basal a lo largo de la semana ante estas dos cargas de entrenamiento diferentes al igual que mediante la evaluación con los otros dos test comentados. De esta forma tenemos una valoración a nivel fisiológico de nuestros deportistas (HRV), pero también hemos llevado a cabo una evaluación y seguimiento mediante variables mecánicas, tanto pre como post-sesión de saltabilidad y potencia para ver cómo se ven afectadas estas capacidades, al igual que a las 24, 48 y 72 horas posteriores a cada uno de los entrenamientos.

Antes de llevar a cabo las mediciones, tuvimos que explicar a los jugadores el protocolo de medición establecido y llevar a cabo en primer lugar una semana de registro de la HRV basal (registro de 1 minuto de duración nada más despertarse los jugadores, tumbados decúbito supino en la cama y completamente relajados) para establecer una línea basal y a partir de ella, comenzar con el plan de entrenamiento la próxima semana. En la semana previa al estudio, también obtuvimos valores de saltabilidad y potencia basales para disponer de unos valores de referencia y ver de dónde partíamos.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Participantes

Los sujetos de este estudio han sido 3 jugadores de un equipo de balonmano de categoría senior nacional masculina con una edad de 28.1 ± 7.37 años y una experiencia en este deporte de 17.67 ± 4.04 años. Los principales datos antropométricos de los jugadores han sido: altura (183 ± 10.15 cm) y peso (89.17 ± 8.31 Kg).

2.2. Instrumental y procedimiento de medida

Las mediciones de HRV se llevaron a cabo mediante la aplicación HRV4Training disponible tanto para Android como para iPhone cada mañana al despertar en situación basal, así como pre y post-entrenamientos y a las 24, 48 y 72 horas post-sesión (imagen 1).

Para medir la saltabilidad, utilizamos el salto en contramovimiento (CMJ) en plataforma de contacto (Globus Ergo Tester). Para ello, el sujeto debía ejecutar un salto desde una posición vertical, sin doblar previamente las rodillas, a partir de la cual debía flexionar y extender tobillos, rodillas y caderas a una alta velocidad de ejecución (imagen 2). De esta manera se valora la potencia que desarrolla el deportista y en el entrenamiento se ha utilizado para monitorear la fatiga neuromuscular en deportistas a través de la medición de la potencia en vatios (Fábrica, González & Fagundes, 2013). Durante la fase de vuelo el atleta debe mantener sus miembros inferiores y tronco en completa extensión, hasta la recepción con la plataforma. Esta registra el tiempo de la fase de vuelo y con ello, nos da el valor en metros de cuánto ha saltado cada deportista (Bosco, 2000).

Respecto al test de potencia, se llevó a cabo en la multipower realizando el ejercicio de media sentadilla (imagen 3). Para medir y registrar las variables de interés se utilizó el encoder lineal T-FORCE System Ergotech, Murcia, España. Los deportistas realizaron tantas repeticiones como les fueron posibles con el 60% de la RM, valor que hemos tomado como referencia de la bibliografía, en el cuál se obtiene la potencia pico en este movimiento (González, 2000; Sánchez, 2010, 2014) e introduciendo en el propio software un valor de pérdida de velocidad de ejecución del 20%, a partir del cual el propio programa nos indicaba cuándo debíamos dar por finalizada la prueba.

Por otra parte, utilizamos como marcador de daño muscular asociado al entrenamiento el dolor muscular de aparición tardía (DOMS) mediante una escala tipo Likert de 0 a 6. Esta escala sirve para determinar el grado de percepción de dolor muscular post-ejercicio. Se trata de un instrumento menos costoso e invasivo que otros métodos (Wiewelhove et al., 2015; Wahl et al., 2017).

