

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE FRECUENCIA CARDIACA DURANTE UN PROTOCOLO DE DESHIDRATACIÓN EN SUJETOS DEPORTISTAS

Erika Severeyn

Jesús Velásquez

Gilberto Perpinán

severeynrika@usb.ve

05-84824@usb.ve

gperpinan@usb.ve

Grupo de Bioingeniería y Biofísica Aplicada.

Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.

María Pacheco

Héctor Herrera

nanda.mex@gmail.com

haherrera@usb.ve

Laboratorio de Evaluación Nutricional.

Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.

Sara Wong

swong@usb.ve

Investigador PROMETEO

Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones,

Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador

Resumen. Los deportistas suelen comenzar el ejercicio con un contenido de agua corporal normal y se deshidratan durante la práctica deportiva. El déficit de agua puede contribuir al aumento de la frecuencia cardiaca y por tanto, alteraciones de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) post-ejercicio. En este trabajo se realizó un protocolo para estudiar la deshidratación a partir de la señal electrocardiográfica en deportistas, que comprendió tres fases: i) Pre-ejercicio (basal): se adquirió la señal electrocardiográfica antes de cualquier actividad física, ii) post-ejercicio (PE): los sujetos realizaron una actividad física que consistió en 37

minutos pedaleando en una bicicleta estática y 30 minutos de reposo post-ejercicio, para luego realizar una segunda adquisición electrocardiográfica, iii) post-hidratación (PH): los sujetos bebieron agua ad libitum, para finalmente realizar una última adquisición electrocardiográfica. Todas las adquisiciones electrocardiográficas se tomaron en reposo con una duración de 10 minutos, a una frecuencia de 1000 Hz, una resolución de 16 bits y se tomaron 12 derivaciones. En cada una de las fases se midió el peso de los sujetos para calcular la cantidad de líquido perdido en la fase de PE (381.25 ± 299.374 ml) y la cantidad de agua consumida en la fase PH (442.857 ± 217.276 ml). Adicionalmente, se midió la percepción subjetiva del esfuerzo realizado en la rutina de ejercicios con la escala de Borg, en donde un 73.3% de los sujetos indicaron que el esfuerzo realizado fue entre absolutamente nada y muy ligero y el 26.7% restante indicó que realizó un esfuerzo moderado, no se efectuó una rutina de ejercicios intensa, debido a que hay estudios que indican que puede alterar la respuesta autónoma, sin embargo, esto no ocurre con rutinas de ejercicios moderados o ligeros. El protocolo se efectuó a primera hora de la mañana, tenía una duración total de 3 horas y se aplicó en 17 sujetos deportistas, de sexo masculino y edades comprendidas entre $22,625 \pm 2,125$ años. Se realizó el estudio de la VFC en cada una de las señales electrocardiográficas mediante la obtención del intervalo RR, RMSSD, SDRR, LF, HF y el LF normalizado (LFN). Se observó una disminución estadísticamente significativa ($p < 0.05$ -Wilcoxon) en el intervalo RR, SDRR, RMSSD, LF y HF, entre las fases basal y PH, lo que podría sugerir una disminución del tono parasimpático durante el proceso de deshidratación. En el análisis de correspondencias simples, con un porcentaje representativo acumulado de las variables de un 93.97%, se encontró una distribución que sugiere que las variables LFN y HF, con contribuciones de 44.44% y 31.19% respectivamente, pueden discriminar entre la etapa PE y la etapa basal. Los hallazgos encontrados en este trabajo sugieren que los parámetros RR, RMSSD, SDRR, LF, HF y LFN de la VFC podrían diferenciar entre fases de hidratación y deshidratación en el individuo deportista, lo cual podría aplicarse en la detección temprana de la deshidratación, empleando los dispositivos móviles que son muy usados por los deportistas actualmente.

Palabras Claves: Deshidratación, Variabilidad de la frecuencia cardiaca, Análisis estadístico, Análisis de correspondencias simples.

