



**Recuenco, D.; Juárez, D.; (2017).** Variabilidad de la frecuencia cardíaca. Consideraciones para su aplicación en el análisis de la carga y el rendimiento en fútbol. *Journal of Sport and Health Research*. 9(1):1-14.

## Review

# VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA. CONSIDERACIONES PARA SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS DE LA CARGA Y EL RENDIMIENTO EN FÚTBOL

## HEART RATE VARIABILITY: OBSERVATIONS ON ITS APPLICATION IN THE ANALYSIS OF LOAD AND PERFORMANCE IN FOOTBALL

Recuenco, D <sup>1</sup>; Juárez, D <sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Laboratorio de Entrenamiento Deportivo. Universidad de Castilla la Mancha

---

Correspondence to:  
**David Recuenco Serrano**  
Sports Training Laboratory  
University of Castilla la Mancha  
Av/ Carlos III, s/n Toledo 45071  
Email: davidrecuenco@msn.com

---

*Edited by: D.A.A. Scientific Section  
Martos (Spain)*

  
**Didactic  
Association  
ANDALUCIA**  
[editor@journalshr.com](mailto:editor@journalshr.com)

Received: 12/9/2015  
Accepted: 20/9/2016



## RESUMEN

**Introducción.** En los últimos años el uso de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) aplicada al deporte ha aumentado considerablemente, mostrando ser de gran interés. **Métodos de análisis.** Existen diferentes métodos de medida, de los cuales cabe destacar el método 5'-5', los análisis durante cortos períodos de tiempo (1 a 10 min) y el estudio de dicha variable durante la noche, ya sea durante un período temporal largo (varias horas) o durante la primera fase de sueño de ondas lentas (SWS). **Interpretación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca.** La VFC parece ser un indicador de gran utilidad en el análisis de la fatiga tras un esfuerzo. Esto es debido a que la reposición de metabolitos, así como otros procesos de recuperación, están guiados por el Sistema Nervioso Autónomo (SNA). Tras un esfuerzo, y dependiendo de la intensidad del mismo, los valores de VFC se ven alterados, siendo restablecidos en un período temporal de 24 a 72 h. Igualmente, la VFC podría modificarse debido al estrés precompetitivo. Por otro lado, mejoras en la capacidad aeróbica mediante el uso de cargas de entrenamiento bien toleradas por los deportistas podrían incrementar la VFC. Sin embargo, en el caso de cargas de entrenamiento máximas el efecto encontrado suele ser el contrario. **VFC en el fútbol.** En el fútbol, la VFC ha mostrado que puede disminuir tras la competición. Además, los cambios en el rendimiento, han sido asociados a cambios en la VFC y en el coeficiente de variación (CV) de dicho índice. **Conclusiones.** La VFC parece tener un gran potencial para el estudio de los cambios de la carga física y del rendimiento, así como de la capacidad de asimilación de esta por parte de los deportistas.

**Palabras clave:** Variabilidad de la frecuencia cardíaca, fútbol, rendimiento, fatiga.

## ABSTRACT

**Introduction:** During the last few years the use of the variability in heart rate (HRV) applied to sports has increased considerably, showing that is of great interest. **Method of analysis:** Different methods of measurement exist of which include the method 5'-5', the analysis during short periods of time (1-10 minutes) and the study of said variable during the night, that is to say during a long period of time (various hours) or during the first slow wave sleep phase (SWS). **Interpretation of the variability of heart rate:** HRV seems to be a very useful indicator in the analysis of fatigue after exertion. This is due to the replacement of metabolites, and other recuperation processes which are determined by the Automatic Nervous System (ANS). After exertion, depending on its intensity, the values of HRV are altered, and are then restored during a period of 24 to 72 hrs. HRV can also be modified due to pre competitive stress. On the other hand, progress in aerobic capacity through the use of training loads, which are well tolerated by athletes, can increase HRV. However, if maximum loads are used the effect is the opposite. **HRV in football:** It has been demonstrated that in football HRV can diminish after a match. In addition, performance has been linked to changes in HRV and in the coefficient of variation (CV) of said index. **Conclusions:** HRV appears to have a great potential in the study of changes in physical loads, as does the capacity of athletes to assimilate this.

**Key words:** heart rate variability, football, performance, fatigue.



## INTRODUCCIÓN

Tanto entrenadores como deportistas buscan constantemente establecer un equilibrio entre la fatiga acumulada por las cargas de entrenamiento o competición y la recuperación de las mismas. Salvo en aquellos bloques específicos diseñados con el objetivo de acumular fatiga, cuyo fin es buscar un proceso agudo de sobreentrenamiento, una variación inadecuada de estos parámetros podría incidir negativamente en el rendimiento de los sujetos (Stanley et al., 2013a). Buscando una herramienta que permita cuantificar y controlar la adaptación de los deportistas a dichas cargas de entrenamiento, de la forma más precisa y menos invasiva posible, se ha propuesto el uso de algunas variables como la FC, la VFC o la Frecuencia cardíaca de recuperación (RFC) (Buchheit, 2014).

La RFC es considerada un indicador del tono parasimpático (Buchheit et al., 2006; Buchheit, Papelier, et al., 2007). Aporta información acerca de la retirada del tono simpático (Kannankeril et al., 2004) y es una herramienta de gran utilidad en el análisis de la actividad parasimpática tras un esfuerzo (60 – 300 seg dependiendo del método utilizado) (Buchheit et al., 2007). La VFC por otro lado, nos aporta información sobre la modulación de la frecuencia cardíaca (Buchheit et al., 2006). Teniendo esto en cuenta, la primera, sólo nos permitirá realizar un seguimiento del estado del sistema nervioso autónomo (SNA) de los sujetos si se repite un esfuerzo de forma sucesiva en el tiempo que dure la recuperación (Stanley et al., 2013a). Por este motivo, en el presente texto se ha elegido el uso de la VFC, indicador que nos permitirá realizar un seguimiento de los sujetos de manera individualizada, no invasiva y sin necesidad de pruebas accesorias. Así, los objetivos de la presente revisión fueron, estudiar los métodos de análisis de la VFC, así como la interpretación de la misma y su utilidad en el fútbol.

Algunas variables que pueden resultar de gran interés en el análisis de la VFC se muestran en la tabla 1.

## MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LA VFC

Se han propuesto diferentes métodos de medida para el registro de la VFC entre los cuales podemos encontrar (Buchheit, 2014) (figura 1):

- Mediciones en reposo.

- Mediciones post ejercicio físico.
- Mediciones durante el ejercicio físico.

