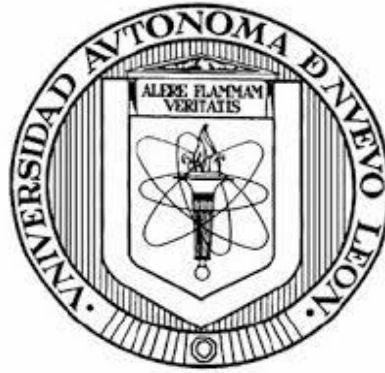


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca para valorar la
carga interna en jugadores de fútbol soccer universitario**

Por

L.E.D. Kevin Roberto Lucio Enríquez

PRODUCTO INTEGRADOR

TESIS

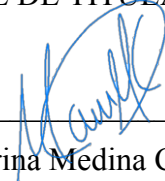
**Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE
CON ORIENTACIÓN EN ALTO RENDIMIENTO DEPORTIVO**

Nuevo León, 20 de noviembre 2022

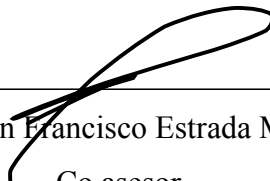
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Los miembros del comité de titulación de la Subdirección de Posgrado e Investigación de la Facultad de Organización Deportiva, recomendamos que el Producto Integrador en modalidad de Tesis titulado “**Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca para valorar la carga interna en jugadores de futbol soccer universitario**” realizado por el L.E.D. Kevin Roberto Lucio Enríquez, sea aceptado para su defensa como oposición al grado de Maestro en Actividad Física y Deporte con Orientación en Alto Rendimiento Deportivo.

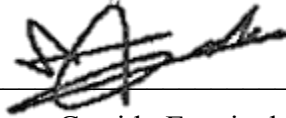
COMITÉ DE TITULACIÓN



Dra. Marina Medina Corrales
Asesor Principal



Dr. Edson Francisco Estrada Meneses
Co asesor



Dr. Alberto Garrido Esquivel
Co asesor



Dr. Jorge I Zamarripa Rivera

Subdirección de Posgrado e Investigación de la FOD

Nuevo León, 20 de noviembre 2022



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FOD

FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA

FICHA DESCRIPTIVA

Fecha de Graduación: 20 de noviembre 2022

NOMBRE DE LA ALUMNO: Kevin Roberto Lucio Enríquez

Título de Tesis: ANALISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA
CARDIACA PARA VALORAR LA CARGA INTERNA EN JUGADORES DE
FUTBOL SOCCER UNIVERSITARIO

Candidato para obtener el Grado de
Maestría en Actividad Física y Deporte
con Orientación en Alto Rendimiento
Deportivo

Número de páginas:

Estructura de la Tesis: Tesis

Contexto temático: Fisiología del Ejercicio

Justificación del Tema: Descripción del comportamiento de la VCF en la recuperación.

Propósitos: Relacionar la variabilidad de la frecuencia cardiaca con la condición de fatiga y recuperación en jugadores de futbol soccer.

Objetivos de su programa:

- Analizar los cambios de la RMSSD y el SS durante un periodo de 8 semanas en jugadores de futbol soccer universitario.
- Describir las variables RMSSD y SS cada semana en los jugadores de futbol soccer
- Describir las variables RMSSD y SS de manera grupal e individual.

Metodología: El estudio fue de tipo cuantitativo descriptivo longitudinal.

Resultados: La RMSSD y SS tuvieron cambios significativos en algunos de los jugadores. El SS tuvo un cambio significativo de manera grupal.

Conclusiones: La RMSSD y el SS son buenos indicadores para el monitoreo de la recuperación en deportistas.

FIRMA DEL ASESOR PRINCIPAL: _____

Tabla de contenido

Introducción	10
Capítulo 1	14
Marco Teórico	14
Orígenes y evolución del problema	14
Antecedentes de otros estudios	14
Conceptualización y clasificación en torno a las variables	17
Capacidades físicas en el futbol	17
Sistemas Energéticos	18
Sistemas energéticos en el futbol	21
Carga de entrenamiento	21
Métodos subjetivos de medición de carga interna.	21
Parámetros Bioquímicos	22
VO2max	25
Frecuencia Cardíaca	25
TRIMP	26
Sistema Nervioso Autónomo (SNA)	27
Homeostasis y el SNA	28
Fatiga	29
Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC)	30
Método de dominio del tiempo	31
Método de dominio de frecuencia	32
Diagrama de Dispersión de Poincaré	33
RMSSD-Slope	34

Aplicación de la VFC	35
VFC en el deporte	36
Capítulo 2	38
Metodología	38
Diseño experimental	38
Población de estudio	38
Muestra	38
Criterios de inclusión	38
Criterios de exclusión	38
Criterios de eliminación	38
Variables	39
Dependientes	39
Independiente	39
Instrumentos	39
Procedimientos	40
Análisis estadístico	41
Resultados	42
Características descriptivas de la muestra	42
Comportamiento grupal de la RMSSD al inicio y final de cada semana	42
Comportamiento grupal del Stress Score al inicio y final de la semana	43
Comportamiento grupal de la RMSSD por sesión	44
Comportamiento grupal del Stress Score por sesión	46
Comportamiento individual de la RMSSD al inicio y final de la semana	47
Comportamiento individual del Stress Score al inicio y final de la semana	47

Capítulo 4	49
Discusión	49
Limitantes	51
Aportaciones y sugerencias	52
Capítulo 5	53
Conclusión	53
Referencias	54
Anexos	64

Lista de Tablas

Tabla 1 Parámetros del método de dominio de tiempo.....	32
Tabla 2 Parámetros del método de dominio de frecuencia.....	33
Tabla 3 Parámetros del diagrama de Poincaré.....	34
Tabla 4 Descripción y conceptos de variables que conforman el estudio.....	39
Tabla 5 Características físicas de la muestra.....	42
Tabla 6 Valores de la RMSSD grupal total al inicio y final de la semana.....	43
Tabla 7 Valores del SS total al inicio y final de la semana.....	44
Tabla 8 Media y desviación estándar de la RMSSD (ms) grupal por sesión.....	45
Tabla 9 Media y desviación estándar grupal del Stress Score (ua) por sesión.....	46

Lista de Figuras

Figura 1 Primer componente de la ruta metabólica del sistema de fosfágenos.	19
Figura 2 Segundo componente de la ruta metabólica del sistema de fosfágenos.	19
Figura 3 Tercer componente de la ruta metabólica del sistema de fosfágenos.	20
Figura 4 Proceso de la ruta metabólica del sistema glucolítico.	20
Figura 5 Representación simplificada de un sistema regulador homeostático.	29
Figura 6 Ejemplo del electrocardiograma (ECG) como base de la medición de la VFC.	30
Figura 7 Valores promedio de la RMSSD individual al inicio (blanco) y final (gris) de cada semana de entrenamiento.	47
Figura 8 Valores promedio del Stress Score individual al inicio (blanco) y final (gris) de cada semana de entrenamiento.	48

Glosario de Siglas

CK	Creatina Quinasa
FC	Frecuencia cardíaca
pNN50	Número de intervalos r-r que difieren en más de 50 milisegundos
RMSSD	Raíz cuadrada de la suma de la media de las diferencias de los cuadrados de los intervalos R-R consecutivos
RPE	Rating of Perceived Exertion
SD1	Diámetro transversal del diagrama de dispersión de Poincaré
SD2	Diámetro longitudinal del diagrama de Poincaré
SDNN	Desviación estándar de los intervalos entre latidos normales
SNA	Sistema Nervioso Autónomo
SS	Stress Score
TRIMP	Training Impulse
VO2max	Volumen máximo de oxígeno
VFC	Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca

Introducción

La base de todo entrenamiento deportivo está construida por un sistema metodológico conformado por una variedad de herramientas y métodos de diferentes áreas para la aplicación de protocolos que desarrollen las capacidades de los deportistas (Granell & Cervera, 2006; Padilla, 2017). Para ser capaces de cumplir de manera adecuada con la metodología planteada se debe de tener una medición minuciosa de ambas cargas de entrenamiento, externa e interna.