Abstract. *Athletes usually start the training with normal body water content and dehydrate during sports. The water deficit may contribute to increased heart rate and therefore impaired heart rate variability (HRV) post-exercise. This paper presents a protocol to study the dehydration from the electrocardiographic signal in athletes, which comprised three phases: i) Pre-exercise (Baseline): ECG signal is acquired in athletes before any physical activity, ii) post-exercise (PE): athletes performed a physical activity that consisted of 37 minutes pedaling a stationary bike and 30 minutes post-exercise rest, and then a second ECG acquisition were performed, iii) post-hydration (PH): the subjects drank water ad libitum, and a final ECG acquisition were made. All ECG acquisitions were taken at rest for a period of 10 minutes, a sampled frequency of 1000 Hz, a resolution of 16 bits, and 12 leads were taken. In each phase, the weight of the subjects was measured to calculate the amount of lost fluid in the PE phase (381.25 ± 299.37 ml) and the amount of water consumed in the PH phase (442.85 ± 217.27 ml). In addition, the subjective perception of effort into the exercise routine with the Borg scale were performed, 73.3% of subjects reported that the effort was between very light and light and the remaining 26.7% said they performed was measured somewhat hard effort. An intensive routine*

was not performed since studies show that can alter the autonomic response due exercise. The protocol was carried out in the morning. The sample consisted of 17 male athletes, age 22.62 ± 2.12 years old. The study of HRV in each of the electrocardiographic signals was performed by obtaining the RR interval, RMSSD, SDRR, LF, HF and normalized LF (LFN). A statistically significant decrease was observed ($p < 0.05$ -Wilcoxon) in the RR, SDRR, RMSSD, LF and HF between basal and PH phases, which would suggest a decrease in parasympathetic tone during the dehydration process. In the simple correspondence analysis, with a cumulative percentage representing the variables of 93.97%, it was found a distribution that suggests that LFN and HF variables, with contributions of 44.44% and 31.19%, respectively, can discriminate between PE and baseline phases. The findings in this paper imply that parameters: RR, RMSSD, SDRR, LF, HF and LFN from HRV, are able to differentiate between phases of hydration and dehydration in the individual athlete, which could be used in the early detection of dehydration using the ECG signal, that is readily available and also noninvasively measure.

Keywords: Dehydration, heart rate variability, statistical analysis, simple correspondence analysis.

1. INTRODUCCIÓN

La práctica de actividad física genera una cantidad innumerable de beneficios sobre la salud, los cuales abarcan desde mejoras en la salud cardiovascular hasta cambios en la composición corporal de aquellas personas que la practiquen con regularidad. El ejercicio físico permite aumentar la capacidad de utilizar el oxígeno para la obtención de energía, promueve el incremento de la capacidad cardíaca y modifica favorablemente el metabolismo de los carbohidratos y los lípidos. Esto último podría provocar cambios del peso corporal, disminuyendo así el riesgo de obesidad y diabetes. Por otro lado, permite el incremento de la resistencia y mejoras tanto en la flexibilidad de las articulaciones, como en la fuerza muscular [1].

Durante la actividad física se presentan pérdidas hídricas, las cuales provienen en primer lugar de la sudoración y en menor grado, de la evaporación respiratoria. El nivel de deshidratación se ve afectado por: (i) las características del ejercicio: mientras más intenso y duradero sea, más producción de calor, por consiguiente, mayores pérdidas de agua; (ii) condiciones ambientales: a mayor temperatura y humedad, disminuye la capacidad de disipación del calor a través de la piel, por lo tanto se ven aumentadas la sudoración y la respiración, y el (iii) nivel de entrenamiento: mientras menos entrenado se encuentre un sujeto, mayores serán las pérdidas de agua [2].

Una persona entrenada puede perder entre 2 y 7% de su peso corporal en agua durante una sesión de ejercicio prolongado (aproximadamente 60 minutos), lo que lo obliga a efectuar una adecuada reposición hídrica. Sin embargo, la sensación de sed comienza cuando ya se está ligeramente deshidratado. Aunado a esto, el ejercicio retrasa esta sensación y es por esto que la ingesta voluntaria de líquido muy pocas veces repone la cantidad de agua perdida con la sudoración. Por estas razones es importante que el atleta se mantenga en constante hidratación, incluso antes de que aparezca la sensación de sed [2][3].

Entre los efectos fisiológicos que ocasiona la deshidratación se encuentra la reducción del volumen sistólico y de la presión arterial media. Por otro lado, reduce la tasa de sudoración, por lo que disminuye la disipación del calor de la piel, lo que puede provocar hipertermia corporal [4]. También puede ocasionar la disminución del tiempo del ejercicio, fatiga a intensidades submáximas y alteraciones cardiovasculares como el aumento de la frecuencia cardíaca [5].

La medición de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC), es decir la oscilación en el intervalo entre latidos consecutivos del corazón [6]; es un método cuantitativo bien establecido y

no invasivo para la evaluación de la actividad autonómica del corazón. La VFC se ha utilizado como herramienta para el análisis de la respuesta cardiaca vinculada al rendimiento deportivo [7].