**TABLA 1.** Descripción de algunas de las variables de mayor interés para el análisis de la VFC.

Parámetro	Definición (Task-Force, 1996)
<b>Dominio Temporal</b>	
RR (NN)	Intervalo entre dos latidos
SDNN	Desviación estándar de los intervalos NN
rMSSD	Raíz cuadrada de la media de la suma de las diferencias al cuadrado de los intervalos RR. A veces se analiza su logaritmo neperiano (Ln rMSSD).
pNN50	Porcentaje de los intervalos NN consecutivos cuya diferencia es mayor de 50 ms
<b>Dominio de Frecuencia</b>	
VLF	Muy baja frecuencia
LF	Baja frecuencia
HF	Alta frecuencia
LF/HF	Proporción baja frecuencia/alta frecuencia
<b>Métodos no lineales</b>	
SD1	Desviación estándar de los intervalos ortogonales de los puntos Rri, Rri + a al diámetro transversal de la elipse
SD2	Desviación estándar de los intervalos ortogonales de los puntos Rri, Rri + a al diámetro longitudinal de la elipse

En cuanto a las mediciones realizadas durante el ejercicio, Buchheit (2014) en una revisión publicada recientemente, nos muestra que esta variable puede ser analizada como un valor de condición física de los sujetos (Lewis et al., 2007; Sandercock et al., 2006; Tulppo et al., 1998; Tulppo et al., 1996). Sin embargo, hasta que nuevas investigaciones demuestren lo contrario, este tipo de mediciones no aportan una utilidad significativa (Buchheit, 2014).

Por otro lado, durante la pasada década se investigó ampliamente el interés del análisis de esta variable tras el ejercicio físico (Yamamoto et al., 2001). Uno de los métodos más utilizados hasta la fecha ha sido el propuesto por Buchheit, Mendez-Villanueva, et al. (2010) denominado 5'-5'. Consiste en realizar 5 min de carrera continua a velocidad submáxima ( $\approx 60\%$  de la velocidad aeróbica máxima) seguidos de 5 min de recuperación. La frecuencia cardíaca media analizada durante los últimos 30 seg. de la carrera



continúa son denominados Frecuencia Cardíaca del Ejercicio ( $FC_{ej}$ ), la RFC es analizada durante los 60 seg posteriores al ejercicio físico y la VFC se analiza en los 3 últimos min del período de 5 min de recuperación.

VFC EN FÚTBOL	
MAÑANA	NOCHE
Al despertar: • 5-10 min • Tendido supino	Durante el sueño: • 4 h • SWS

Figura 1. Propuestas de análisis de la VFC de mayor interés para su aplicación al fútbol. Elaboración propia.

Hay diversos factores que condicionan la correcta obtención de los datos de VFC durante este test (Buchheit, 2014). Estos pueden ser la regulación de la presión sanguínea, la actividad barorrefleja, los cambios producidos en la retirada del sistema nervioso simpático (SNS) y la activación del sistema nervioso parasimpático (SNP) (Buchheit, Papelier, et al., 2007; Stanley et al., 2013a). Debido a que la intensidad del ejercicio puede condicionar los valores analizados tanto de VFC como de RFC, se ha propuesto el uso de intensidades menores o iguales al primer umbral ventilatorio ( $\leq VT1$ ) (Buchheit, Papelier, et al., 2007). Pese a esto, resulta difícil mantener a todos los deportistas corriendo a una misma velocidad de forma previa a los entrenamientos para poder obtener los datos. Además, el gran número de variables que pueden afectar a los resultados son un importante factor contaminante a tener en cuenta (Buchheit, 2014). Esto dificulta el uso de este método en la práctica diaria del fútbol.

Finalmente, en referencia a las mediciones en períodos de reposo, diversos estudios (Boullosa et al., 2013; Bricout et al., 2010; D'Ascenzi et al., 2014; Dupuy et al., 2013; Edmonds et al., 2013; Flatt et al., 2015b) han utilizado este método como una herramienta válida para el análisis de la VFC. Fisiológicamente, dicha variable podría verse modificada por la morfología de la musculatura cardíaca, el volumen plasmático, la posición corporal y la actividad del SNA (Buchheit, 2014).

Una opción muy interesante para el análisis de esta variable durante el citado período temporal se trata del registro de cortos períodos de tiempo (1-10 min) (D'Ascenzi et al., 2014; Flatt et al., 2015a; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013; Stanley et al., 2013a). Esta, es una posibilidad que aporta gran comodidad a los sujetos y requiere poco tiempo para ser llevada a cabo. Aunque algunos autores como Oliveira et al. (2013) han optado por realizar estas mediciones durante la tarde, la VFC es muy sensible a los cambios de luz, temperatura, ruido, actividad física previa, estrés, alimentación, etc., (Buchheit, 2014; Edmonds et al., 2013; Leti et al., 2013) por lo que la mejor opción para realizar estas mediciones podría ser justo al despertar por la mañana (Buchheit, 2014).

La posición del sujeto para realizar este tipo de mediciones puede variar en función de la opinión del entrenador o investigador. Así, se han propuesto como opciones válidas tanto la posición de bipedestación, como de tendido supino (Edmonds et al., 2013; Schmitt et al., 2013) o sedestación (Oliveira et al., 2013). A día de hoy no parece estar claro que una opción sea mejor que la otra u ofrezca información adicional. Por otro lado, las limitaciones en este tipo de mediciones van a estar ligadas a la utilización de la misma cama, la hora a la que se despierta el sujeto, un lugar tranquilo, la actividad previa a la medición,... (Buchheit, 2014).

Otra opción para realizar el análisis de la VFC en condiciones de reposo podría ser su registro durante la noche. Este período temporal representa teóricamente el momento más estable para realizar las mediciones y por lo tanto menos influenciado por las condiciones externas (Buchheit, 2014), siendo quizás el momento idóneo para su estudio. Tradicionalmente, el análisis de la VFC durante la noche se ha realizado analizando un período temporal de 4 h comenzando el análisis 30 min después de que el sujeto se meta en la cama para dormir (Hynynen et al., 2010; Myllymaki et al., 2012) (figura 2). Los diferentes patrones de sueño, así como las posibles alteraciones en su transcurso al comparar una noche con otra podrían implicar un problema en la interpretación de los resultados. Para solucionar dicho problema, se ha propuesto analizar momentos concretos de las fases de sueño de ondas lentas (SWS) (figura 3) los cuales ofrecen una gran estabilidad de la señal así como una influencia



disminuida de agentes externos o de los cambios en la respiración (Brandenberger et al., 2005; Bricout et al., 2010; Buchheit, 2014; Dupuy et al., 2013; Leti et al., 2013).