Dichas cargas suponen un estrés sobre el deportista, en el cual la carga externa son todas aquellas medidas de trabajo realizado que involucra el volumen e intensidad, efectuadas por el deportista como parte de sus entrenamientos y competencias, independientemente de la carga interna. Por otro lado, la carga interna representa una expresión fisiológica y psicológica en respuesta a los estímulos brindados por la carga externa (Bourdon et al., 2017).

Una correcta monitorización de la carga interna es importante debido a que impacta directamente sobre el desempeño físico del deportista, siendo un reflejo del estado actual del rendimiento, la fatiga y su relación con las posibles lesiones, además de un estado de salud en general (Halson, 2014).

Por ello se buscaría monitorizar la carga interna de los deportistas tomando en cuenta las herramientas de análisis de distintos autores, además de los distintos protocolos aplicados al deporte para buscar establecer el más adecuado para dicha situación. Existen métodos tanto subjetivos como objetivos para la evaluación de la carga interna. Sin embargo, los subjetivos no parecen tener una efectividad con confiabilidad absoluta debido a que muchos de ellos o al menos los más utilizados son evaluados de acuerdo a la percepción del sujeto, la cual es susceptible a una gran cantidad de factores que pudieran afectar el que describan la percepción de manera adecuada (Kilpatrick et al., 2009), pero aunque diversos autores validan su uso individual, recomiendan usarlo como complemento a un método objetivo (Haddad et al., 2017).

Por ello, poseer información del estado interno del deportista de la manera más frecuente posible sería adecuado. Una opción viable es por medio de la evaluación del sistema nervioso autónomo. El sistema nervioso autónomo (SNA) juega un papel

importante en el deporte debido a que es responsable de la respuesta y regulación de diferentes sistemas relacionados con la actividad. Dentro de sus roles está el mantener la homeostasis en el cuerpo humano (Fox, 2014; Cardinali, 2017).

Una excelente herramienta de medición de la respuesta autónoma es la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) que pudiera considerarse como una porción más específica de la frecuencia cardíaca, la cual se encarga de medir el tiempo entre latidos o intervalos R-R (Shaffer & Ginsberg, 2017). Para la recolección de datos se utilizan monitores portátiles de frecuencia cardíaca.

Actualmente se ha intentado encontrar el método más adecuado de la variabilidad de la frecuencia cardíaca para desarrollar un protocolo que pueda cumplir con esta cuantificación de la carga interna y así poder obtener un mejor control del entrenamiento, de los cuales la variable de la VFC RMSSD parece ser de los más prometedores al momento de analizar y comparar la información de atletas individuales o en grupo. Además a esta variable se le ven agregados otros parámetros que involucran el diagrama de Poincaré dentro de los cuales destaca la SD1 e índices propuestos por Orellana, et al. (2015), como el SS (Stress Score) y el S:PS ratio (relación simpático:parasimpático).

Mantener una cuantificación y control de la carga interna de manera precisa es indispensable para obtener las adaptaciones deseadas en el organismo del atleta, ya que de no ser adecuado puede generar que el deportista sea más propenso a lesiones o que entre en un estado de sobreentrenamiento. Previamente se ha mostrado que los métodos subjetivos son adecuados para llevar un control de la carga de entrenamiento de manera simple y de un costo bajo (Haddad et al., 2017). Sin embargo, posee inconvenientes como el hecho de no poder reflejar la intensidad de la sesión de entrenamiento (Marynowicz et al., 2020), pudiendo compensar este problema al combinarse con parámetros fisiológicos como la frecuencia cardíaca.

Por otro lado, se encuentran opciones objetivas fisiológicas precisas. Sin embargo, suelen resultar invasivas o costosas. Por eso, puede ser una opción apropiada el uso de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, capaz de obtener información de una manera casi instantánea, con equipamiento relativamente barato en comparación a otras opciones y con fiabilidad suficiente para ser tomada en cuenta. Además de esto, se puede obtener

información para ser analizada por distintos parámetros de este, sin la necesidad de hacer una nueva medición para cada uno de ellos.

A pesar de todos estos beneficios que puede ofrecer la VFC, parece que aún sigue sin haber un protocolo específico que sea capaz de brindar los datos completos necesarios para cubrir todos los campos que se está buscando para mantener un control de la CI en jugadores de fútbol nivel universitario.

Por eso, la justificación de la investigación se basa en la evaluación de la carga interna por medio de la VFC en futbolistas de fútbol soccer de nivel universitario, centrando el análisis en parámetros que muestren la mayor cantidad de información de actividad simpática y parasimpática que se relacione con la capacidad de recuperación de los deportistas, existiendo una literatura limitada en relación a la variabilidad de la carga interna de entrenamiento en este deporte y nivel de rendimiento en específico que refleje lo que sucede en cada uno de los jugadores a nivel fisiológico.

A esto se le agrega su utilidad en la práctica, ya que también posee un costo relativamente bajo en comparación a otras maneras de evaluación y tiene un alto nivel de fiabilidad al momento de evaluar la actividad simpática y parasimpática, siendo utilizada en distintos deportes y por distintos autores (Ruso-Álvarez et al., 2019). Por ello es conveniente el análisis de los parámetros de dominio de tiempo: RMSSD y variaciones del diagrama de Poincaré: Stress Score, mejorando el sentido de cómo se relaciona el sistema nervioso simpático y sistema nervioso parasimpático entre semanas de entrenamiento de fútbol soccer universitario.

Esta investigación puede servir de apoyo a entrenadores y atletas para la utilización de herramientas fuera de lo convencional aplicables en el trabajo de campo, brindándoles información que ayuden a mantener un mejor control de cargas, adaptaciones y como resultado de este, prevenir posibles estados de sobreentrenamiento e incremento en el rendimiento deportivo.

Además, puede servir como soporte para futuras investigaciones en disciplinas deportivas con situaciones similares.

La hipótesis de la investigación es comprobar que los indicadores de dominio de tiempo y Poincaré de la VFC se verán afectados durante el transcurso de la semana por la fatiga de entrenamiento.

Como objetivo general nos planteamos analizar los cambios de la RMSSD y el SS durante un periodo de 8 semanas en jugadores de futbol soccer universitario. Para cumplir con el objetivo general, se describen a continuación los objetivos específicos de esta investigación:

- Describir las variables RMSSD y SS cada semana en los jugadores de futbol soccer.
- Describir las variables RMSSD y SS de manera grupal e individual.
- Comparar las evaluaciones al inicio y al final de la semana en el transcurso de las semanas.