La VFC se puede ver afectada durante y después del ejercicio, estudio revela que hay una reducción del tono parasimpático durante rutinas de ejercicios intensas [8], y estos cambios son estadísticamente significativos incluso 24 horas después de haber realizado el entrenamiento, sin embargo, no ocurre lo mismo con rutinas de ejercicios ligeras [8]. Por otro lado, también se ha estudiado los cambios de la VFC bajo los efectos de la deshidratación y el calor, sugiriendo un efecto perjudicial general de deshidratación en la estabilidad cardiaca autonómica [9]. El déficit de agua puede contribuir al aumento de la frecuencia cardiaca y por tanto, alteraciones de la VFC post-ejercicio, debido al efecto compensatorio del corazón por la disminución del gasto cardiaco.

El objetivo de este trabajo es el diseño de un protocolo clínico que permita el estudio de la respuesta cardiaca ante el proceso de deshidratación. Para esto, se realiza el estudio de la VFC, antes y después del proceso de deshidratación en una población de deportistas, empleando los parámetros temporales y en el dominio de la frecuencia de la VFC.

2. METODOLOGÍA

2.1 Criterios de inclusión

La muestra estuvo constituida por 17 deportistas masculinos, aparentemente sanos, quienes practican actividad física al menos tres veces por semana. Todos los sujetos debían ser no fumadores, sin precondiciones médicas. La mayor parte de los individuos practican ciclismo, trote y atletismo; así como triatlón, disciplina que comprende el desempeño de tres deportes en conjunto, como lo son la natación, el ciclismo y el atletismo. El tiempo de duración de las sesiones de entrenamiento de la muestra estudiada es igual o mayor a 90 minutos, y la mitad de los individuos practica diariamente y la otra mitad inter-diario.

2.2 Protocolo implementado

El protocolo se realizó a primera hora de la mañana y tenía una duración total de tres horas. A los participantes se les solicitó que comieran una hora antes de la evaluación. Todos los sujetos firmaron un consentimiento informado donde se les comunicó las pruebas y las mediciones que se les aplicarían. El protocolo realizado consistió de tres fases (fig. 1):

- Fase 1-Pre-ejercicio (Basal): A los sujetos se les realizó una adquisición electrocardiográfica antes de cualquier actividad física.
- Fase 2-Post-ejercicio (PE): Los individuos realizaron primero una sesión de ejercicio de 37 minutos en bicicleta estática con resistencia, de los cuáles 3 minutos fueron de calentamiento y 30 minutos ejercicio con resistencia y 4 minutos de recuperación. Luego de 30 minutos en reposo se les realizó una segunda adquisición electrocardiográfica. Cabe destacar que durante esta fase, los corredores no podían ingerir ningún tipo de bebida y/o alimento.
- Fase 3-Post-hidratación (PH): Los individuos fueron hidratados con agua ad libitum al finalizar el ejercicio, y 30 minutos después de la hidratación se procedió a realizar una tercera adquisición electrocardiográfica.

