

## **Control biológico en la fase de competencia y recuperación en un triatleta**

Delia Pérez, Blanca Rangel, Germán Hernández, Hugo Aguirre y Estrella Chávez

D. Pérez, B. Rangel, G. Hernández, H. Aguirre y E. Chavez  
Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.  
Facultad de Organización Deportiva  
Ciudad Universitaria C.P. 66451, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.  
cruz\_hg@hotmail.com

M. Ramos., V.Aguilera., (eds.).Ciencias Naturales y Exactas, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

The main objective of the biological control of training is to improve the design of workloads by coaches in order to prevent the adverse effect that involves the practice of high performance sport. In the present study biomarkers such immune response, heart rate variability (HRV), creatine kinase (CK), lactate and urea were measured to describe the behavior in a competition and during the recovery period. The results obtained during the evaluation provide enough information to use them as a custom control of physical activity.

## 11 Introducción

En la actualidad se han descrito diversos parámetros que pueden ser utilizados en el deporte como marcadores biológicos, sin embargo la literatura apuesta por aquellos que tengan una relación directa con la carga de trabajo realizado y además puedan prevenir el efecto negativo ejercido por la actividad física extenuante en el cuerpo humano (Jürimäe, Mäestu, Jürimäe, Mangus, & von Duvillard, 2011). El control biológico ha llamado la atención de los especialistas en el área del deporte debido a que conjunta el análisis de un sistema biológico complejo, como lo es el cuerpo humano, con el fin de prevenir la fatiga crónica, promover los mecanismos de adaptación al entrenamiento y describir procesos que pudieran mejorar el rendimiento de los atletas (Calderón-Montero, Benito-Peinado, Melendez-Ortega, & González-Gross, 2006).

Una de las retos del control biológico es la estandarización de nuevos métodos diagnósticos no invasivos que provean información sobre el estado fisiológico de los atletas para poder eficientizar el diseño de las cargas de trabajo por parte de los entrenadores. Por esta razón se han buscado moléculas distintivas de los procesos metabólicos y respuestas fisiológicas implicadas en el deporte, siendo las interacciones entre los sistemas inmune, nervioso y cardiovascular los principales candidatos a estudiar.

La relevancia de la respuesta inmune en la fisiología del deporte surgió con la teoría llamada "Ventana Abierta", la cual hace referencia al periodo donde los atletas se encuentran inmunocomprometidos debido al efecto que produce el ejercicio extenuante prolongado, siendo una condición idónea para que surjan infecciones por agentes bacterianos, virales o fúngicos (Nieman, 2000). Reportes en la literatura establecen que realizar una actividad física extenuante se eleva la concentración total de leucocitos, existiendo una relación inversa entre neutrófilos y linfocitos (Wolach, 2012). Además del paquete celular de leucocitos existe un diferencial entre el inicio y el final de la actividad en la expresión de citocinas (Leicht, Bishop, & Goosey-Tolfrey, 2011; Nieman, 2012; Xing et al., 2013).

En cuanto al sistema cardiovascular y nervioso existe un método no invasivo llamado Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca (VFC), el cual se ha utilizado como indicador de la fatiga crónica. El principio de la técnica se basa en los cambios en la modulación del sistema nervioso autónomo (SNA) (Suetake, 2010).

Esta medición se obtiene a partir de las oscilaciones consecutivas "latido a latido" del ritmo sinusal en el dominio del tiempo o de frecuencia, las cuales son regulados por el sistema nervioso autónomo (Bricout, Dechenaud & Favre-Juvin, 2010).

Dado que se asocia directamente con el equilibrio simpato-vagal se utiliza para evaluar los efectos del ejercicio agudo y del entrenamiento (Chalencón et al., 2012; Makivić, Nikić, & Willis, 2013).

La VFC refleja un control del SNA sobre el sistema cardiovascular, donde un aumento en los valores señala un funcionamiento ideal y adaptabilidad del SNA, mientras que una VFC baja se interpreta como un indicador negativo para la salud y por lo tanto para el rendimiento físico (Edmonds, Sinclair, & Leicht, 2013).