Capítulo 1

Marco Teórico

Orígenes y evolución del problema

El entrenamiento deportivo ha sido construido a través de sistemas y planificaciones metodológicas ordenadas. En el deporte competitivo el objetivo siempre será que el deportista desarrolle una forma deportiva óptima en busca de los mejores resultados posibles. Conforme han avanzado los años, el desarrollar las áreas física y psicológica ha adquirido mayor relevancia y se ha buscado la manera de controlar el progreso de mejora.

La carga que se le aplica al deportista supone un estrés, que puede ser orientado utilizando cargas externas e internas. Las cargas externas siendo todo aquello que se puede presentar o utilizar en el entrenamiento y competencias, teniendo relación con el volumen, intensidad y densidad dentro de la planificación del deportista para obtener una respuesta positiva en la carga interna del atleta, en la cual se presenta una expresión fisiológica y psicológica en respuesta a la carga externa aplicada (Bourdon et al., 2017).

El poder controlar la respuesta de la carga interna en el deportista es importante porque este impactara de manera directa el rendimiento deportivo a nivel físico y psicológico. Un control inadecuado de la carga interna pudiera verse reflejado en un rendimiento bajo y que en caso de ser excesivo los estímulos aplicados, desencadenar un síndrome de sobreentrenamiento debido al exceso de fatiga o en algún tipo de lesión que afecte el estado de salud del deportista (Jaspers et al., 2017).

Antecedentes de otros estudios

Se han presentado diferentes estudios en el fútbol sobre todo a nivel profesional con enfoques de prevención de lesiones, búsqueda de una mejora de rendimiento e incluso lidiar con estrés psicológico. Actualmente una de las herramientas más utilizada que pueda apoyar el control de carga interna e implementar los objetos mencionados previamente es la variabilidad de la frecuencia cardíaca.

Para la recolección de datos se utilizan monitores portátiles de frecuencia cardíaca. Uno de los primeros modelos portátiles capaces de registrar estos parámetros fue presentado en 1995 por la empresa Polar Electro Oy (Márquez et al., 2018). Posteriormente

el uso de los monitores es capaz de conectarse con aparatos externos como relojes y dispositivos móviles para recolectar la información y brindar un análisis de una manera más rápida.

La VFC ha sido aplicada previamente en deportes con características similares al fútbol soccer en cuestiones físicas o técnicas. Williams et al. (2018) realizaron un estudio con el objetivo de evaluar las respuestas de la VFC como indicador que presentara la adaptación al entrenamiento, permitiendo predecirse a partir de las cargas de entrenamiento realizadas. El protocolo utilizado constaba de mediciones a 8 jugadores de nivel internacional de rugby, las mediciones de la VFC tenían una duración de 90 segundos y se efectuaron en la mañana al despertar en posición de sentado. Utilizaron bandas torácicas marca Polar modelo H7 y las mediciones se hicieron diariamente por un periodo de 8 semanas durante la pretemporada.

La variable evaluada fue la RMSSD, que posteriormente modificada a LnRMSSD. Además, esta variable fue comparada con la sRPE del modelo de Banister. Los resultados mostraron que la sRPE y la VFC son útiles. Sin embargo, la VFC (en la variable utilizada de LnRMSSD) muestra una fuerte correlación para predecir, respondiendo de manera positiva con 7 de los 8 jugadores implicados en el estudio.

Por otro lado, en el estudio realizado por Nakamura et al. (2015) en jugadores elite de fútbol, incorporaron de igual manera la medición de la VFC usando de variable la LnRMSSD, porque buscaban enfocarse en la actividad parasimpática. El objetivo de su investigación el probar la LnRMSSD a ultracorto plazo para detectar adaptaciones inducidas por el entrenamiento. Sin embargo, ellos usaron un protocolo diferente, realizando una medición total de 10 minutos a 24 jugadores nivel elite de fútbol por un periodo de 4 semanas de pretemporada.

Analizaron los primeros 5 minutos de manera separada cada minuto(0-1 min, 1-2 min, 2-3 min, 3-4 min y 4-5 min), y los 5 minutos restantes como un conjunto. Durante este periodo, los participantes permanecían sentados en silencio, con los ojos abiertos y con respiraciones espontáneas. Los resultados mostraron que la LnRMSSD de 1-2 minutos tuvo la mejor correlación con adaptaciones. A lo cual concluyeron que periodos ultracortos

de 1 minuto es sensible a cambios inducidos en el entrenamiento en jugadores de futsal y puede ser utilizado para dar seguimiento a adaptaciones autónomas.

La manera en que ha sido aplicada la VFC en el fútbol soccer es variada. Thorpe et al. (2015), realizaron un estudio donde buscaban relacionar la carga diaria de entrenamiento y posibles medidas para controlar la fatiga durante una temporada competitiva. Para ello, 10 jugadores de campo fueron evaluados durante un periodo de 17 días en los cuales entrenaron con normalidad de acuerdo a su calendario de competencias. Luego de un periodo breve de calentamiento se les brindaba un momento para que su FC disminuyera antes de proceder con la toma de VFC, que constaba de 5 minutos sentados en silencio en el cual la variable utilizada era la LnRMSSD. En relación a la VFC, encontraron que había una variación significativa relacionando la LnRMSSD y el total de distancia corrido a intensidades altas, mostrando fluctuaciones de acuerdo al entrenamiento aplicado, convirtiéndose en un indicador prometedor no invasivo para la evaluación del estado de fatiga en jugadores de fútbol soccer nivel elite.

Ese mismo año, Orellana et al. (2015) realizaron una investigación en jugadores profesionales para probar la utilidad de dos indicadores: Stress Score (SS) y relación simpático:parasimpático (sympathetic:parasympathetic ratio, S:PS ratio). Además de indicadores utilizados de manera más común, como: SDNN, RMSSD, PNN50, SD1 y SD2. El estudio se realizó en 25 jugadores profesionales españoles pertenecientes a la liga española (Liga BBVA). Las mediciones fueron tomadas a lo largo de 7 meses, siendo un total de 13 mediciones (aproximadamente 2 mediciones por mes), tomadas en posición sentado en la mañana estando en ayunas. Los resultados mostraron ser de utilidad para obtener un mejor entendimiento de la VFC orientada a evaluaciones utilizando las dos propuestas, además del método de Poincaré y dominio de tiempo.

Las comparaciones anteriores fueron realizadas en el mismo nivel entre sujetos. En el 2017, Proietti et al. realizaron un estudio para analizar y comparar la fiabilidad de los diferentes índices de la VFC entre niveles de competición distintos utilizando 3 diferentes categorías de equipos profesionales: segunda división italiana, liga europea (European League) y liga de campeones (Champions League).

En la investigación se evaluaron 44 jugadores profesionales de futbol soccer de diferentes equipos (1 de Italia y 2 de Alemania). Se aplicaron diferentes indicadores de la VFC: RMSSD, SDNN, SS, S/PS, LF, HF, LF/HF. Se tomaron 2 mediciones en un periodo de 2 semanas durante el periodo competitivo. Se les indico permanecer sentados de manera cómoda en una silla con los ojos abiertos, con respiraciones espontaneas y en silencio.