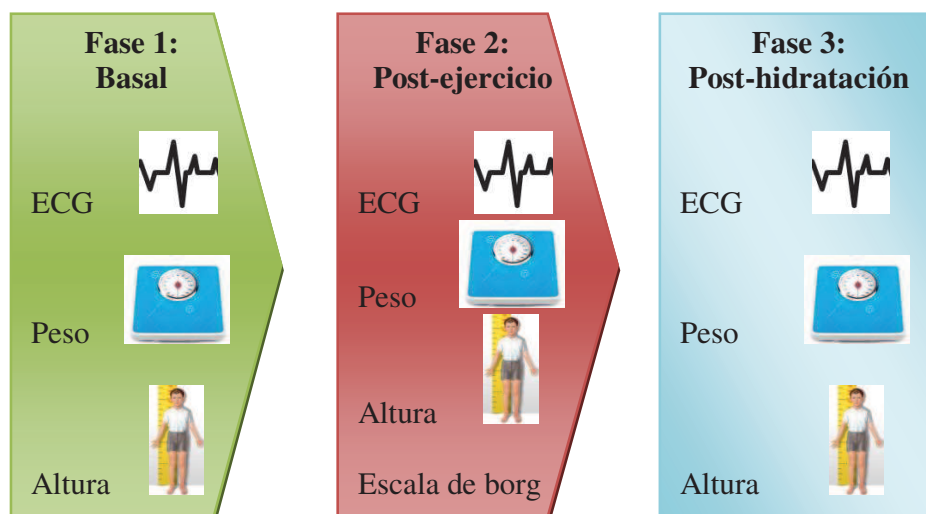


Figura 1. Fases del Protocolo Implementado

Adquisiciones electrocardiográficas

La adquisición de las señales electrocardiográficas se realizó mediante el equipo Cardiosoft® [10] el cual tiene dos puertos; el primero se utiliza para conectar los electrodos al paciente y el segundo para realizar la conexión con la computadora. La fig. 2 muestra el diagrama explicativo del equipo.



Figura 2. Diagrama del equipo Cardiosoft®.

Todas las adquisiciones electrocardiográficas tuvieron una duración de 10 minutos, se realizaron a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz, 16 bits de resolución y se adquirieron 12 derivaciones: (i) bipolares (I, II, III), (ii) monopolares aumentadas (aVR, aVL, aVF), y (iii)

precordiales (V1, V2, V3, V4, V5, V6). Del programa Cardiosoft® se extrajeron las señales en formato .csv, así como también los intervalos RR y QRS.

Tabla 1. Escala de percepción subjetiva de esfuerzo de Borg.

Valor	Denominación
20	Esfuerzo máximo, muy, muy duro
19	Extremadamente duro
18	
17	Muy duro
16	
15	Duro
14	
13	Moderado
12	
11	Ligero
10	
9	Muy ligero
8	
7	Extremadamente ligero
6	
5	
4	
3	Absolutamente nada de esfuerzo
2	
1	

Mediciones antropométricas

Se realizaron mediciones antropométricas como el peso y la altura en cada una de las fases, con el objetivo de poder medir el líquido perdido durante la fase de PE y el líquido ingerido durante la fase de PH.

Para medir el líquido perdido durante la fase de PE, se restaron los pesos de las fases PE y basal (ecuación 1); De la misma manera para medir el líquido ingerido en la fase de PH, se restaron los pesos de las fases PH y PE (ecuación 2). A continuación se muestran las ecuaciones usadas para hallar el líquido perdido e ingerido:

$$LP = (Peso_{Basal} - Peso_{PE}) * DA \quad (1)$$

$$LI = (Peso_{PH} - Peso_{PE}) * DA \quad (2)$$

Donde: LP [mL], es el líquido perdido; LI [mL], es el líquido ingerido; $Peso_{Basal}$ [gr], es el peso en la fase basal; $Peso_{PE}$ [gr], peso en la fase de PE; $Peso_{PH}$ [gr], peso en la fase de PH y DA es la densidad del agua a temperatura ambiente que corresponde a 1gr/mL.

Adicionalmente, para hallar el porcentaje de agua corporal total (ACT) se aplicaron las ecuaciones de [11] para la derivación indirecta del ACT. Hallando el ACT se puede obtener el

porcentaje de peso corporal en agua perdido (PCAP) (ecuación 3), y por ende, conocer los niveles de deshidratación.

$$\text{Porcentaje PCAP} = \frac{\text{Peso}_{\text{Basal}} - \text{Peso}_{\text{PE}}}{\text{Peso}_{\text{total}} * \text{ACT}} * 100 \quad (3)$$

Percepción subjetiva del esfuerzo

Se midió la percepción subjetiva del esfuerzo realizado en la rutina de ejercicios con la escala de Borg [12]. En la tabla 1 se puede observar la escala de Borg utilizada en el protocolo.

2.3. Análisis de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca

El análisis de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC) permite estudiar las disfunciones cardiovasculares, diabetes, entre otros [13]. La VFC se ha utilizado como herramienta para el análisis de la respuesta cardíaca vinculada al rendimiento deportivo [6]. La VFC es extraída a partir de la serie de tiempo RR, la cual a su vez es extraída de la señal electrocardiográfica. La serie RR viene dada por el Δt entre las ondas R en el tiempo. [7].

Para la medición de los parámetros de la VFC se pueden usar los métodos de dominio en el tiempo y los métodos de dominio en frecuencia.

Métodos en el dominio del tiempo

Los métodos de dominio en el tiempo son los más simples y determinan medidas estadísticas. Estas medidas se obtienen a partir de los intervalos RR o frecuencias cardíacas instantáneas, así como también de las diferencias entre los intervalos RR.