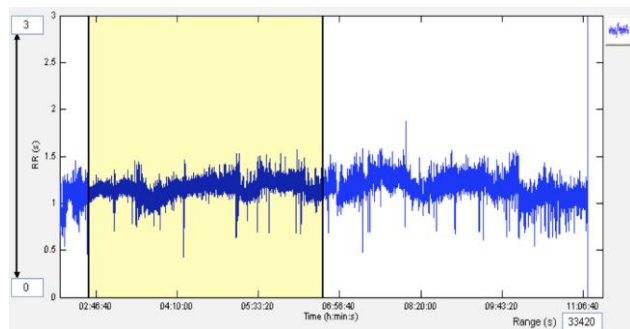


Figura 2. Análisis de la VFC durante la noche (4 h). Elaboración propia (software Kubios HRV, v. 2.1).

En nuestra opinión, hay dos métodos en la literatura científica, haciendo referencia al análisis de la primera fase de sueño de ondas lentas, los cuales merecen mención especial. Por un lado, Bricout et al. (2010) y Leti et al. (2013) analizaron 30 min de forma continua durante dicha fase. Este período fue seleccionado mediante el análisis de la frecuencia cardíaca registrada durante toda la noche.

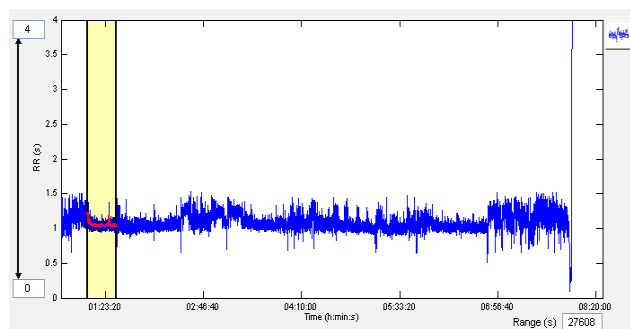


Figura 3. Análisis de la VFC durante la primera fase de sueño de ondas lentas (SWS). Elaboración propia (Kubios HRV, v. 2.1).

Por otro lado, el análisis de la frecuencia cardíaca podría ser realizado durante períodos temporales cortos extraídos de la primera fase de sueño de ondas lentas (Brandenberger et al., 2005; Buchheit et al., 2004). Este tipo de registros ha necesitado tradicionalmente del uso de electroencefalogramas los cuales aportaran la información necesaria para la detección de las diferentes fases del sueño. Sin embargo, las peculiares características de los diferentes índices asociados con la frecuencia

cardíaca, nos permiten su estudio de forma bastante precisa sin necesidad de utilizar dicho instrumental (Buchheit, 2014). Así, por ejemplo Dupuy et al. (2013) analizaron los primeros y más estables 10 min del registro de frecuencia cardíaca extraídos de un total de 15 min localizados dentro de la primera fase de sueño de ondas lentas. Por otro lado, Stanley et al. (2013b) realizaron el análisis de la VFC reduciendo el tiempo de análisis de 15 a 5 min, siendo estos los más estables dentro del mismo período temporal.

Para localizar la primera fase de sueño de ondas lentas Brandenberger et al. (2005) describieron las características de la misma:

1. Menor valor absoluto para todos los índices de VFC (LF, rMSSD, LF/(LF+HF)) a excepción del índice HF/(LF+HF).
2. Menor índice SDNN cuando es comparado con otros momentos temporales del tacograma.
3. Ritmo respiratorio normal y regular.
4. Una distribución gráfica de puntos (Poincare plot) muy agrupados con valores casi equivalentes para las variables SD1 y SD2.

De esta forma, estudios como el realizado por Dupuy et al. (2013) han utilizado el segundo y el cuarto punto aquí descritos para localizar con la mayor precisión posible el período de análisis a estudiar. En este tipo de registros también se pueden observar algunos problemas metodológicos. Así, estas mediciones pueden ser molestas para los sujetos condicionando los resultados y acumulando errores en la medición (Buchheit, 2014). Sin embargo, el uso de nuevas tecnologías, como el sistema Firstbeat Bodyguard, el cual ya ha sido utilizado previamente (Naranjo et al., 2014) podría ayudar a la comodidad de las mediciones e implementar significativamente la calidad de los resultados obtenidos.

### INTERPRETACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA. RELACIÓN CON LA FATIGA Y EL RENDIMIENTO

La fatiga podría ser definida como un descenso en el rendimiento muscular asociado con la actividad física (Allen et al., 2008). En el fútbol, la fatiga post partido podría ser causada por diversos factores como la deshidratación, la depleción del glucógeno muscular, el daño muscular generado por la actividad física, o a la fatiga mental y psicológica (Nedelec et al., 2012)



pudiendo, estos parámetros, verse modificados de una semana a otra. Además, ésta no solo depende del nivel físico de los deportistas, sino que también se verá afectada por el resultado, la calidad del oponente, jugar en casa o fuera (Lago-Penas et al., 2011), el tiempo atmosférico, la superficie del terreno de juego (Pinnington et al., 2001) u otros factores dependientes de las acciones de juego como el número de aceleraciones realizadas (Akenhead et al., 2013).

Tanto la reposición de metabolitos como otros procesos de recuperación son regulados por el SNA (Stanley et al., 2013a). Durante dicho proceso, el sistema cardiovascular tiene un papel fundamental restaurando la homeostasis (Fortney et al., 1985), por lo que quizás, los cambios en la actividad autónoma cardíaca sean una buena herramienta para reflejar las modificaciones producidas en el estado físico de los deportistas (Bricout et al., 2010; Edmonds et al., 2013). De esta forma, se justifica el uso de la VFC como una variable de gran interés.

Con una recuperación adecuada, la actividad parasimpática puede volver a los valores previos al ejercicio en un período temporal de 24 a 72 h o incluso superar dichos valores (Al Haddad et al., 2009; Buchheit, Laursen, et al., 2007; Edmonds et al., 2013; Gratze et al., 2005; Hautala et al., 2001; James et al., 2002; James et al., 2012; Mourot et al., 2004; Seiler et al., 2007; Stanley et al., 2012; Stanley et al., 2013b). Su recuperación está relacionada con los cambios producidos por la actividad física en el volumen plasmático, estando este regulado por el SNA (Buchheit et al., 2009; Convertino, 2003). Tras la práctica deportiva, los niveles de volumen plasmático se recuperan hasta alcanzar los valores previos al ejercicio, evidenciando la restauración de la homeostasis. Sin embargo, esto no significa necesariamente la recuperación de todos los sistemas (ej.: sustratos energéticos) (Stanley et al., 2013a).