El control biológico, además de establecer la relación entre los tres sistemas, busca evaluar aquellos factores que pudieran afectar la homeostasis celular de manera prolongada y, por lo tanto el rendimiento del atleta. Uno de los factores que más afecta el equilibrio celular es el exceso en la liberación de radicales libres (estrés oxidativo), el cual disminuye la respuesta inmune provocando un desgaste de las fibras musculares (Stanković & Radovanović, 2012). Los ejemplos más reportados son los como indicadores de daño muscular o de cargas de entrenamiento son la creatin quinasa (CK) y Urea (Lozano & Moro, 2012; Urdampilleta, 2013).

Los marcadores biológicos Urea, CK, estrés oxidativo se suman a la VFC y respuesta inmune se analizan a través del control biológico en situaciones de entrenamientos o competencias en atletas de alto rendimiento (Lozano & Moro, 2012; Urdampilleta, 2013). Por esta razón el objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento de dichos marcadores durante un periodo de competencia fundamental y su posterior recuperación.

## **11.1 Materiales y métodos**

El estudio consistió en monitorear marcadores biológicos como CK, VFC, lactato, Urea, parámetros leucocitarios y estrés oxidativo en un atleta de triatlón modalidad olímpica. La totalidad del proceso fue dividida en dos etapas: competencia y recuperación. El día del evento se obtuvieron muestras de sangre capilar al iniciar y al finalizar la competición. La etapa de recuperación consistió en un tiempo total de una semana, la primer toma fue a las 2 horas terminada la competencia, siguiendo con mediciones a las 24 horas, 48 horas, 72 horas, culminando a los 7 días pasada la competencia.

### **Sujeto**

Se analizó a una triatleta mujer (edad 37 años, altura 166.3, peso: 56.7 kg), con un entrenamiento de 2 horas diarias durante siete días a la semana. La mediciones se realizaron en una competencia nacional oficial, participando en la modalidad olímpica. Posterior a la competencia se le solicito al atleta una semana de recuperación realizando actividades de baja intensidad. Se conto con el consentimiento informado del atleta.

### **Prueba de esfuerzo en banda sin fin**

Se efectuaron dos pruebas de esfuerzo en banda sin fin, una al inicio de su preparación y la segunda al pasar la competencia. El protocolo de la prueba se inicia a una velocidad de 6 km/h con un aumento de 2 km/h cada tres minutos, hasta que el atleta no pudo mantener el ritmo. Las evaluaciones de concentración de lactato en sangre capilar se tomaron al iniciar la prueba, al final de cada etapa y en los periodos de recuperación con tiempos de 1,3 y 5 minutos.

### **Marcadores biológicos**

Durante las etapas de competencia y recuperación se tomaron dos tubos de EDTA de un volumen aproximado de 500  $\mu$ L por cada toma. Dichas mediciones fueron realizadas en un dispositivo Reflotron Plus con tirillas reactivas para Creatin Quinasa (REF: 11126695203) y Urea (REF: 11200666204). Para las mediciones de lactato se utilizó el dispositivo Accutrend Plus y tirillas reactivas (REF: RC150386) ambas de la empresa Roche.

## Respuesta Inmune

Las muestras de la biometría hemática se realizaron en un laboratorio de referencia en todo el proceso del estudio. Analizando leucocitos, neutrófilos, basófilos, eosinófilos, monocitos y linfocitos.

## Estrés oxidativo

La cuantificación de hidroperóxidos lipídicos fue llevada a cabo con kits para la prueba d-ROMs en el dispositivo FRAS4 de la compañía Evolveo.