En este trabajo, las series RR extraídas a partir del programa Cardiosoft®, se les realizó un procesamiento previo, en donde los valores atípicos provenientes de extrasístoles y artefactos fueron corregidos por medio de una interpolación lineal y aplicando la corrección de Kaplan [14]. En la tabla 2 se muestra la descripción de los parámetros de la VFC que se obtienen a partir de los métodos de dominio en el tiempo calculados para este estudio [15].

Tabla 2. Algunos parámetros en el dominio del tiempo de la VFC.

Variable	Unidades	Descripción
SDRR	ms	Desviación estándar de todos los intervalos RR
RMSSD	ms	La raíz cuadrada de la media de la suma de los cuadrados de las diferencias entre intervalos RR adyacentes.

Métodos en el dominio de la frecuencia

Los métodos en el dominio de la frecuencia consisten principalmente en tomar series de números a lo largo del eje del tiempo y realizar el análisis espectral utilizando la densidad espectral de potencia [15].

Antes de hallar los parámetros en el dominio de la frecuencia, se realizó un procesamiento previo de la serie RR extraída del programa Cardiosoft® que consistió en el remuestreo de las series RR a una frecuencia de 2 Hz, con el fin de tener una señal uniformemente muestreada.

Finalmente, se halló la estimación espectral implementando el algoritmo autorregresivo de Burg [16]. La tabla 3 muestra los componentes espectrales calculados para este estudio.

Tabla 3. Componentes en el dominio de frecuencia.

Variable	Unidades	Descripción	Rango de Frecuencia
LF	ms ²	Rango de potencia de bajas frecuencias	0.04-0.05 Hz
LF normalizado (LFN)		LF/ LF+HF	
HF	ms ²	Rango de potencia de altas frecuencias	0.15-0.4 Hz

2.4 Tratamiento Estadístico

Para hallar las diferencias significativas entre grupos y etapas, se usó el Test de Wilcoxon, en donde se tomó como diferencia significativa un valor de $p < 0.05$. El análisis estadístico se realizó usando el toolbox de estadísticas y machine learning de Matlab (versión 2015a).

Además, se realizó un análisis de correspondencias simples (ACS) con el fin de observar si se pueden caracterizar los diferentes tipos de poblaciones y fases estudiadas, usando como variables los parámetros de la VFC en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia. Para el ACS se utilizó el programa SPAD (versión v56en).

3. RESULTADOS

El protocolo se implementó en 17 sujetos deportistas, de sexo masculino y edades $22,625 \pm 2,125$ años. En cada una de las fases se midió el peso de los sujetos para calcular la cantidad de LP en la fase de PE (381.25 ± 299.374 ml) y la cantidad de LI en la fase PH (442.857 ± 217.276 ml), se puede observar que la cantidad de LI es estadísticamente mayor ($p < 0.05$ -Wilcoxon) que la cantidad de LP, lo que indica que los sujetos lograron una hidratación óptima, igualmente, se calculó el porcentaje en PCAP durante la fase PE (1.42 ± 0.29 %), lo que sugiere que los participantes fueron sometidos a un proceso de deshidratación ligera.

Por otro lado, en la medición de la percepción subjetiva del esfuerzo realizado en la rutina de ejercicios con la escala de Borg, un 73.3% de los sujetos indicaron que el esfuerzo realizado fue entre *absolutamente nada de esfuerzo* y *muy ligero* y el 26.7% restante indicó que realizó un esfuerzo *moderado*. Cabe destacar, que no se efectuó una rutina de ejercicios intensa, debido a que la actividad física aguda puede alterar los valores de la VFC post-ejercicio, sin embargo, esto no ocurre con rutinas de ejercicios moderados o ligeros [8].

Se realizó el estudio de la VFC en cada una de las señales electrocardiográficas mediante la obtención del intervalo RR, RMSSD, SDRR, LF, HF y LFN. En las tablas 4 y 5 se pueden observar los promedios y las desviaciones estándares de cada uno de los parámetros y entre corchetes los intervalos de confianza. Se observó una disminución estadísticamente significativa ($p < 0.05$ -Wilcoxon) entre las fases basal y PE, en el intervalo RR, SDRR, RMSSD, LF y HF que sugiere una reducción del tono parasimpático en el proceso de deshidratación, este hallazgo corrobora el trabajo de [9], cuyos resultados reportaron una reducción del tono parasimpático y un aumento del tono simpático durante la deshidratación. Igualmente, se observó un aumento estadísticamente significativo en el promedio del intervalo RR, SDRR, RMSSD, LF y HF, entre

las fases PE y PH. Esto podría sugerir un aumento del tono parasimpático y disminución del tono simpático debido al proceso de hidratación [9].