La intensidad del ejercicio físico afecta directamente a la velocidad de recuperación de la actividad parasimpática. Stanley et al. (2013a) nos muestran en una revisión realizada recientemente que tras una actividad deportiva a bajas intensidades la recuperación podría darse dentro de las primeras 24 h post ejercicio físico. Según aumenta esta intensidad, el tiempo de recuperación se ve igualmente incrementado pudiendo llegar a necesitar al menos 48

h para aquella actividad física o entrenamientos realizados a alta intensidad. En los deportes de equipo, Edmonds et al. (2013) realizaron un estudio con 26 jugadores de rugby de categoría juvenil ( $18.6 \pm 0.9$  años). Los datos fueron registrados en condiciones de reposo (tendido supino), en una habitación en silencio, justo antes de los entrenamientos de la tarde. Observaron que tras un partido, los valores para el índice HF ( $\text{HF m.s}^2$  y HF unidades normalizadas) permanecieron disminuidos entre 1 y 2 días, aumentando para las variables LF (unidades normalizadas) y el cociente LF/HF. Esto evidencia un aumento del tono simpático en los sujetos estudiados. La tendencia de estas variables resulta interesante ya que en los días posteriores, un descenso de dicho tono simpático acompañado de un aumento de la actividad parasimpática y del volumen plasmático (Buchheit et al., 2009) producirá un proceso de supercompensación (aumento del  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ) (Gledhill et al., 1999; Krip et al., 1997) el cual podría ser ideal para entrenar y alcanzar nuevas mejoras en el rendimiento (Bompa, 2007). Por lo tanto, conocer estas variables podría otorgar a los técnicos la posibilidad de analizar la respuesta individualizada de cada uno de sus deportistas a las cargas expuestas (figura 4).

Lo descensos en la actividad parasimpática han sido relacionados también con el estrés pre competitivo (Mateo et al., 2012). D'Ascenzi et al. (2014) mostraron en un equipo de Voleibol femenino de elite ( $26.9 \pm 4.5$  años) cómo los valores de VFC (HF%) disminuyeron respecto a los valores basales un día antes de la competición y el día de la competición, aumentando en el caso de variables como el índice SD2 (ms), evidenciando así, alteraciones en el SNA. Esto nos muestra el interés de este tipo de mediciones no sólo como medidas de rendimiento físico o fatiga, sino también como un indicador del estado emocional de los sujetos.

En cuanto a la relación existente entre la VFC y los cambios en el rendimiento, por lo general mejoras en la capacidad aeróbica mediante el uso de cargas de entrenamiento bien toleradas por los deportistas incrementan la VFC (Buchheit, Chivot, et al., 2010; Iwasaki et al., 2003; Pichot et al., 2002). Sin embargo, en el caso de cargas de entrenamiento máximas el efecto encontrado es el contrario (Iwasaki et al., 2003; Pichot et al., 2000). De esta forma, se ha



mostrado que un aumento del rendimiento en un test de máxima velocidad aeróbica (Vam-Eval) está asociado con un incremento ( $\Delta$ ) en los valores de VFC (Ln rMSSD) (Buchheit et al., 2012).

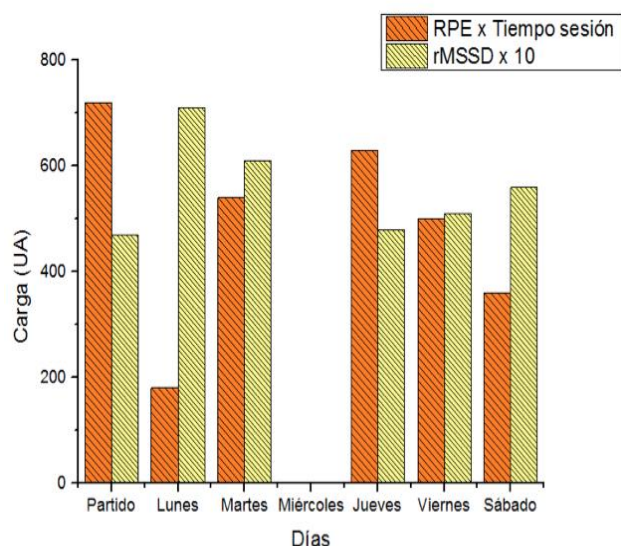


Figura 4. VFC analizada durante la noche tras un partido de fútbol para una futbolista de élite. 6 días de análisis. Comparación con la carga de entrenamiento. Elaboración propia (datos extraídos del software Kubios HRV, v. 2.1).

Sin embargo esto no siempre sucede de esta manera. Los estudios realizados con atletas de resistencia de élite muestran resultados contradictorios (Buchheit, 2014; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). Cabría esperar, que durante un período de preparación para una competición, durante la primera fase del mismo (sobreenentrenamiento) descendiera la VFC, mientras que en la fase final (tapering), dichos índices aumentarían (Buchheit, 2014). No obstante en este tipo de atletas sucede lo contrario (Hug et al., 2014). Para la primera fase de entrenamiento donde el volumen y las sesiones de baja intensidad aumentan, la explicación a un incremento en la VFC podría estar relacionada con la capacidad de estos sujetos de recuperarse de las sesiones de entrenamiento y por lo tanto evitar que los diferentes valores de VFC disminuyan. Por otro lado, en la fase de tapering donde la intensidad de las sesiones aumenta, la VFC podría disminuir durante varios días (Buchheit, 2014) viéndose aumentado este efecto por un descenso del volumen plasmático debido al menor volumen de entrenamiento (Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). Así mismo, otros mecanismos que podrían explicar el descenso en la VFC en la fase final de preparación

para una competición en estos atletas podría ser la ansiedad precompetitiva o el fenómeno de saturación (Buchheit, 2014; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). Esto nos indica la necesidad de individualizar los datos así como de tener en cuenta el contexto de los mismos en su interpretación.

El fenómeno de saturación puede aparecer en deportistas con una gran trayectoria deportiva cuya FC es muy baja (Buchheit, 2014). Para una mejor interpretación de los resultados se ha propuesto el uso del ratio Ln rMSSD/RR junto con la variable de VFC, Ln rMSSD (Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). La interpretación de estas variables de forma conjunta aún no está clara, sin embargo parece ser que una reducción en la variable Ln rMSSD junto con un aumento del ratio Ln rMSSD/RR podría indicar fatiga. Por otro lado, un descenso de los dos podría estar mostrando un fenómeno de saturación y la buena disposición del sujeto para competir, mientras que un aumento de estas podría suponer un incremento en la actividad simpática (Buchheit, 2014). En los deportes de equipo tales como el fútbol, donde el sistema nervioso no sólo se ve afectado por la carga física, sino que además, se compete cada semana, debe confirmarse la utilidad del uso de estos índices así como la precisión en la interpretación de los resultados.

## VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA EN EL FÚTBOL

El deporte que nos ocupa, al igual que otros, ha sido objeto de estudio en cuanto al análisis de la VFC se refiere (Boullousa et al., 2013; Buchheit, Mendez-Villanueva, et al., 2010; Buchheit et al., 2012; Thorpe et al., 2015).

El interés del análisis de la VFC en el fútbol fue mostrado por Bricout et al. (2010) quien analizó durante 5 meses 8 jugadores de fútbol de  $14.6 \pm 2$  años. Estos autores, estudiaron si la VFC era un índice útil para registrar los cambios en el estado físico de los deportistas de forma diaria. Analizaron la VFC después de un día de descanso, después de un día de entrenamiento y tras un día de competición. El registro de los datos fue realizado durante la noche mediante el uso de pulsímetros RS800, analizando un total de 30 min dentro de la primera fase de sueño de ondas lentas. Los autores mostraron, que para esta muestra de deportistas, los valores de VFC, HF (expresado como  $m.s^2$  y unidades normalizadas),



intervalos RR y pNN50 disminuyeron significativamente ( $p < 0.05$ ) tras los partidos de fútbol y no tras los días de entrenamiento, aumentando igualmente en el caso de las variables LF (unidades normalizadas) y LF/HF (%). Además, tras la competición, los valores de FC se mantuvieron elevados más tiempo que tras los días de descanso.

Estos datos, han sido ampliados por Thorpe et al. (2015). En este estudio se analizaron 10 jugadores ( $19.1 \pm 0.6$ ) pertenecientes a la primera división inglesa de fútbol, durante un período de entrenamiento de 17 días. Los futbolistas fueron monitorizados mediante el uso de la tecnología de posicionamiento global GPS y cumplimentaron un cuestionario de bienestar (fatiga, dolor muscular y calidad de sueño) diariamente. Se realizó también un test de salto (CMJ), y la VFC fue registrada durante el calentamiento, mediante una variante del test 5'-5' en cicloergómetro. Los cambios en las variables Ln rMSSD ( $r = -0.24$ , small,  $p = 0.04$ ), percepción subjetiva de la fatiga ( $r = -0.51$ , large,  $p < 0.001$ ) y altura alcanzada en el test de salto ( $r = .23$ , small,  $p = .04$ ) correlacionaron con las fluctuaciones diarias en la distancia total recorrida a alta velocidad ( $> 14.4 \text{ km.h}^{-1}$ ). Estos dos estudios nos muestran que la VFC puede ser una herramienta con un gran potencial para analizar las variaciones diarias en la carga de entrenamiento en futbolistas, así como, el estado físico de los mismos.

Por otro lado, en cuanto al uso de estas variables para monitorizar cambios en el rendimiento, Buchheit, Mendez-Villanueva, et al. (2010) realizaron un estudio con un total de 36 sujetos, 19 participantes eran menores de 15 años y 17 menores de 17 años. El estudio fue llevado a cabo durante 3 semanas de competición. Dos semanas previas a la misma, se realizó un test incremental para conocer la máxima velocidad aeróbica (MAS) de los sujetos y la frecuencia cardíaca máxima ( $FC_{\text{máx}}$ ). Durante el período de campeonato se eligieron algunos días para evaluar el valor de un test de salto (CMJ). De igual forma se analizó la VFC (Ln rMSSD) durante los calentamientos a través del test 5'-5'. La carga de entrenamiento se estimó utilizando el tiempo de las sesiones. Los autores concluyen que tanto la edad de los sujetos, el momento de maduración de los mismos así como la actividad realizada parece improbable que afecten a cualquier variable de la FC

estudiadas, siendo los pequeños cambios en la VFC en el día a día asociados con los propios ajustes en la homeostasis de los sujetos. Sin embargo, un mayor nivel cardiorrespiratorio de los deportistas fue asociado con una menor variabilidad en los datos registrados de FC, observándose un menor coeficiente de variación (CV).

De igual forma, hay que tener en cuenta que la VFC podría verse modificada en condiciones extremas. Para estudiar esto, Buchheit et al. (2011) analizaron 15 jugadores pertenecientes a la primera división de las Islas Feroe y a la segunda división Danesa ( $26.2 \pm 5$  años). El estudio fue realizado durante 11 días de entrenamiento en condiciones de calor extremo. Se realizó un test Yo-Yo nivel 1 al inicio y al final del estudio, además de un test 5'-5', llevado a cabo durante los calentamientos, para el análisis de la VFC (log SD1) los días 3°, 4°, 5°, 9°, 10° y 11°. Adicionalmente, se obtuvieron muestras de sangre cada mañana para el estudio del volumen plasmático y la enzima creatina fosfoquinasa. Se observó que durante la intervención, las variables VFC y  $FC_{\text{ej}}$  mostraron fluctuaciones constantes estando sólo la segunda relacionada con los cambios en el rendimiento (test Yo-Yo).

En otro estudio realizado por Buchheit et al. (2012), se estudió la utilidad de los índices  $FC_{\text{ej}}$ , RFC y la VFC (rMSSD) analizada mediante el test 5'-5'. La muestra estaba compuesta por 92 jugadores de fútbol con una media de edad de  $15.0 \pm 1.4$  años. Los jugadores fueron analizados tres veces durante el período competitivo. Los test físicos realizados fueron un test incremental máximo (Vam-Eval), un CMJ, un test de velocidad de 40 m y un test de sprints repetidos. Los investigadores observaron que un incremento del rendimiento en el test incremental estaba asociado con un descenso en la variable  $FC_{\text{ej}}$  y un incremento en la VFC (Ln rMSSD), además, los autores cuestionan el uso de la  $FC_{\text{ej}}$  y la VFC como herramientas útiles para detectar descensos en el rendimiento.