## Variabilidad de la frecuencia cardiaca

El monitoreo se realizó utilizando el dispositivo Polar Team 2 durante 15 minutos en posición supina. Las variables analizadas son los que se basan en el dominio del tiempo, entendiendo por variables de tiempo los diferentes parámetros estadísticos que resultan de la medición electrocardiográfica de los intervalos NN normales. Estos intervalos NN normales son analizados estadística y matemáticamente para obtener los distintos parámetros (Rodas, Pedret, Ramos, Capdevila, 2008). La SDNN es la desviación estándar de todos los intervalos NN del periodo medido, es un indicador independiente de las frecuencias para definir el concepto de la variabilidad total, rMSSD es la raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos NN sucesivos. Este parámetro informa de las variaciones a corto plazo de los intervalos NN y se utiliza para observar la influencia del sistema nervioso parasimpático sobre el sistema cardiovascular, pNN50 mide el porcentaje de los intervalos NN consecutivos que discrepan en más de 50 milisegundos entre sí, un valor elevado de pNN50 proporciona valiosa información acerca de las variaciones altas espontáneas de la frecuencia cardiaca (Task force, 1996).

## Composición corporal

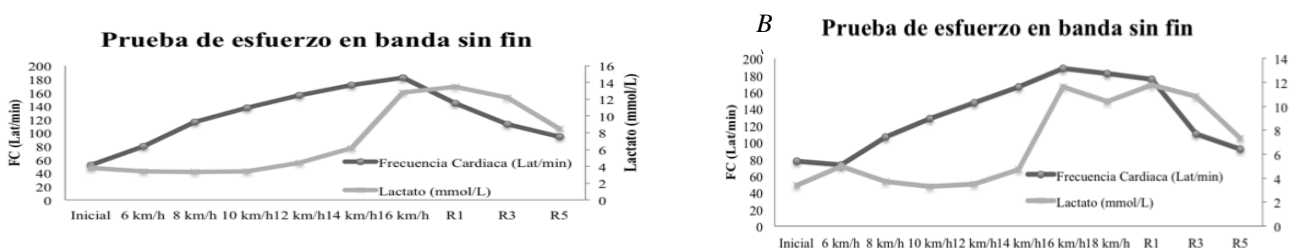
La composición corporal fue determinada por un método indirecto con el equipo absorciómetro dual de rayos X (DEXA) y pletismografía por desplazamiento de aire (Bod Pod).

## 11.2 Resultados y discusión

Los resultados de las concentraciones de ácido láctico y frecuencia cardiaca obtenidos en las dos pruebas de esfuerzo se muestran en la tabla 1.

En ambas pruebas el atleta alcanzó una velocidad máxima de 17.6 km/h, consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) igual  $54.5 \text{ ml kg min}^{-1}$ , para la primera prueba la frecuencia cardiaca máxima ( $F_{c_{max}}$ ) fue de 182 Lat/min mientras que en la segunda registró 188 Lat/min.

**Figura 11** En el eje vertical izquierdo se encuentra la frecuencia cardiaca (Lat/min), en el lado opuesto están representadas las concentraciones de ácido láctico (mmol/L). A) Representación gráfica de los resultados obtenidos en la primera prueba de esfuerzo. B) Representación gráfica de los resultados obtenidos en la segunda prueba de esfuerzo. R1 es la recuperación al minuto 1, R3 es la recuperación al minuto 3 y R5 es la recuperación al minuto 5.



## Marcadores biológicos

En la tabla se muestran los resultados de las evaluaciones durante las etapas de competencia y recuperación.

**Tabla 11** Concentraciones de Urea, CK y Lactato

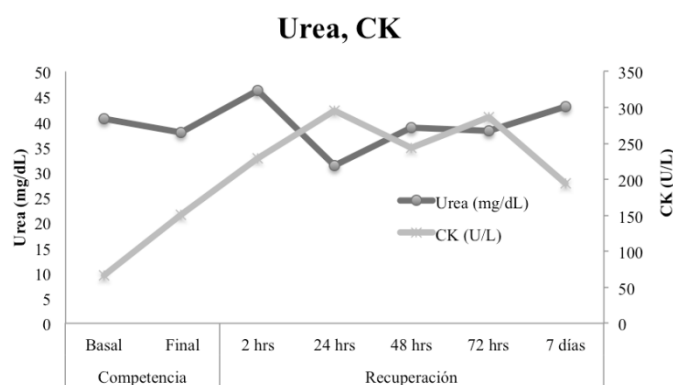
Variables	Competencia		Recuperación				
	Basal	Final	2 hrs	24 hrs	48 hrs	72 hrs	7 días
Urea (mg/dL)	40.6	37.9	46.2	31.3	38.9	38.2	43
CK (U/L)	66.7	151	229	296	244	286	194
Lactato (mmol/L)	3.2	7.9	2.9	2.6	2.9	2.5	3.7