Por otro lado, el aumento estadísticamente significativo de la frecuencia cardiaca en la fase de PE, podría deberse a la respuesta compensatoria del corazón ante la disminución del gasto cardíaco. Una vez que los niveles de líquido corporal llegan a la normalidad (después de la hidratación), es natural que la frecuencia cardiaca disminuya y de hecho llegue a su etapa basal, esto se puede constatar al no encontrarse diferencias estadísticamente significativas en los valores de RR entre la etapa basal y PH.

Tabla 4. Valores de RR promedio, SDRR y RMSSD.

	RR [ms]	SDRR [ms]	RMSSD [ms]
Basal	**931.735 ± 148.030 [852.856 - 1010.615]	**75.999 ± 30.625 [59.680 - 92.318]	**58.541 ± 32.554 [41.194 - 75.888]
Post-Ejercicio	849.342 ± 218.495 [732.915 - 965.770]	63.200 ± 31.877 [46.214 - 80.186]	47.760 ± 35.212 [28.997 - 66.523]
Post-Hidratación	*996.766 ± 177.142 [902.374 - 1091.158]	*87.309 ± 35.174 [68.566 - 106.052]	*72.938 ± 41.602 [50.769 - 95.106]

* Diferencias estadísticamente significativas entre las fases PE y PH

** Diferencias estadísticamente significativas entre las fases PE y Basal

Tabla 5. Valores de LF, HF y LF normalizado.

	LF [ms ²]	HF [ms ²]	LFN
Basal	*1.530 10 ⁶ ± 1.600 10 ⁶ [6.780 10 ⁵ - 2.390 10 ⁶]	**6.680 10 ⁵ ± 6.710 10 ⁵ [3.100 10 ⁵ - 1.030 10 ⁶]	0.700 ± 0.196 [0.596 - 0.804]
Post-Ejercicio	9.790 10 ⁵ ± 8.630 10 ⁵ [5.200 10 ⁵ - 1.440 10 ⁶]	5.560 10 ⁵ ± 6.650 10 ⁵ [2.010 10 ⁵ - 9.090 10 ⁵]	0.697 ± 0.179 [0.602 - 0.793]
Post-Hidratación	*1.930 10 ⁶ ± 2.57 10 ⁶ [5.580 10 ⁵ - 3.307 10 ⁶]	*9.470 10 ⁵ ± 8.910 10 ⁵ [4.720 10 ⁵ - 1.420 10 ⁶]	0.638 ± 0.185 [0.539 - 0.736]

* Diferencias estadísticamente significativas entre las fases PE y PH

** Diferencias estadísticamente significativas entre las fases PE y Basal

En la tabla 6 y la fig. 3, se puede observar el análisis de correspondencias simples realizado entre las fases de estudio. Los factores 1 y 2 fueron escogidos puesto que representan el 93.97% de la varianza del total de los datos. En el análisis se encontró una distribución que sugiere que las variables LFN y HF, con contribuciones de 44.44% y 31.19% (Ver tabla 6-factor 1) respectivamente, pueden discriminar entre la etapa PE y la etapa basal. Además, el parámetro LF con una contribución del 57.83% (ver tabla 6-factor 2), puede discriminar entre la fase PE y PH y la fase PE y basal. Indicando que a pesar de que no se encontraron diferencias significativas entre fases en el estudio estadístico de LFN, si se consiguió un patrón de distribuciones en el ACS, que indica que LFN puede discriminar entre las fases.

Tabla 6. Contribuciones de las variables de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca en el ACS.

Variables frecuenciales y temporales	Factor 1 [%]	Factor 2 [%]
RR	1.13	29.69
SDRR	2.33	0.73
RMSSD	12.53	1.34
LF	8.39	57.83
HF	31.19	0.52
LFN	44.44	9,90