Posteriormente, con el objetivo de comprobar si estas variables podrían servir como índices válidos para mostrar cambios en el rendimiento durante una pretemporada de fútbol Boullosa et al. (2013) compararon mediante el uso de mediciones nocturnas (3 h) la VFC con un test Yo-Yo nivel 1 y un test de Gacon en 8 jugadores de fútbol ( $24.0 \pm 4.0$  años)



profesionales de la liga española. Los datos fueron tomados durante la primera semana y la última (semana 8), cuantificando la carga de las sesiones de entrenamiento mediante el tiempo empleado en las mismas. La VFC (SDNN y SD2) aumentó significativamente después de la pretemporada. Sorprendentemente los valores de  $FC_{max}$  descendieron en la semana 8 para ambos test, no aumentando el rendimiento, mientras que el CV para la variable rMSSD aumentó al final de la pretemporada. Lo primero podría ser explicado debido a un posible sobreentrenamiento de los sujetos o a un menor esfuerzo de los mismos durante la realización de los test, mientras que el incremento en el coeficiente de variación es explicado por los autores como una posible y caótica adaptación a los entrenamientos.

El análisis de la VFC se realizó obteniendo la media de 4 días elegidos al azar para cada semana. Esto resulta interesante puesto que para comparar los datos de una semana y otra, al menos la media de los valores de tres días deben ser tenidos en cuenta. Esto es debido a que una medición de la VFC aislada podría verse influenciada por diversos factores y comprometer la interpretación de los resultados (Plews, Laursen, Le Meur, et al., 2013).

Finalmente, en cuanto al fútbol masculino se refiere, resulta de interés mencionar las aportaciones realizadas por Naranjo et al. (2014). Estos autores han propuesto el uso de dos nuevos índices para el análisis de la VFC, denominados, índice de estrés (SS), calculado como  $1000 \times 1/SD2$ , y el ratio S:PS, calculado como un cociente entre la variable anterior y el índice SD1 (SS:SD1). Estos índices, junto con al menos una variable de dominio temporal más (ej. rMSSD) han mostrado ser de gran utilidad en el seguimiento de las cargas de entrenamiento en jugadores de fútbol de élite (Naranjo et al., 2015). Sin embargo, se deben realizar nuevas investigaciones que confirmen la utilidad de estas variables y su interpretación en un deporte tan complejo como el fútbol.

#### VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA EN EL FÚTBOL FEMENINO

En cuanto al fútbol femenino, Flatt et al. (2015b) analizaron 9 futbolistas universitarias no profesionales con una edad media de  $22 \pm 1.9$  años. La VFC fue registrada por las mañanas mediante el

uso de la aplicación *ithlete™ VFC* para smartphone durante 1 min en posición de tendido supino y 1 min en bipedestación. Ambas posiciones fueron precedidas por 1 min de estabilización de la señal. La carga de la sesión fue calculada multiplicando el índice RPE de la misma por tiempo empleado en esta, o en caso de las sesiones de fuerza, por el número de repeticiones. Además se pasó un cuestionario de bienestar para controlar de forma subjetiva el estado físico de las jugadoras (McLean et al., 2010). Se observó que el CV (CV Ln rMSSD) semanal representó de manera más precisa los cambios en la carga de entrenamiento que los valores medios de VFC (Ln rMSSD), además, las fluctuaciones diarias en la VFC fueron mayores en las semanas con una alta carga de entrenamiento en comparación con aquellas con una baja carga física.

Por otro lado, Flatt et al. (2015a), analizaron en una muestra de jugadoras de fútbol universitarias no profesionales ( $22 \pm 2.3$  años,  $VO2_{max}$   $46.1 \pm 3.3$ ) si los cambios en las variables de VFC (Ln rMSSD), realizadas en posición de tendido supino con una metodología similar al estudio anterior, estaban relacionados con los cambios en el rendimiento analizados a través de un test Yo-Yo nivel 1. El test Yo-Yo fue realizado el jueves de la semana 1 y a la misma hora el jueves de la semana 5, mientras que la VFC fue registrada la primera y la tercera semana como una media de los días analizados. Los autores observaron una correlación significativa entre el  $\Delta$  Yo-Yo y el  $\Delta$  CV Ln rMSSD ( $r = -0.74$ ;  $p = 0.006$ ). Esto indica que un descenso en la variable CV Ln rMSSD estuvo relacionado con una importante mejora en el test Yo-Yo nivel 1.

#### ÍNDICES DE MAYOR UTILIDAD EN EL FÚTBOL

En la actualidad, no existe un consenso claro en cuanto a qué variable podría aportar una información de mayor relevancia frente a las demás. Sin embargo, el uso del índice rMSSD, posee un interés especial. Éste, tiene una fiabilidad mayor al ser comparado con otros (Haddad et al., 2011), sobre todo, al realizar las mediciones fuera de un contexto de condiciones clínicas controladas (Penttilä et al., 2001). Además, el hecho de ser una variable que puede calcularse de forma sencilla mediante el uso de una hoja de Excel (Buchheit, 2014), hace su cálculo posible para cualquier técnico deportivo, siendo propuesto como



única variable de estudio en diversas publicaciones (Buchheit et al., 2012; Flatt et al., 2015a; Thorpe et al., 2015).

Por otro lado, debido a la variedad de resultados encontrados por los diversos estudios realizados hasta la fecha, quizás el uso combinado del índice rMSSD (Ln rMSSD) con la variable HF, la cual ha mostrado ser de interés para el análisis del estado físico pre (D'Ascenzi et al., 2014) y post competición (Bricout et al., 2010) pueda aportar una información bastante completa a los técnicos deportivos. Sin embargo, se deberán realizar nuevos estudios que permitan comprobar esta hipótesis así como su posible interpretación de manera combinada.