Las concentraciones de Urea en sangre se mantuvieron dentro de los parámetros de referencia durante todo el proceso de evaluación (Hartmann & Mester, 2000). A las dos horas posteriores de la competencia aumento 8.3 mg/dL recuperándose a las 24 horas, lo cual se infiere que el volumen de la carga no afectó el catabolismo de proteínas (Soto, Trujillo, & Niño, 2013).

Al finalizar la competencia la CK aumento con respecto a las concentraciones basales y continuó incrementandose hasta las 72 horas, lo cual indica que podría ser el resultado de un incremento en la carga de trabajo de manera progresiva sin llegar a afectar la homeostasis celular (Cachadiña, 2012).

A través del comportamiento en las etapas de estudio de la CK se puede deducir que el atleta posee una adaptación al entrenamiento, como lo indica Hartmann & Mester (2000), debido a que presenta valores considerablemente altos comparados a los establecidos como normales en la población en general.

**Figura 11.1** Comportamiento de marcadores biológicos: Urea (mg/dL), CK (U/L) en las etapas de competencia y recuperación.



## Respues Inmune

En la tabla se presentan las concentraciones de poblaciones celulares en las etapas de competencia y recuperación.

**Tabla 11.1** Valores de biometría hemática.

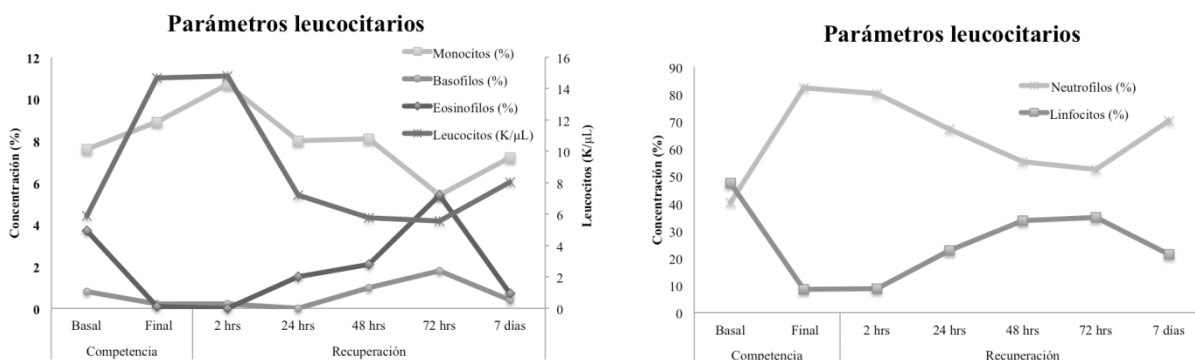
Variables	Competencia		Recuperación				
	Basal	Final	2 hrs	24 hrs	48 hrs	72 hrs	7 días
Leucocitos (K/ $\mu$ L)	5.89	*14.69	*14.8	7.21	5.78	5.55	8.02
Neutrófilos (%)	40.4	*82.3	*80.3	67.1	55.2	52.4	70.3
Linfocitos (%)	47.5	*8.5	*8.8	22.7	33.6	35	21.4
Monocitos (%)	7.6	8.9	10.7	8	8.1	5.4	7.2
Eosinófilos (%)	3.7	*0.1	*0	1.5	2.1	5.4	0.7
Basófilos (%)	0.8	0.2	0.2	0.7	1	*1.8	0.4

Valores fuera de intervalo de referencia biológica

Al iniciar la competencia el atleta se encontraba en parámetros óptimos para el correcto funcionamiento del sistema inmune, sin embargo al finalizar la competencia se observó un aumento considerable en la población celular de neutrófilos hasta un 80%, cuyos valores basales regresaron a las 24 horas. En comparación con los neutrófilos, el porcentaje de la población celular de linfocitos sufrió una disminución del 8% como consecuencia del ejercicio intenso de larga duración (Wolach, 2012). El resto de la población celular leucocitaria varió en eosinófilos, monocitos y basófilos durante el transcurso de la competencia, siendo únicamente los eosinófilos quienes mostraron resultados fuera de los rangos de referencia (0.7%-5.8%), al finalizar la competencia y a las dos horas.