Los resultados mostraron que a excepción de las variables de dominio de frecuencia, hubo una fiabilidad casi perfecta en jugadores profesionales de futbol soccer por parte de los indicadores RMSSD, SDNN y SS, lo cual pudiera ser útil para monitorización de la carga de entrenamiento y adaptaciones. Además de mostrar que puede diferenciar entre niveles nacionales e internacionales.

Conceptualización y clasificación en torno a las variables

Capacidades físicas en el futbol

El futbol o también conocido como soccer especialmente en el norte de América, pudiera ser considerado como el deporte más popular a nivel mundial (Giulianotti, 2012). En el futbol se presentan distintas capacidades físicas, coordinativas y cognitivas. Los partidos se desarrollan en un campo con una duración de 90 minutos totales de tiempo regular. Este tiempo está dividido por dos tiempos de 45 minutos con un periodo de descanso entre cada tiempo de 15 minutos.

Debido a la duración de la competición, se suele pensar que el futbol es un deporte exclusivamente aeróbico entrenándolo por medio de métodos extensivos de la resistencia. Sin embargo, la intensidad a la que se practica no es la misma durante los 90 minutos. Se realizan constantes cambios de ritmo en distancias cortas de entre 10 a 30 metros, con intensidades submáxima y máximas.

De acuerdo con Bradley et al. (2010), este deporte se caracteriza por ejecutar desplazamientos de baja intensidad de manera constante, alternándolo con desplazamientos o acciones a una velocidad o intensidad máxima por cortos periodos de duración. Dependiendo de la posición que desempeñe el futbolista en el campo, puede tener un recorrido de entre 10-13 km durante un partido. Además de que las acciones de alta intensidad se presentan aproximadamente cada 90 segundos (Wong et al., 2010).

Sistemas Energéticos

La energía que es utilizada en el cuerpo humano se obtiene de los alimentos que se consumen, más específicamente de los macronutrientes; hidratos de carbono y las grasas predominando sobre las proteínas que son más un medio de reparación o construcción dentro del cuerpo. Hay distintos procesos que se encargan de proveer ATP al organismo, los cuales nos brindan energía para ejercer acciones con características específicas (Haff & Triplett, 2015).

Los sistemas energéticos están divididos en dos categorías: aeróbicos y anaeróbicos. Los cuales dependiendo de la intensidad y duración de la acción o ejercicio hará uso de uno u otro.

En términos simples la energía proveniente de la división aeróbica proviene del metabolismo oxidativo, es decir que requiere de la presencia de oxígeno para poder ser utilizado. Este produce ATP mediante la degradación de glucógeno en mayor cantidad que su contraparte anaeróbica, pero de manera más lenta, sin embargo, su principal proveedor de energía son los ácidos grasos, siendo la manera en que mayor energía se produce, pero es demasiado lento para mantener suministro energético en acciones de alta intensidad. Por otro lado, el anaeróbico puede obtener energía por medio de los alimentos sin la necesidad de oxígeno durante la actividad, utilizando principalmente reservas intramusculares de fosfocreatina, glucógeno y glucosa (Williams & Rollo, 2015).

El cuerpo está constantemente usando y reponiendo ATP a través de series de procesos químicos para brindar de energía al cuerpo. Para ello es necesario el uso de los sistemas energéticos distribuidos en tres métodos con características específicas para aportar energía: sistema de fosfágenos, sistema glucolítico y sistema oxidativo (Kang, 2018).

Sistema de fosfágenos

El sistema de fosfágenos o también conocido como ATP-PCr debido a que tanto los ATP como la PCr poseen fosfatos, es un sistema de acción inmediata para brindar energía al cuerpo. De acuerdo con Wilmore & Costill (2004), más que generar energía, este se encarga de regenerar el ATP de una manera en que no deba pasar por un proceso tan

largo como el de los otros sistemas energéticos. La energía liberada a través de la descomposición de la fosfocreatina no es usada directamente para realizar trabajo celular, permitiendo así un suministro relativamente constante.

Kang (2018), que el sistema esté compuesto por tres componentes. El primero es el ATP por su cuenta, donde del almacenado en los músculos es utilizado para ser liberado de la manera más rápida posible en el momento de recibir su impulso de acción. Funcionando al degradar el ATP a ADP por medio de la enzima ATPasa.

Figura 1

Primer componente de la ruta metabólica del sistema de fosfágenos.



Nota. Nutrition and metabolism in sports, exercise and health de Kang (2018) pag. 171.

El segundo componente sería la integración o acción de la fosfocreatina (PCr). Que como se mencionó previamente, no es utilizada para realizar trabajo celular. Este actuaría cediendo su fosfato de reserva al ADP para así evitar el agotamiento de ATP, reacción iniciada por medio de la enzima Creatina quinasa (CK).

Figura 2

Segundo componente de la ruta metabólica del sistema de fosfágenos.



Nota. Nutrition and metabolism in sports, exercise and health de Kang (2018) pag. 171.

EL tercero y último de estos componentes que el autor menciona es como se involucra el ADP y la Adenilato quinasa, siendo esta enzima catalizadora en la producción de ATP y un AMP por medio de dos ADP.

Figura 3

Tercer componente de la ruta metabólica del sistema de fosfágenos.



Nota. Nutrition and metabolism in sports, exercise and health de Kang (2018) pag. 171.

Estos procesos son rápidos sin necesidad de acciones especiales dentro de la célula, que a pesar de poder suceder en presencia de oxígeno, este no es indispensable o requerido para el proceso haciendo este método de ATP-PCr anaeróbico.

Sistema glucolítico

El sistema glucolítico al cual también se refieren como glucolisis, utiliza la energía a partir de la glucosa y glucógeno para reabastecer de ATP a las células.

Para iniciar con la producción de energía la glucolisis se encarga de producir ácido pirúvico. Este proceso ocurre independientemente de la presencia de oxígeno. Sin embargo dependiendo de la disponibilidad de oxígeno es que se determinara el proceso por el cual pasara. En caso de ausencia se convertiría en ácido láctico (Kang, 2018).

Figura 4

Proceso de la ruta metabólica del sistema glucolítico.



Nota. Nutrition and metabolism in sports, exercise and health de Kang (2018) pag. 172.

La glucolisis suplirá de energía en actividades de mediana a alta intensidad y de una duración intermedia (Haff & Triplett, 2015).

Oxidación

La mayor parte de la energía obtenida diariamente es por medio de este sistema. Este proceso aeróbico de producción de energía ocurre dentro de la mitocondria. Para cumplir con este proceso se debe de convertir el piruvato en acetil-CoA en lugar de pasar

a ácido láctico, lo cual ocurre cuando el organismo no está obteniendo suficiente oxígeno. Con el oxígeno suficiente la molécula de acetil-CoA entraría en un proceso conocido como ciclo de Krebs (Kang, 2018).

El sistema oxidativo difiere del sistema ATP-PCr y la glucólisis anaeróbica, ya que este convierte la energía por medio del oxígeno. Este es el que más energía produce durante el día y es utilizado como fuente principal en deportes en los cuales tiene un énfasis en la resistencia. Sin embargo, es más lenta su ritmo de producción en comparación con los otros sistemas (Wilmore & Costill, 2004).