### CONCLUSIONES

El uso de la VFC presenta una herramienta no invasiva y de fácil registro con un gran potencial en cuanto a su utilidad en el fútbol. Un aumento de la VFC (ej.: Ln rMSSD), o un descenso en el CV podrían estar relacionados con una mejora del rendimiento o una buena asimilación de las cargas de entrenamiento. De igual forma, un descenso en variables como el índice HF, podrían indicar fatiga post competitiva o estrés precompetitivo. Dentro de los métodos de registro propuestos, realizar las mediciones justo al despertar durante cortos períodos temporales, o durante la noche, quizás permitan un registro más estable de los datos. Por otro lado, la combinación de variables como el valor de HF o el índice rMSSD (Ln rMSSD), podrían informar a los técnicos deportivos con mayor precisión acerca de los cambios en el estado físico de los deportistas. Sin embargo, se deben realizar nuevas investigaciones que analicen la utilidad de dichos índices, así como las nuevas variables propuestas, a lo largo de diferentes tipos de microciclos, a fin de conocer la respuesta de los deportistas ante distintas situaciones. Esto es debido a la gran importancia que tiene el contexto en el resultado de las mediciones.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Akenhead, R., Hayes, P. R., Thompson, K. G., y French, D. (2013). Diminutions of acceleration and deceleration output during professional football match play. *J Sci Med Sport*, 16(6), 556-561.
2. Al Haddad, H., Laursen, P. B., Ahmaidi, S., y Buchheit, M. (2009). Nocturnal heart rate variability following supramaximal intermittent exercise. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 4(4), 435-447.
3. Allen, D. G., Lamb, G. D., y Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev*, 88(1), 287-332.
4. Bompa, T. O. (2007). *Periodización. Teoría y metodología del entrenamiento*. Barcelona: Hispano Europea.
5. Boullousa, D. A., Abreu, L., Nakamura, F. Y., Muñoz, V. E., Dominguez, E., y Leicht, A. S. (2013). Cardiac Autonomic Adaptations in Elite Spanish Soccer Players During Preseason. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 8(4), 400-409.
6. Brandenberger, G., Buchheit, M., Ehrhart, J., Simon, C., y Piquard, F. (2005). Is slow wave sleep an appropriate recording condition for heart rate variability analysis? *Autonomic Neuroscience*, 121(1-2), 81-86.
7. Bricout, V.-A., Dechenaud, S., y 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), 112-116.
8. Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Front Physiol*, 5, 73.
9. Buchheit, M., Chivot, A., Parouty, J., Mercier, D., Al Haddad, H., Laursen, P. B., y Ahmaidi, S. (2010). Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *Eur J Appl Physiol*, 108(6), 1153-1167.
10. Buchheit, M., y Gindre, C. (2006). Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *American Journal Of Physiology. Heart And Circulatory Physiology*, 291(1), H451-H458.
11. Buchheit, M., Laursen, P. B., y Ahmaidi, S. (2007). Parasympathetic reactivation after



- repeated sprint exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 293(1), H133-141.
12. Buchheit, M., Laursen, P. B., Al Haddad, H., y Ahmaidi, S. (2009). Exercise-induced plasma volume expansion and post-exercise parasympathetic reactivation. *Eur J Appl Physiol*, 105(3), 471-481.
  13. Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Quod, M. J., Poulos, N., y Bourdon, P. (2010). Determinants of the variability of heart rate measures during a competitive period in young soccer players. *Eur J Appl Physiol*, 109(5), 869-878.
  14. Buchheit, M., Papelier, Y., Laursen, P. B., y Ahmaidi, S. (2007). Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate recovery or heart rate variability? *American Journal Of Physiology. Heart And Circulatory Physiology*, 293(1), H8-H10.
  15. Buchheit, M., Simon, C., Piquard, F., Ehrhart, J., y Brandenberger, G. (2004). Effects of increased training load on vagal-related indexes of heart rate variability: a novel sleep approach. *American Journal Of Physiology. Heart And Circulatory Physiology*, 287(6), H2813-H2818.
  16. Buchheit, M., Simpson, M. B., Al Haddad, H., Bourdon, P. C., y Mendez-Villanueva, A. (2012). Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *Eur J Appl Physiol*, 112(2), 711-723.
  17. Buchheit, M., Voss, S. C., Nybo, L., Mohr, M., y Racinais, S. (2011). Physiological and performance adaptations to an in-season soccer camp in the heat: associations with heart rate and heart rate variability. *Scand J Med Sci Sports*, 21(6), e477-485.
  18. Convertino, V. A. (2003). Baroreflex-mediated heart rate and vascular resistance responses 24 h after maximal exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 35(6), 970-977.
  19. D'Ascenzi, F., Alvino, F., Natali, B. M., Cameli, M., Palmitesta, P., Boschetti, G., Bonifazi, M., y Mondillo, S. (2014). Precompetitive assessment of heart rate variability in elite female athletes during play offs. *Clin Physiol Funct Imaging*, 34(3), 230-236.
  20. Dupuy, O., Bherer, L., Audiffren, M., y Bosquet, L. (2013). Night and postexercise cardiac autonomic control in functional overreaching. *Appl Physiol Nutr Metab*, 38(2), 200-208.
  21. Edmonds, R. C., Sinclair, W. H., y Leicht, A. S. (2013). Effect of a training week on heart rate variability in elite youth rugby league players. *International Journal Of Sports Medicine*, 34(12), 1087-1092.
  22. Flatt, A. A., y Esco, M. R. (2015a). Evaluating individual training adaptation with Smartphone-derived heart rate variability in a collegiate female soccer team. *J Strength Cond Res*, 30(2), 378-385.
  23. Flatt, A. A., y Esco, M. R. (2015b). Smartphone-derived Heart Rate Variability and Training Load in a Female Soccer Team. *Int J Sports Physiol Perform*, 10(8), 994-1000.
  24. Fortney, S. M., y Vroman, N. B. (1985). Exercise, performance and temperature control: temperature regulation during exercise and implications for sports performance and training. *Sports Med*, 2(1), 8-20.
  25. Gledhill, N., Warburton, D., y Jamnik, V. (1999). Haemoglobin, blood volume, cardiac function, and aerobic power. *Can J Appl Physiol*, 24(1), 54-65.
  26. Gratze, G., Rudnicki, R., Urban, W., Mayer, H., Schlogl, A., y Skrabal, F. (2005). Hemodynamic and autonomic changes induced by Ironman: prediction of competition time by blood pressure variability. *J Appl Physiol (1985)*, 99(5), 1728-1735.
  27. Haddad, H. A., Laursen, P. B., Chollet, D., Ahmaidi, S., y Buchheit, M. (2011). Reliability of Resting and Postexercise Heart Rate Measures. *International Journal of Sports Medicine*, 32(8), 598-605.