El aumento en la concentración total de leucocitos forma parte del conjunto de mecanismos que surgen como respuesta a un estímulo externo por parte del sistema inmunológico (Leicht et al., 2011; Nieman, 2000)

**Figura 11.2** A) En el eje vertical derecho se encuentran la concentración de leucocitos (K/ $\mu$ L), los monocitos, basófilos y eosinófilos se encuentran en porcentaje de acuerdo a la concentración total de leucocitos en las etapas de competencia y recuperación. B) Resultados obtenidos en porcentaje de neutrófilos y linfocitos en las etapas de competencia y recuperación.



## Estrés oxidativo

En este estudio se analizó la liberación de radicales libres como respuesta a condiciones de estrés en una competencia fundamental como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 11.2** Estrés oxidativo en periodo de competencia y recuperación.

Variables	Competencia		Recuperación				
	Basal	Final	2 hrs	24 hrs	48 hrs	72 hrs	7 días
d-ROM ( U Carr)	202	214	286	286	271	178	225

Durante el periodo de evaluación se produjo un incremento en la producción de agentes químicos reactivos, llegando a una concentración máxima de 286 U. Carr, la cual se mantuvo durante 24 horas. Debido a que la triatleta logró recuperar sus niveles basales 48 horas posteriores a la competencia se puede deducir que su sistema antioxidante se encuentra en óptimas condiciones, es decir, alcanzó un efecto positivo sobre la liberación de radicales libres durante la actividad física (Medina et al., 2012; Stanković & Radovanović, 2012).

**Figura 11.3** Resultados obtenidos del estrés oxidativo en las etapas de competencia y recuperación utilizando la prueba d-ROMs en Unidades Carratelli ( U. Carr=0.08 mg H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/dL).

### Variabilidad de la frecuencia cardiaca

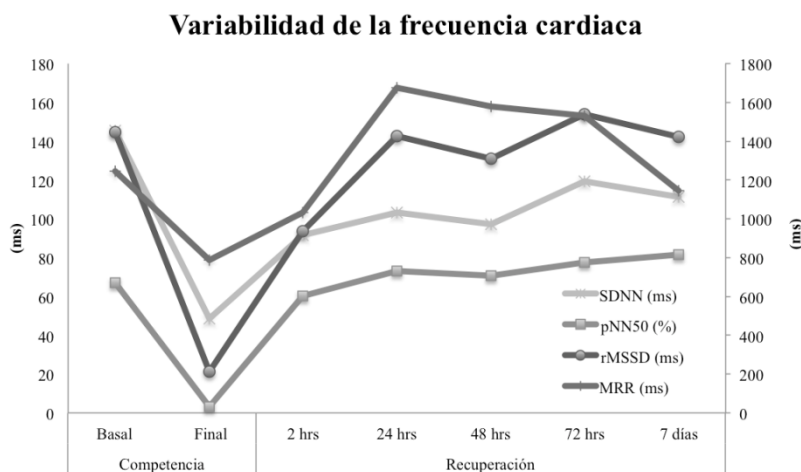
La tabla muestra los resultados obtenidos durante el monitoreo del rendimiento físico del atleta.