Por último, los jugadores debían una vez finalizado el entrenamiento (15-30 minutos post-sesión) valorar como lo habían percibido mediante el SessionRPE. Esta herramienta, es una forma de valorar, de manera no invasiva, el esfuerzo realizado en un entrenamiento o competición basada en las sensaciones del deportista o la capacidad de control interoceptiva (Faulkner, Parfiitt & Eston, 2008; Liberal & García-Mas, 2011; Molinero, Salguero & Márquez, 2011).

2.3. Diseño de intervención

Se establecieron dos sesiones de entrenamiento de la fuerza de características diferentes. En primer lugar, se llevó a cabo la sesión de fuerza hipertrofia para a la semana siguiente realizar la sesión de fuerza máxima (imagen 4). Las diferentes sesiones de entrenamiento se centraron en el trabajo del tren inferior habiendo obtenido valores de RM previos con la ayuda del T-Force System para una correcta prescripción individualizada en cada uno de los jugadores.

A continuación, mostramos ambas sesiones de entrenamiento con todas las variables y la elección de los ejercicios llevados a cabo:

Tabla 1. Prescripción del entrenamiento.

EJERCICIO	ENTRENAMIENTO HIPERTROFIA	ENTRENAMIENTO FUERZA MÁXIMA
BACK SQUAT	4x8 75% RM 1' 15" REST	4x5 85% RM 3' REST
LUNGE	4x8 75% RM 1' 15" REST	4x5 85% RM 3' REST
DEADLIFT	4x8 75% RM 1' 15" REST	4x5 85% RM 3' REST
BULGARIAN SQUAT	4x8 75% RM 1' 15" REST	4x5 85% RM 3' REST



Imagen 1. Protocolo y medición de HRV.



Imagen 2. Deportista realizando un CMJ.



Imagen 3. Test para valorar la potencia.



Imagen 4. Sujeto realizando back squat en el entrenamiento de fuerza máxima.

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring. *Sports medicine*, 33(7), 517-538.
- Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological reviews*, 88(1), 287-332.
- Badillo, J. J. G. (2017). La velocidad de ejecución como referencia para la programación, control y evaluación del entrenamiento de fuerza. Ergotech.
- Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Thomson, R. L., Davison, K., Robertson, E. Y., & Buckley, J. D. (2016). Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*, 46(10), 1461-1486.
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med*, 38(8), 633-646.
- Bosco, C. (2000). La fuerza muscular: aspectos metodológicos (Vol. 307). Inde.
- Bosquet, L., Merkari, S., Arvisais, D., & Aubert, A. E. (2008). Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *Br J Sports Med*, 42(9), 709-714. doi: 10.1136/bjism.2007.042200.
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Quod, M. J., Poulos, N., & Bourdon, P. (2010). Determinants of the variability of heart rate measures during a competitive period in young soccer players. *European journal of applied physiology*, 109(5), 869-878.
- Dupuy, O., Bherer, L., Audiffren, M., & Bosquet, L. (2013). Night and postexercise cardiac autonomic control in functional overreaching. *Appl Physiol Nutr Metab*, 38(2), 200- 208. doi: 10.1139/apnm-2012-0203.
- Edman, K. P. (2003). Contractile performance of skeletal muscle fibres. *Strength and power in sport*, 114.
- Fábrica, G., González-Rodríguez, P., & Fagundes-Loss, J. (2013). Cambios en el control neuromuscular de seis músculos de miembro inferior durante CMJ máximos realizados con fatiga. *Revista Brasileira de Ciências do Esporte*, 35(2).
- Faulkner, J., Parfitt, G., & Eston, R. (2008). The rating of perceived exertion during competitive running scales with time. *Psychophysiology*, 45(6), 977-985.
- García, R. L., & Más, A. G. (2011). percepción de dolor y fatiga en relación con el estado de ánimo. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 11(2).
- Gathercole, R. J., Sporer, B. C., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. G. (2015). Comparison of the capacity of different jump and sprint field tests to detect neuromuscular fatigue. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(9), 2522-2531.