28. Hautala, A., Tulppo, M. P., Makikallio, T. H., Laukkanen, R., Nissila, S., y Huikuri, H. V. (2001). Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clin Physiol*, 21(2), 238-245.
29. Hug, B., Heyer, L., Naef, N., Buchheit, M., Wehrlin, J. P., y Millet, G. P. (2014). Tapering for Marathon and Cardiac Autonomic Function. *Int J Sports Med*, 35(8), 676-683.
30. Hynynen, E., Vesterinen, V., Rusko, H., y Nummela, A. (2010). Effects of Moderate and Heavy Endurance Exercise on Nocturnal HRV. *International Journal of Sports Medicine*, 31(6), 428-432.
31. Iwasaki, K., Zhang, R., Zuckerman, J. H., y Levine, B. D. (2003). Dose-response relationship of the cardiovascular adaptation to endurance training in healthy adults: how much training for what benefit? *J Appl Physiol* (1985), 95(4), 1575-1583.
32. James, D. V., Barnes, A. J., Lopes, P., y Wood, D. M. (2002). Heart rate variability: response following a single bout of interval training. *Int J Sports Med*, 23(4), 247-251.
33. James, D. V., Munson, S. C., Maldonado-Martin, S., y De Ste Croix, M. B. (2012). Heart rate variability: effect of exercise intensity on postexercise response. *Res Q Exerc Sport*, 83(4), 533-539.
34. Kannankeril, P. J., Le, F. K., Kadish, A. H., y Goldberger, J. J. (2004). Parasympathetic effects on heart rate recovery after exercise. *J Investig Med*, 52(6), 394-401.
35. Krip, B., Gledhill, N., Jamnik, V., y Warburton, D. (1997). Effect of alterations in blood volume on cardiac function during maximal exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 29(11), 1469-1476.
36. Lago-Penas, C., Rey, E., Lago-Ballesteros, J., Casais, L., y Dominguez, E. (2011). The influence of a congested calendar on physical performance in elite soccer. *J Strength Cond Res*, 25(8), 2111-2117.
37. Leti, T., y Bricout, V. A. (2013). Interest of analyses of heart rate variability in the prevention of fatigue states in senior runners. *Autonomic Neuroscience: Basic & Clinical*, 173(1-2), 14-21.
38. Lewis, M. J., Kingsley, M., Short, A. L., y Simpson, K. (2007). Rate of reduction of heart rate variability during exercise as an index of physical work capacity. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17(6), 696-702.
39. Mateo, M., Blasco-Lafarga, C., Martinez-Navarro, I., Guzman, J. F., y Zabala, M. (2012). Heart rate variability and pre-competitive anxiety in BMX discipline. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Eur J Appl Physiol*, 112(1), 113-123.
40. Mourot, L., Bouhaddi, M., Tordi, N., Rouillon, J.-D., y Regnard, J. (2004). Short- and long-term effects of a single bout of exercise on heart rate variability: comparison between constant and interval training exercises. *European Journal of Applied Physiology*, 92(4-5), 508-517.
41. Myllymaki, T., Rusko, H., Syvaaja, H., Juuti, T., Kinnunen, M. L., y Kyrolainen, H. (2012). Effects of exercise intensity and duration on nocturnal heart rate variability and sleep quality. *Eur J Appl Physiol*, 112(3), 801-809.
42. Naranjo, J., De la Cruz, B., Sarabia, E., De Hoyo, M., y Dominguez-Cobo, S. (2015). Heart Rate Variability: a Follow-up in Elite Soccer Players Throughout the Season. *Int J Sports Med*, 36(11), 881-886.
43. Naranjo, J., de la Cruz, B., Sarabia, E., Del Hoyo, M., y Cobo, S. D. (2014). Two New Indexes for the Assessment of Autonomic Balance in Elite Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform*, 10(4), 452-457.
44. Nedelec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., y Dupont, G. (2012). Recovery in soccer: part I - post-match fatigue and time course of recovery. *Sports Med*, 42(12), 997-1015.



45. Oliveira, R. S., Leicht, A. S., Bishop, D., Barbero-Álvarez, J. C., y Nakamura, F. Y. (2013). Seasonal Changes in Physical Performance and Heart Rate Variability in High Level Futsal Players. *International Journal of Sports Medicine*, 34(5), 424-430.
46. Penttilä, J., Helminen, A., Jartti, T., Kuusela, T., Huikuri, H. V., Tulppo, M. P., Coffeng, R., y Scheinin, H. (2001). Time domain, geometrical and frequency domain analysis of cardiac vagal outflow: effects of various respiratory patterns. *Clin Physiol*, 21(3), 365-376.
47. Pichot, V., Busso, T., Roche, F., Garet, M., Costes, F., Duverney, D., Lacour, J. R., y Barthelemy, J. C. (2002). Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Med Sci Sports Exerc*, 34(10), 1660-1666.
48. Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J. M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., Costes, F., Busso, T., Lacour, J. R., y Barthelemy, J. C. (2000). Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 32(10), 1729-1736.
49. Pinnington, H. C., y Dawson, B. (2001). The energy cost of running on grass compared to soft dry beach sand. *J Sci Med Sport*, 4(4), 416-430.
50. Plews, D. J., Laursen, P. B., Le Meur, Y., Hausswirth, C., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2013). Monitoring training with heart rate variability: how much compliance is needed for valid assessment? *Int J Sports Physiol Perform*, 9(5), 783-790.
51. Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports Med*, 43(9), 773-781.
52. Sandercock, G. R., y Brodie, D. A. (2006). The use of heart rate variability measures to assess autonomic control during exercise. *Scand J Med Sci Sports*, 16(5), 302-313.
53. Schmitt, L., Regnard, J., Desmarests, M., Mauny, F., Mourot, L., Fouillot, J. P., Coulmy, N., y Millet, G. (2013). Fatigue shifts and scatters heart rate variability in elite endurance athletes. *PLoS One*, 8(8), e71588.
54. Seiler, S., Haugen, O., y Kuffel, E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Med Sci Sports Exerc*, 39(8), 1366-1373.
55. Stanley, J., Buchheit, M., y Peake, J. M. (2012). The effect of post-exercise hydrotherapy on subsequent exercise performance and heart rate variability. *Eur J Appl Physiol*, 112(3), 951-961.
56. Stanley, J., Peake, J. M., y Buchheit, M. (2013a). Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescription. *Sports Med*, 43(12), 1259-1277.
57. Stanley, J., Peake, J. M., y Buchheit, M. (2013b). Consecutive days of cold water immersion: effects on cycling performance and heart rate variability. *Eur J Appl Physiol*, 113(2), 371-384.
58. Task-Force. (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J*, 17(3), 354-381.
59. Thorpe, R. T., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., y Gregson, W. (2015). Monitoring Fatigue During the In-Season Competitive Phase in Elite Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform*, 10(8), 958-964.
60. Tulppo, M. P., Makikallio, T. H., Seppanen, T., Laukkanen, R. T., y Huikuri, H. V. (1998). Vagal modulation of heart rate during exercise: effects of age and physical fitness. *Am J Physiol*, 274(2 Pt 2), H424-429.
61. Tulppo, M. P., Makikallio, T. H., Takala, T. E., Seppanen, T., y Huikuri, H. V. (1996). Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *Am J Physiol*, 271(1 Pt 2), H244-252.



62. Yamamoto, K., Miyachi, M., Saitoh, T., Yoshioka, A., y Onodera, S. (2001). Effects of endurance training on resting and post-exercise cardiac autonomic control. *Med Sci Sports Exerc*, 33(9), 1496-1502.