**Tabla 11.3** Parámetros de variabilidad de la frecuencia cardiaca.

Variables	Competencia		Recuperación				
	Basal	Final	2 hrs	24 hrs	48 hrs	72 hrs	7 días
MRR (ms)	1246.3	787.7	1034	1676.8	1579	1529.6	1143.9
SDNN (ms)	145.5	48.6	91.7	103.1	97.1	119.2	111.2
pNN50 (%)	67.2	3	60.2	73	70.8	77.4	81.5
rMSSD (ms)	144.8	21.2	93.6	142.5	131.1	153.9	142.2

Tomando en cuenta los valores de la VFC al finalizar la competencia, se observó un efecto notable en el atleta del ejercicio realizado durante la etapa de competician, esta diferencia hace notar que existe un predominio del sistema simpático sobre el parasimpático (Edmonds, Sinclair & Leicht 2013; Makivić, Nikić & Willis, 2013). A pesar del efecto ejercido por el esfuerzo realizado, el atleta logró recuperar las condiciones basales mostradas al iniciar la competencia. El incremento causado por la competencia y su posterior recuperación durante los siguientes tres días supone una evidencia de que la atleta posee una adaptación al entrenamiento (Vesterinen & Häkkinen, 2013)

**Figura 11.4** Resultados de los parámetros de la variabilidad de la frecuencia cardiaca. Las unidades que se encuentran en el eje abscisas situado en el lado derecho e izquierdo se encuentran en milisegundos (ms). El promedio de los intervalos RR (MRR) se encuentran en el eje vertical derecho, para el caso de pNN50 las unidades son el porcentaje de una cuantificación en milisegundos (ms).



### 11.3 Conclusiones

En relación al comportamiento de las variables analizadas en las etapa de competencia y recuperación se puede concluir que el control biológico es una metodología efectiva para valorar el rendimiento físico del atleta, ya que nos permite establecer los cambios en el organismo como consecuencia de un esfuerzo físico extenuante como lo fue una competencia y una adecuada recuperación permitiendo al organismo una adaptación fisiológica.

### 11.4 Agradecimientos

A la Facultad de Organización Deportiva de la Universidad Autónoma de Nuevo León por su disponibilidad tanto en instalaciones como en personal para llevar a cabo este estudio. Así como a la atleta participante, mostrando en todo momento disponibilidad e interés en contribuir al desarrollo del proyecto.

### 11.5 Referencias

Bricout, V.-A., Dechenaud, S., & Favre-Juvin, A. (2010). Analyses of heart rate variability in young soccer players: the effects of sport activity. *Autonomic Neuroscience: Basic & Clinical*, 154(1-2), 112–6. doi:10.1016/j.autneu.2009.12.001

Cachadiña, E. (2012). Estudio comparativo de los perfiles semanales de creatin kinasa, urea y variabilidad de la frecuencia cardiaca en remeros de élite españoles. *Archivos de Medicina ...*, 29, 952–958. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4538352>

Calderón-Montero, F. J., Benito-Peinado, P. J., Melendez-Ortega, A., & González-Gross, M. (2006). Control biológico del entrenamiento de resistencia. (Biological control of endurance training.). *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias Del Deporte*, 2(2), 65–87. doi:10.5232/ricyde2006.00205