Sistemas energéticos en el fútbol

Durante un partido de fútbol, la participación del metabolismo aeróbico es más elevado y predominante en comparación con los otros sistemas energéticos. Sin embargo, las acciones más determinantes están involucradas con los sistemas de glucólisis y fosfocreatina al realizar acciones de alta intensidad y una duración de segundos (Krustrup et al., 2006).

Carga de entrenamiento

La carga de trabajo está dividida en dos tipos: carga externa y carga interna. La carga externa es toda actividad a la que se somete el deportista como entrenamiento y competencias independientemente de las características internas de los atletas. Por otro lado, la carga interna es la respuesta psicofisiológica y su capacidad de asimilación del deportista ante los estímulos brindados a través de la carga externa (Bourdon et al., 2017).

De esta manera la carga externa puede ser monitorizada constantemente por medio de aparatos y herramientas externas que permitan adaptar el trabajo en cuestiones de tiempo, duración, intensidad y descanso. Mientras que la carga interna hará uso de valoraciones perceptuales de esfuerzo percibido por el deportista, o mediante aparatos que permitan medir a nivel fisiológico o bioquímico valores específicos (Halson, 2014).

Métodos subjetivos de medición de carga interna.

Monitorizar la carga de entrenamiento de un atleta se ha adaptado cada vez más a métodos modernos que poseen un enfoque científico para así ser capaces de comprender la respuesta de los atletas ante la carga externa proporcionada. Brindando así una

explicación ante los cambios positivos o negativos en el rendimiento del deportista mediante principios científicos, disminuyendo el grado de incertidumbre asociado a dichos cambios. Halson (2014) menciona diversos métodos que pudieran ser utilizados para la evaluación o parámetros a tomar en cuenta en la carga interna de entrenamiento.

RPE

La escala de esfuerzo percibido o por sus siglas en inglés Rate of perceived exertion (RPE), es una forma subjetiva de evaluar el esfuerzo realizado por una persona durante algún tipo de actividad física. De acuerdo con Impellizzeri et al. (2004), este representaría el esfuerzo desde la propia percepción de estrés psicológico y fisiológico del atleta, y de esta manera mantener un control de la carga interna individualizada. Este mismo autor menciona que hay una alta correlación entre sesiones evaluadas por RPE y la carga interna evaluada basándose en la frecuencia cardíaca.

Para la evaluación se necesita que el deportista describa su percepción durante el entrenamiento en una escala del 1 al 10 (1 siendo lo más ligero y 10 un esfuerzo máximo). Seguido de esto, se recomendaría utilizar como complemento el sRPE, que ayudaría a calcular con mayor precisión, multiplicando la intensidad descrita por el atleta (RPE) y la duración de la sesión de entrenamiento en minutos (Marynowicz et al., 2020).

Parámetros Bioquímicos

En el deporte es de suma importancia el control que se pueda tener sobre los parámetros asociados con el rendimiento de los deportistas. Una evaluación y separación entre la carga interna y externa puede servir para mostrar el estado de fatiga en el que el atleta se encuentra. Los parámetros bioquímicos son una herramienta de gran utilidad en el monitoreo de rendimiento deportivo y salud de los atletas, pudiendo ayudar a prevenir el riesgo de sobreentrenamiento o lesiones mediante la detección de cambios inusuales en cualquiera de estos marcadores (Lee et al., 2017).

De acuerdo con Djaoui et al. (2017), algunos de los parámetros bioquímicos más utilizados para monitorear deportistas son los que evalúan cambios en sangre, saliva u orina. Sin embargo, a pesar de las ventajas vistas anteriormente, Halson, (2014) menciona varios puntos a tener en consideración como el que la mayoría de estos métodos son de

carácter invasivo, además de no tenerse un fácil acceso a los instrumentos utilizados para las mediciones, convirtiéndolo en una opción costosa, que pudiera consumir tiempo e impráctico al momento de aplicarlo.

Muestras de Sangre

Las mediciones que utilizan muestras de sangre pueden brindar una amplia variación de resultados, ya que en la misma muestra se evalúan diferentes componentes en el cual cada uno de ellos tendrá un propósito específico. Algunos de los más comunes en el deporte son la concentración de lactato en sangre, creatina quinasa (CK), urea y creatinina (Djaoui et al., 2017).

La concentración de lactato en sangre es una herramienta útil para obtener una evaluación de las variaciones en resistencia aeróbica haciendo uso del umbral de lactato (Weltman, 1995). Esto debido a que al incrementar el VO₂max hay una mejora del umbral de lactato, por consecuencia, la intensidad que puede sostener un atleta durante una competencia es mejor. Además, McMillan et al., (2005) menciona que la concentración de lactato en sangre posee una correlación a otros indicadores de la intensidad del ejercicio como el RPE y mediciones utilizando la frecuencia cardíaca.

Después está otra medición, que es la Creatina quinasa (CK), pudiendo ser utilizada como indicador del daño en las fibras del músculo esquelético (Mougiou, 2007). Sin embargo, Heisterberg et al., (2014) menciona que los valores de la CK pudieran ser altamente dependientes de diversos factores. Las mediciones se ven afectadas por la actividad realizada en días previos y los valores tendrán un margen distinto de un individuo a otro. Por lo que sugiere considerar constantemente la carga aplicada a la vez que se analiza la CK y obtener mejores valores para interpretar.

El tercero es la urea, el cual de acuerdo con Urhausen & Kindermann (1992) es un indicador de la gluconeogénesis la cual durante un esfuerzo físico o incremento de la carga de entrenamiento tendría valores normalmente elevados. Meyer & Meister (2011) mencionan que, a pesar de ser un indicador útil, no es aconsejable tomarlo de manera regular puesto que no habrá una diferencia notable en los resultados, con excepción de momentos específicos comparando periodos dedicados al acondicionamiento y periodos de descanso o transición. Por otro lado, en periodo competitivo los valores se mantendrían

relativamente estables. Como menciona Colombini et al., (2014) no hay una variación durante la temporada e incluso se puede ver similar luego de un partido de fútbol.

El último de los indicadores más relevantes es la creatinina, la cual es un indicador de la degradación de creatina durante el metabolismo energético. Según Forbes & Bruining (1976), la concentración de creatinina en sangre será más alta si la cantidad de masa muscular en el individuo es mayor.

Muestras de Saliva

En comparación con otro tipo de muestras, la recolección de saliva posee distintas ventajas, como la facilidad de aplicación, sobre todo en ambientes competitivos donde se utiliza con regularidad. La recolección de muestra de saliva es no invasiva y no genera estrés, lo cual es de gran ayuda pues de acuerdo con Gatti & De Palo (2011), el estrés físico pudiera producir cambios hormonales, bioquímicos e inmunológicos en la saliva, alterando así el resultado de la muestra.

En las muestras de saliva se busca evaluar 3 diferentes valores: T (Testosterona), C (Cortisol) y radio T/C. Los primeros dos son utilizados de manera frecuente para observar variaciones en el catabolismo y anabolismo de proteínas. Por otro lado, el radio T/C es más una representación del estado del deportista, ayudando con la prevención del sobreentrenamiento. Modificaciones en factores específicos de la saliva en el momento de realizar la muestra brindan resultados que pudieran ser útiles en el ámbito deportivo (Maso et al., 2004).