- González-Badillo, J. J. (2000). Bases teóricas y experimentales para la aplicación del entrenamiento de fuerza al entrenamiento deportivo. *Infocoes*, 5(2), 3-14.
- González-Badillo, J. J., & Ribas, J. (2002). Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. Barcelona: Inde.
- Gorostiaga, E. M., Asiáin, X., Izquierdo, M., Postigo, A., Aguado, R., Alonso, J. M., & Ibáñez, J. (2010). Vertical jump performance and blood ammonia and lactate levels during typical training sessions in elite 400-m runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(4), 1138-1149.
- Hautala, A. J., Makikallio, T. H., Kiviniemi, A., Laukkanen, R. T., Nissila, S., Huikuri, H. V., & Tulppo, M. P. (2003). Cardiovascular autonomic function correlates with the response to aerobic training in healthy sedentary subjects. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 285(4), H1747-1752. doi: 10.1152/ajpheart.00202.2003.
- Herrero, J. A. G. (2003). Entrenamiento en balonmano. Bases de la construcción de un proyecto de formación defensiva. Editorial Paidotribo.
- Jiménez-Reyes, P., Pareja-Blanco, F., Cuadrado-Peñañiel, V., Morcillo, J. A., Párraga, J. A., & González-Badillo, J. J. (2016). Mechanical, metabolic and perceptual response during sprint training. *International journal of sports medicine*, 37(10), 807-812.
- Karcher, C., & Buchheit, M. (2014). On-court demands of elite handball, with special reference to playing positions. *Sports medicine*, 44(6), 797-814.
- Malik, M., Bigger, J., & Camm, A. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Eur Heart J.*, 17, 354-381.
- Marques, M. C., Van Den Tillaar, R., Vescovi, J. D., & González-Badillo, J. J. (2007). Relationship between throwing velocity, muscle power, and bar velocity during bench press in elite handball players. *International journal of sports physiology and performance*, 2(4), 414-422.
- Molinero, O., Salguero, A., & Márquez, S. (2011). Análisis de la recuperación-estrés en deportistas y relación con los estados de ánimo: un estudio descriptivo. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 11(2), 47-55.
- Nuzzo, J. L., Anning, J. H., & Scharfenberg, J. M. (2011). The reliability of three devices used for measuring vertical jump height. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(9), 2580-2590.
- Rezk, C. C., Marrache, R. C. B., Tinucci, T., Mion, D., & Forjaz, C. L. D. M. (2006). Post-resistance exercise hypotension, hemodynamics, and heart rate variability: influence of exercise intensity. *European journal of applied physiology*, 98(1), 105-112.
- Rodas, G., Carballido, C. P., Ramos, J., & Capdevila, L. (2008). Heart rate variability: Definition measurement and clinical relation aspects. *Archivos de medicina del deporte*, 25(123), 41-47.

- Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(9), 1725-1734.
- Sánchez-Medina, L., Gonzalez-Badillo, J. J., Perez, C. E., & Pallarés, J. G. (2014). Velocity-and power-load relationships of the bench pull vs. bench press exercises. *International journal of sports medicine*, 35(03), 209-216.
- Sánchez-Medina, L., Pérez, C. E., & González-Badillo, J. J. (2010). Importance of the propulsive phase in strength assessment. *International journal of sports medicine*, 31(02), 123-129
- Siegel, J. A., Gilders, R. M., Staron, R. S., & Hagerman, F. C. (2002). Human muscle power output during upper-and lower-body exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(2), 173-178.
- Wahl, P., Sanno, M., Ellenberg, K., Frick, H., Böhm, E., Haiduck, B., ... & Bloch, W. (2017). Aqua cycling does not affect recovery of performance, damage markers, and sensation of pain. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(1), 162-170.
- Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2015). Markers for routine assessment of fatigue and recovery in male and female team sport athletes during high-intensity interval training. *PloS one*, 10(10), 139-151.