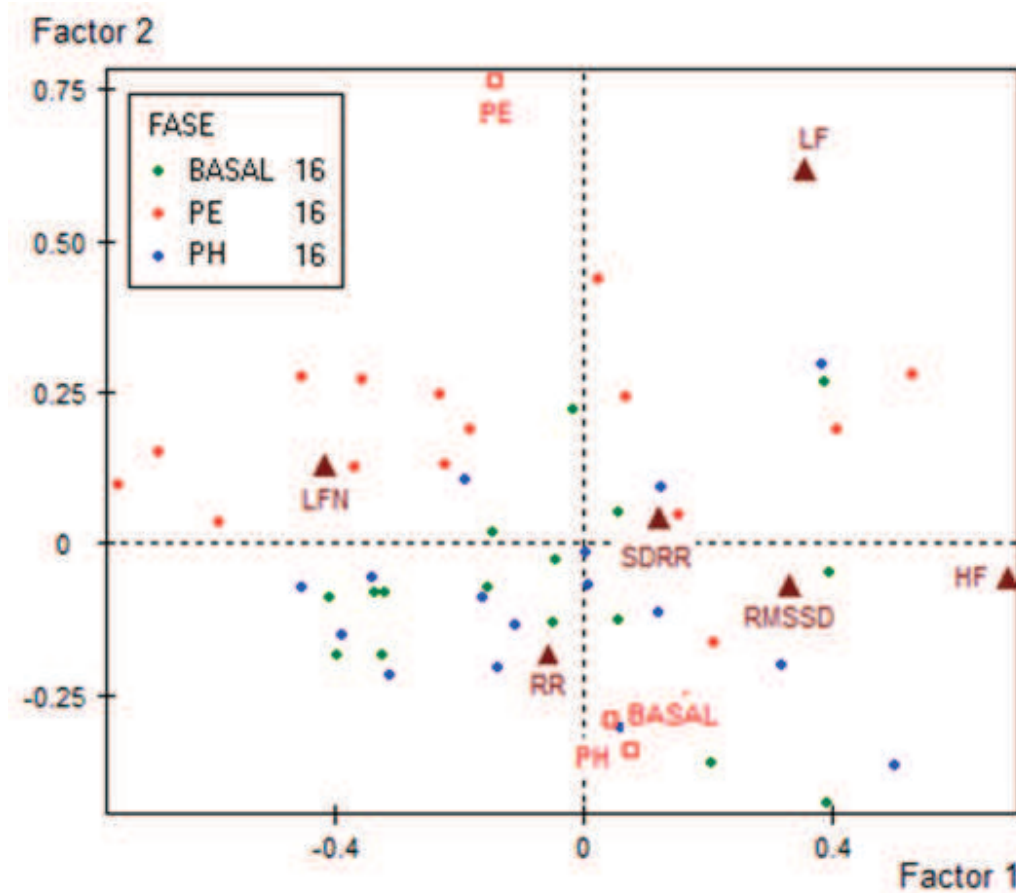


Figura 3. Análisis de correspondencias simples entre las fases.

En todos los parámetros de la VFC, se observó que hay una disminución de los parámetros en la fase de PE y un posterior aumento de los mismos durante la fase de PH que alcanza los valores basales. En los trabajos de [8] y [17], se sugiere que el efecto del ejercicio intenso en los valores de los parámetros de la VFC, pueden observarse, horas después de haber culminado la rutina, y vuelven a niveles basales 24 horas después. En este caso los niveles basales se alcanzaron una hora después de haber culminado la rutina de ejercicios en la fase PH, esto podría

sugerir que los cambios de la VFC observados se deben a la deshidratación y no al ejercicio realizado.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS A FUTURO

En el trabajo desarrollado se adquirió una base de datos con los registros electrocardiográficos de 17 sujetos deportistas durante un protocolo de deshidratación, el protocolo diseñado permitió el registro electrocardiográfico de tres fases: una fase basal, una fase post-ejercicio ligero y una última fase de post-hidratación. Para cada registro se realizó el estudio de la VFC obteniendo los parámetros en el dominio del tiempo: RR, SD y RMSSD y los parámetros en el dominio de la frecuencia LF, HF y LFN.

Se encontraron diferencias significativas entre las etapas PE y la fase PH en el promedio del intervalo RR, SDRR, RMSSD, LF y HF. Indicando una disminución de la actividad parasimpática y un aumento de la actividad simpática durante la fase PE y un aumento de la actividad parasimpática y disminución de la actividad simpática durante la fase de PH.

Los resultados de la ACS arrojó que el parámetro LFN puede discriminar entre las distintas fases (basal, PH y PE), a pesar de que en el estudio estadístico no mostró diferencias significativas entre fases en este indicador.

Los hallazgos encontrados en este trabajo sugieren que los parámetros RR, RMSSD, SDRR, LF, HF y LFN de la VFC podrían diferenciar entre fases de hidratación y deshidratación en el individuo deportista, lo cual podría aplicarse en la detección temprana de la deshidratación, empleando los dispositivos móviles que son muy usados por los deportistas actualmente.