En el estudio realizado por Silva et al., (2014) observó que hay un incremento del radio T/C al final de la temporada de fútbol, lo cual mostraría un estado de fatiga elevado. Sin embargo, no encontró correlación con el rendimiento de los jugadores. Otro factor a tener en cuenta es el ambiente en el que se encuentran durante la toma de la muestra, ya que este pudiera comprometer el resultado de la muestra. Por ejemplo, en niveles de ansiedad previo a un partido donde C estaría involucrado (Alix-Sy et al., 2008).

Muestra de Orina

Las muestras de orina usualmente son utilizadas para los controles antidopaje. Sin embargo, de acuerdo con Baume et al., (2015), también pudiera ser utilizado para

monitorear a los jugadores. Independientemente del deporte, este tipo de muestras puede brindar información valiosa acerca de la relación de la carga de entrenamiento y el estado de fatiga del atleta, obteniendo una correlación entre el incremento en la fatiga y los cambios en hormonas presentes en la orina.

Además, Maso et al. (2004) menciona que las muestras de orina usadas para monitorear también pueden servir como indicador del estado de hidratación actual del deportista. Usando este método de evaluación se puede observar una reducción del rendimiento físico durante las competencias (Mohr et al., 2010).

VO₂max

De acuerdo con Poole et al. (2008), el consumo máximo de oxígeno (VO₂max) pudiera ser definido como la integración máxima de los sistemas pulmonares, cardiovasculares y musculares para ser capaces de obtener, transportar y utilizar el oxígeno. El cual es normalmente evaluado mediante una prueba incremental en caminadora o cicloergómetro.

Un inconveniente de la prueba es que para poder obtener los valores reales deseados es necesario que se realice bajo esfuerzos máximos del individuo durante la prueba. Por lo cual, para conocer el VO₂max se volvió usual acompañar a la prueba con distintos parámetros fisiológicos como la frecuencia cardíaca máxima y la concentración de lactato en sangre (Smirmaul et al., 2013).

Frecuencia Cardíaca

La frecuencia cardíaca se puede definir como el número de veces que late el corazón por minuto, que puede servir como un indicador no invasivo de la capacidad física aeróbica. De acuerdo con Achten & Jeukendrup (2003), la principal característica de la frecuencia cardíaca es registrar la actividad fisiológica del corazón, almacenando datos de ECG (Electrocardiograma). Un ECG está compuesto por tres segmentos; P, QRS y T, registrando así gráficamente la actividad eléctrica presente en el corazón.

Los monitores de la frecuencia cardíaca se han convertido en una herramienta esencial para el entrenamiento deportivo, sobre todo en deportes de resistencia. Esto debido a que está basado en la capacidad cardíaca individual. La FC posee dos valores importantes

a considerar para su uso; Frecuencia Cardíaca en Reposo y Frecuencia Cardíaca Máxima (Benson & Connolly, 2019).

La frecuencia cardíaca en reposo, de acuerdo con Nanchen (2018), es un parámetro fácilmente medible y clínicamente utilizado para medir los valores más bajos de FC de una persona, en el cual se sitúan valores normales de entre 50-90 latidos por minuto, los cuales pudieran variar durante el día. Estos valores se pueden ver afectados de manera positiva o negativa dependiendo del estado físico del individuo, los cuales si se encuentra en una buena condición pudiera acercarse hasta los 30 latidos por minuto en reposo.

Por otro lado, la frecuencia cardíaca máxima es el número más alto de veces en que el corazón puede latir por minuto. La FCmax no es afectada por los cambios fisiológicos generados por el entrenamiento. Sin embargo, es utilizada como base para dividir porcentajes de intensidad a la que se realizaran los entrenamientos, que son calculados tomando ese número como referencia.

TRIMP

El TRIMP (Training Impulse) es una herramienta utilizada para la cuantificación de las cargas de entrenamiento basándose en la respuesta individual de cada atleta. La monitorización del entrenamiento es de suma importancia, un instrumento indispensable para evaluar la respuesta de los deportistas al entrenamiento y competencias (Pind & Mäestu, 2017). Banister desarrollo el TRIMP como método de cuantificación, este consiste en calcular la intensidad del ejercicio mediante la frecuencia cardíaca (FC) y la duración del ejercicio.

Sin embargo, el TRIMP tiene versiones posteriores adaptadas por distintos autores. Foster et al., (2001) desarrolló un método modificado de la escala de esfuerzo percibido (RPE) como marcador de la intensidad del entrenamiento usando el TRIMP como concepto.

Después obtuvo una modificación por Edwards, Lucia y Stagno. Edwards (1993) propuso monitoreo de zonas de entrenamiento con 10% de diferencia entre zonas. Lucia et al., (2003) basó sus cálculos en el umbral de ventilación, donde la intensidad del entrenamiento fue multiplicada por el tiempo en que se mantuvo en las respectivas 3 fases.

Estas fases son: baja intensidad, <70% VO₂max; intensidad moderada, entre 70 y 90% VO₂max; y alta intensidad, >90%VO₂max. Y por último Stagno et al., (2007) el cual su modificación del TRIMP fue orientada a la cuantificación de la carga de entrenamiento dentro de los deportes de conjunto para controlar las cargas de entrenamiento, acompañado de los cambios en el perfil fisiológico.

El inconveniente del TRIMP está en la monitorización de FC durante ejercicios de muy alta o máxima intensidad, como el levantamiento de pesas, HIIT y entrenamiento pliométrico (Morton et al., 1990).

Sistema Nervioso Autónomo (SNA)

El SNA posee un rol fundamental para mantener la homeostasis del cuerpo humano, ayudando a regular las actividades del músculo cardíaco, músculos lisos y glándulas (Fox, 2014). El SNA está conformado y dividido en dos subsistemas los cuales inervan distintas áreas para ser capaces de realizar una variedad de regulaciones y acciones en el cuerpo, permitiendo mantener la homeostasis (Streeter et al., 2012).

La distribución del sistema nervioso autónomo es compleja e involucraría múltiples áreas del sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico. La actividad del sistema nervioso autónomo es controlada por neuronas centrales que controlan la respuesta respondiendo a estímulos aferentes (Gibbons, 2019). Este mismo autor menciona que el sistema nervioso autónomo posee sustancias con características específicas para transmitir y recibir; esta forma de conexión está dividida en fibras preganglionares y posganglionares, algunas más orientadas a la rama simpática y otras a la parasimpática.

McCorry (2007) menciona que la forma en que se buscaría mantener la homeostasis es por medio de estas divisiones. Al incrementar la actividad de uno de los sistemas, de manera simultánea la actividad del otro disminuiría, provocando como resultado una función con un control rápido y preciso. De acuerdo con este mismo autor, ambos sistemas poseen características diferentes, por lo cual cada uno es predominante bajo diferentes circunstancias.

El sistema simpático prepara al cuerpo para un mecanismo conocido como “lucha o huida”, involucrando con la actividad y situaciones que pudieran poner al individuo bajo

estrés. Por el lado contrario, el sistema parasimpático se le describe como la división de “reposo y digestión”, ya que está involucrado con acciones como la ingesta de alimentos y el descanso (Fox, 2014).