- Chalencón, S., Busso, T., Lacour, J.-R., Garet, M., Pichot, V., Connes, P., ... Barthélémy, J. C. (2012). A model for the training effects in swimming demonstrates a strong relationship between parasympathetic activity, performance and index of fatigue. *PloS One*, 7(12), e52636. doi:10.1371/journal.pone.0052636
- Edmonds, R. C., Sinclair, W. H., & Leicht, A. S. (2013). Effect of a training week on heart rate variability in elite youth rugby league players. *International Journal of ...*, 34, 1087–1092. Retrieved from <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0033-1333720>
- Hartmann, U., & Mester, J. (2000). Training and overtraining markers in selected sport events. *Medicine and Science in Sports and ...*, 32(1), 209–15. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10647551>
- Jürimäe, J., Mäestu, J., Jürimäe, T., Mangus, B., & von Duvillard, S. P. (2011). Peripheral signals of energy homeostasis as possible markers of training stress in athletes: a review. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 60(3), 335–50. doi:10.1016/j.metabol.2010.02.009
- Leicht, C. A., Bishop, N. C., & Goosey-Tolfrey, V. L. (2011). Mucosal immune responses to treadmill exercise in elite wheelchair athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(8), 1414–21. doi:10.1249/MSS.0b013e31820ac959
- Lozano, A., & Moro, M. (2012). PARÁMETROS BIOQUÍMICOS A LO LARGO DE TRES MICROCICLOS DE ENTRENAMIENTO INTENSO EN TRIATLETAS DE ÉLITE. *Archivos de Medicina Del Deporte*, 29, 669–679. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4532245>
- Makivić, B., Nikić, M., & Willis, M. (2013). Heart Rate Variability (HRV) as a Tool for Diagnostic and Monitoring Performance in Sport and Physical Activities. *Journal of Exercise Physiology*, 16(3), 103–131. Retrieved from [http://www.asep.org/asep/asep/JEPonlineJUNE2013\\_Willis.pdf](http://www.asep.org/asep/asep/JEPonlineJUNE2013_Willis.pdf)
- Medina, S., Domínguez-Perles, R., Cejuela-Anta, R., Villaño, D., Martínez-Sanz, J. M., Gil, P., ... Gil-Izquierdo, A. (2012). Assessment of oxidative stress markers and prostaglandins after chronic training of triathletes. *Prostaglandins & Other Lipid Mediators*, 99(3-4), 79–86. doi:10.1016/j.prostaglandins.2012.07.002
- Nieman, D. C. (2000). Exercise effects on systemic immunity. *Immunology and Cell Biology*, 78, 496–501. Retrieved from <http://www.nature.com/icb/journal/v78/n5/abs/icb200069a.html>
- Nieman, D. C. (2012). Clinical implications of exercise immunology. *Journal of Sport and Health Science*, 1(1), 12–17. doi:10.1016/j.jshs.2012.04.004
- Rodas, G., & Carballido, C. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardiaca: conceptos, medidas y relación con aspectos clínicos (parte II). *Archivos de Medicina ...*, 25, 1–2. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2594836&orden=267277&info=link>
- Soto, J., Trujillo, J., & Niño, E. (2013). Cuantificación de la respuesta bioquímica al entrenamiento específico de porteros profesionales durante un microciclo de fase competitiva. ... *Revista de Las Ciencias de La ...*, 1(version 19), 2–11. Retrieved from <http://revistas.ufasta.edu.ar/index.php/movu/article/view/1>
- Stanković, M., & Radovanović, D. (2012). Oxidative stress and physical activity. *SportLogia*, 8(1), 1–11. Retrieved from <http://www.sportlogia.com/no5engl/engl1.pdf>

Suetake, N. (2010). Evaluation of autonomic nervous system by heart rate variability and differential count of leukocytes in athletes. *Health*, 02(10), 1191–1198. doi:10.4236/health.2010.210175

Task force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use in: *Circulation. European Heart Journal*. 1996; 17: 354-81.

Urdampilleta, A. (2013). Valoración bioquímica del entrenamiento: herramienta para el dietista-nutricionista deportivo. *Revista Española de ...*, 17(2), 73–83. Retrieved from <http://www.renhyd.org/index.php/renhyd/article/view/14>

Vesterinen, V., & Häkkinen, K. (2013). Heart rate variability in prediction of individual adaptation to endurance training in recreational endurance runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(2), 171–180. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0838.2011.01365.x/full>

Wolach, B. (2012). Exercise and the immune system-Focusing on the effect of exercise on neutrophil functions. *Sports Medicine and Sports Injuries. Croatia: InTech ...*, (7). Retrieved from [http://www.intechopen.com/source/pdfs/28447/InTech-Exercise\\_and\\_neutrophil\\_function.pdf](http://www.intechopen.com/source/pdfs/28447/InTech-Exercise_and_neutrophil_function.pdf)

Xing, J.-Q., Zhou, Y., Fang, W., Huang, A.-Q., Li, S.-B., Li, S.-H., & Ruan, L.-M. (2013). The effect of pre-competition training on biochemical indices and immune function of volleyball players. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 6(8), 712–5. Retrieved from <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3762629&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>