Los trabajos futuros se centrarán en: (i) la ampliación del número de sujetos en la base de datos; (ii) aplicación del protocolo a diferentes poblaciones como sujetos con síndrome metabólico y sujetos sedentarios, (iii) probar el protocolo con una rutina de ejercicio más intenso, para observar los cambios en la VFC y el rendimiento del deportista bajo la influencia del ejercicio intenso y la deshidratación; y, (iv) llevar a cabo el protocolo en un grupo de hidratación con el fin de observar los parámetros de HRV bajo el efecto del ejercicio con sujetos hidratados.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por el programa PROMETEO de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación de la República del Ecuador.

REFERENCIAS

- [1] Fletcher, G., Blair, S., Blumenthal, J., Caspersen, C., & Chaitman, B. Benefits and Recommendations for Physical Activity Programs for All Americans. A Statement for Health Professionals by the Committee on Exercise and Cardiac Rehabilitation of the Council on Clinical Cardiology, American Heart Association. *AHA Medical/Scientific Statement*. Vol. 86, n. 1, pp. 340-3444. 1992.
- [2] Barbany J. R. Alimentación para el deporte y la salud (Primera ed.). Barcelona, España: Ediciones Martínez Roca, S.A. 2002.
- [3] López J., Fernández A. *Fisiología del ejercicio* (3ra edición ed.). Buenos Aires, Argentina: Editorial Médica Panamericana. 2008.

- [4] González J., Coyle E. ¿Por qué los deportistas deben ingerir líquidos durante el ejercicio en el calor?. *Apuntes-Educación Física y Deportes*. Vol. 54, n.4, pp. 46-52. 1998.
- [5] Ubiratan F. El efecto de la deshidratación en el rendimiento anaeróbico. *Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*. Vol. 4, n. 1, pp. 13-21. 2006.
- [6] Earnest C., Lavie C., Blair S., Church T. Heart Rate Variability Characteristics in Sedentary Postmenopausal Women Following Six Months of Exercise Training: The DREW Study. *Plos One*. Vol. 3, n. 6, pp. e2288. 2008.
- [7] Barbieri R., Matten E., Brown E. Instantaneous Monitoring of Heart Rate Variability. *Proceedings of the 25, Annual International Conference of the IEEE EMBS. Cancún, Mexico*. pp. 17-21, 2003.
- [8] James D., Munson S., Maldonado-Martin S., De Ste Croix M. Heart Rate Variability: Effect of Exercise Intensity on Post-exercise Response. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. Vol. 83, n. 4, pp. 533–539. 2012.
- [9] Castro M, Cerda H, Pérez C, Monsalves M, Andrade D, Zbinden H, Báez E, Ramírez R. Hydration status after exercise affect resting metabolic rate and heart rate variability. *Nutrición Hospitalaria*. Vol. 31, n. 3, pp. 1273-1277. 2015.
- [10] Encardia, C. <http://www.cardiosoft.com/index.html>. 2010.
- [11] Ledesma, J. & M. Palafox. Manual de fórmulas antropométricas. McGraw-Hill, México. pp.123. 2006.
- [12] Grant, S., Aitchison, T., Henderson, E., Christie, J., Zare, S., McMurray, J., Dargie, H. A Comparison of the Reproducibility and the Sensitivity to Change of Visual Analogue Scales, Borg Scales, and Likert Scales in Normal Subjects During Submaximal Exercise. *Chest*. Vol. 116, n. 5, pp. 1208–1217. 1999.
- [13] Chan H, Ming-An L, Pei-Kuang C, Chun-Hsien L. Correlates of the shift in heart rate variability with postures and walking by time–frequency analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. Vol. 86, pp. 124–130, 2007.
- [14] Kaplan D, Nonlinearity and Nonstationarity: The Use of Surrogate Data in Interpreting Fluctuations. *Proceedings of the 3rd Annual Workshop Computers in Cardiology*. pp. 4-5, 1995.
- [15] Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*. Vol. 17, pp. 354–381, 1996.
- [16] Marple SL. Digital Spectral Analysis with Applications, Prentice–Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1987.
- [17] Gladwell, V. F., Sandercock G., Birch, S. L. Cardiac vagal activity following three intensities of exercise in humans. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. Vol. n. 30, pp. 17–22. 2010.