El sistema simpático y parasimpático están relacionados con la frecuencia cardíaca como uno de los indicadores del estado interno. De acuerdo con Fu & Levine (2013), parámetros relacionados a la actividad cardíaca se vuelven importantes luego de realizar actividad física, ya que hay una predominancia del sistema simpático, que será relevante luego en la recuperación. También menciona que el entrenamiento físico con el tiempo produciría adaptaciones que ocasionarían una disminución en la frecuencia cardíaca en reposo, reduciendo así la actividad simpática y un incremento en la variabilidad de la frecuencia cardíaca.

Homeostasis y el SNA

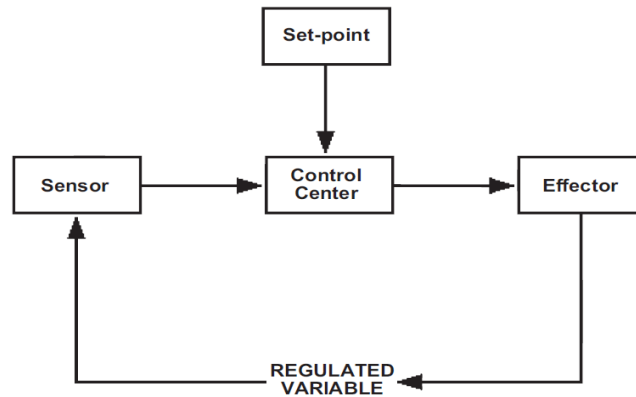
La función más importante del sistema nervioso autónomo es el mantener la homeostasis. Fisiológicamente hablando puede ser descrita como los factores fisiológicos que mantienen el estado de equilibrio corporal, que posteriormente sería perfeccionado para especificar que el equilibrio sería en el ambiente interno del cuerpo y poseería una relativa constancia interna, puesto que estaría cambiando continuamente para conservar dicho equilibrio (Fox, 2014).

El SNA está encargado de inervar y accionar de manera involuntaria los músculos y glándulas. Esto se lleva a cabo a través de la división del sistema nervioso simpático y parasimpático, generando funciones opuestas, permitiendo una regulación que es constantemente modulada de acuerdo a la demanda requerida por la situación (Cardinali, 2017). De esta manera el SNA es capaz de adaptarse a los cambios en el cuerpo.

De acuerdo con Fisher et al. (2015), el SNA tiene una función indispensable en la modulación cardiovascular para cumplir con las demandas de las actividades realizadas. Entre más intensa sea la actividad, el tono parasimpático se ve más reducido contribuyendo a un incremento de la frecuencia cardíaca (FC) a diferencia de la actividad simpática que se ve aumentada, por lo tanto la VFC disminuye.

Figura 5

Representación simplificada de un sistema regulador homeostático.



Nota. A physiologist's view of homeostasis. de Modell et al. (2015).

Fatiga

De manera general la fatiga pudiera ser considerada como una dificultad para mantener o iniciar algún proceso mecánico o cognitivo (Enoka & Duchateau, 2016), por lo tanto el nivel de fatiga de un individuo está relacionado con la demanda de la actividad que está realizando. La fatiga puede ser clasificada de varias maneras como central y periférica. La fatiga periférica se ve involucrado con la reducción de estímulos en la porción más cercana al musculo, refiriéndose a su funcionamiento muscular. Por otro lado, la fatiga central se refiere a los procesos realizados entre el sistema nervioso central y las neuronas motoras, en otras palabras, su capacidad para la activación muscular a través de las neuronas específicas (Carroll et al., 2017).

Durante la actividad física el cansancio va incrementando involucrado con la manera en que es estimulado el musculo, generando menor contracción y llevando a un decremento progresivo de la capacidad para producir fuerza. Carroll et al. (2017), explican que mecánicamente hablando en el cuerpo humano habría pérdida de fuerza debido a la fatiga neuromuscular. Esto generaría lentificaría los movimientos y los volvería imprecisos, sobre todo en acciones altamente técnicas que requieran de mucha precisión de ejecución.

A los efectos de la fatiga ocasionados por entrenamientos y competencias son considerados como normales, ya que al ser aplicado un estímulo lo suficientemente exigente al individuo para que esto suceda, y con una recuperación correcta la persona generaría adaptaciones por medio de un mecanismo conocido como supercompensación (Wada et al., 2020). Sin embargo, para que se pueda llevar a cabo la supercompensación deben de suceder principalmente dos cosas: 1) la fatiga debe ser lo suficientemente estimulante pero no excesiva; 2) debe de haber una recuperación adecuada.

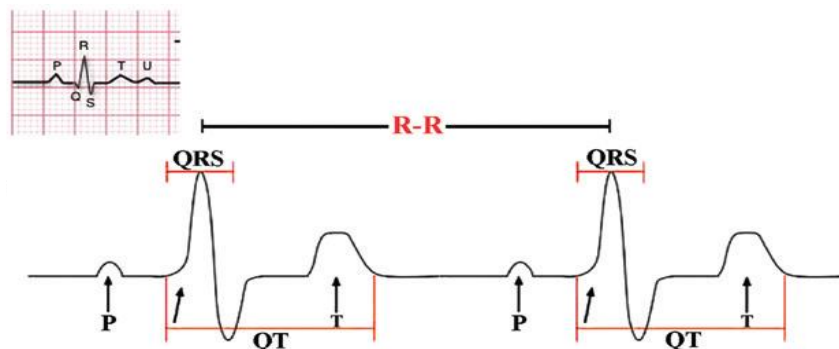
La fatiga podría clasificarse también de manera aguda y crónica. La fatiga aguda es aquella generada por un corto periodo de tiempo ocasionada por algún estímulo, como el ejercicio. Este tipo de fatiga puede considerarse como una sobrecarga funcional, debido a que se pueden generar adaptaciones si se mantiene un equilibrio entre el nivel de fatiga y recuperación (Schmitt et al., 2015). Mientras que la fatiga crónica es algo que se debe evitar, siendo una acumulación de fatiga por un tiempo prolongado generando efectos negativos en el cuerpo del individuo. La fatiga crónica pudiera ocasionar una persona entre en estado de sobreentrenamiento (Piesik et al., 2017).

Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC)

Se define a la variabilidad de la frecuencia cardíaca como las variaciones en el tiempo (expresadas en milisegundos) que transcurre entre latidos consecutivos en el corazón. Esta describe oscilaciones entre los intervalos de los latidos capturados por las herramientas usadas para su medición (García et al., 2013).

Figura 6

Ejemplo del electrocardiograma (ECG) como base de la medición de la VFC.



Nota. The role of heart rate variability in sports physiology (Review) de Dong (2016).

La VFC comenzó siendo relevante en el sector clínico, sirviendo como predictor de mortalidad relacionado con el miocardio. Sujetos sanos en reposo mostraban una variabilidad mayor, denotando un estado de salud superior y mejor adaptabilidad en comparación con las personas con una variabilidad baja, estando relacionado su resultado con una adaptabilidad deficiente, un incremento en el riesgo de patologías cardiovasculares y estado constante de estrés. (Task Force, 1996).

A partir de este punto, la VFC ha sido utilizada ampliamente como método no invasivo para estimar la regulación del sistema nervioso autónomo (Saboulet et al., 2015) proporcionando información para evaluar interacción entre los sistemas simpático y parasimpático, ya que constantemente es presentada como un reflejo de los desequilibrios del sistema nervioso autónomo (Ernst, 2017).

Al principio, era calculada basándose en mediciones de 24 horas, que eventualmente con el surgimiento de nuevos algoritmos y parámetros sustentados por evidencia fue reducido. Actualmente la VFC es utilizada en cardiología e investigaciones en donde las mediciones van desde periodos cortos de 5-10 minutos hasta periodos largos de 12-24 horas (Ernst, 2017). Las distancias entre segmentos QRS entre latidos sucesivos puede ser analizado por medio de algoritmos especializados (Tarvainen et al., 2014).

De acuerdo con Corrales et al. (2021), los métodos utilizados para la cuantificación de la VFC pueden ser: 1) lineales, como el dominio de tiempo y dominio de frecuencia o 2) no lineales, como el Poincaré.

Método de dominio del tiempo

El análisis del dominio de tiempo mide la variación entre intervalos consecutivos en ciclos cardiacos normales. Este posee parámetros como el SDNN, pNN50 y RMSSD, que pueden ser utilizados en mediciones de larga o corta duración. Es importante resaltar que los parámetros de dominio de tiempo son dependientes de la longitud de la lectura. Periodos más extensos generan una variabilidad mayor, por lo tanto es importante que al realizar comparaciones se hagan con la misma longitud de lectura (Ernst, 2017).

Las mediciones que utilizan el dominio de tiempo poseen algunos de los parámetros más utilizados en el uso de la VFC como es el caso del RMSSD. Siendo las más utilizada

en el área deportiva como indicador de influencia parasimpática en el corazón (Buchheit, 2014). De acuerdo con Kuss et al. (2008), las estimaciones de los parámetros del dominio de tiempo son más directas en comparación con las del dominio de frecuencia que por lo regular son más complicadas. Obteniendo así estimaciones en las lecturas con menores sesgos.

Tabla 1

Parámetros del método de dominio de tiempo.

Parámetros	Definición operacional
Mean NN	Media del intervalo NN.
SDNN	Desviación estándar del intervalo NN.
RMSSD	Raíz cuadrada de las diferencias sucesivas del intervalo NN.
NN50	Numero de pares de intervalos NN adyacentes que difieren en más de 50 ms en todo el registro.
PNN50	Cuenta NN50 dividido por el número total de todos los intervalos NN.

Método de dominio de frecuencia

Este método describe una oscilación periódica en diferentes frecuencias de los latidos cardiacos, y a partir de esto se cuantifica la cantidad de diferentes bandas de frecuencia. Usualmente los parámetros que mide el dominio de tiempo son el VLF, LF, HF y LF/HF. Los parámetros de dominio de frecuencia pueden ser aplicados para mediciones de corto y largo tiempo (Ernst, 2017). Sin embargo uno de sus inconvenientes es la inconsistencia debido a que es altamente dependiente del ritmo de respiración y volumen pulmonar (Penttilä et al., 2001).

Tabla 2

Parámetros del método de dominio de frecuencia.

Parámetros	Definición operacional
Total Power (TP)	Varianza de todos los intervalos NN <.4 Hz.
LF	Potencia en rango de baja frecuencia 0.4-.15 Hz.
HF	Potencia en rango de alta frecuencia .15-.4 Hz
LF/HF	Relación LF/HF.

HF es un parámetro frecuentemente usado como marcador del sistema nervioso parasimpático y su influencia con la frecuencia respiratoria. El parámetro LF es modulado por la actividad del sistema simpático y sistema parasimpático. El incremento de este parámetro es usualmente relacionado con la alta actividad simpática que tendría relación con el estado mental, estrés físico y agentes farmacológicos (Ernst, 2017).

Diagrama de Dispersión de Poincaré

El diagrama de Poincaré está formado por pares de intervalos R–R siguientes, asumiendo así la implicación de que el actual determinara de manera significativa el siguiente intervalo. Consiste en una representación visual de los valores sucesivos en series de tiempo, presentados de manera simple en el espacio de un diagrama. Este muestra el análisis a través de una gráfica donde los intervalos R-R son presentados como patrones geométricos (Tayel & AlSaba, 2015).

La gráfica de dispersión es presentada por dos dimensiones: el diámetro longitudinal y el diámetro transversal. Los parámetros presentados en el diagrama de Poincaré son el SD1 utilizado como descripción de la variabilidad a corto plazo, y el SD2, como variabilidad de largo plazo. El análisis cuantitativo de este está basado en el conocimiento de diferentes efectos temporales en la modulación vagal y simpática de la frecuencia cardíaca (Hoshi et al., 2013).

Tabla 3

Parámetros del diagrama de Poincaré.

Parámetros	Definición operacional
SD1	Desviación estándar de la variabilidad instantánea latido a latido.
SD2	Desviación estándar de la variabilidad continua a largo plazo.
SD1/SD2	Relación SD1/SD2.

En el 2015 Orellana et al., propusieron dos nuevos indicadores para mejorar la interpretación de diagrama. Estos indicadores fueron denominados como Stress Score (SS) y relación simpático parasimpático (S:PS ratio). El primero de estos es expresado como el inverso de SD2 multiplicado por 1000, obteniendo valores proporcionales con la actividad simpática del individuo. Y el segundo, es expresado por el cociente entre el SS y SD1, que nos informa de la relación entre simpático y parasimpático.

Stress Score (SS): Índice de estrés $1000/SD2$.

S:PS ratio: Relación Simpático: Parasimpático, representación del equilibrio autonómico $SS:SD1$.

El Stress Score se correlaciona con variables de dominio de tiempo como RMSSD y SDNN. Este mismo autor menciona que valores mayores a 10 pueden ser indicadores de actividad simpática excesiva en los sujetos o que no hay una recuperación apropiada del sistema nerviosos parasimpático.

RMSSD-Slope

Durante el 2019 Orellana et al. realizaron un estudio para diseñar un indicador que ayudara a la valoración de la carga interna basado en la pendiente de recuperación de la RMSSD también conocido como RMSSD-Slope. Para la aplicación se recomendó la medición de la RMSSD a lo largo de cualquier periodo de 5 minutos durante de la

aplicación de la carga de trabajo, con excepción de los primeros 5 minutos. Los resultados de la investigación mostraron que podría ser utilizada para monitorear la recuperación individual de los sujetos luego de efectuar diferentes cargas de trabajo.

En la investigación realizada por Ruso-Álvarez et al. (2019), la RMSSD-Slope mostró valores bajos cuando los sujetos fueron sometidos a trabajos con intensidades altas, en contraste al ser sometidos a carga de trabajo con intensidades bajas, sus valores se vieron elevados.

Aplicación de la VFC

Como se ha presentado en apartados anteriores, la variabilidad de la frecuencia cardiaca es usada como un índice de la respuesta autónoma basándose en las variaciones entre latidos. Esta es registrada por medio de un electrocardiograma y analizada posteriormente. Con los avances tecnológicos se ha hecho más factible el uso fuera de clínicas y laboratorios especializados, y transformado en una herramienta mucho más practica y económica (Achten & Jeukendrup, 2003).

La mayoría de estos nuevos aparatos tienen la misma capacidad de almacenar información e interpretación de los diferentes métodos (dominio de tiempo, dominio de frecuencia y Poincaré). A esto se le ve agregado la diversidad de protocolos para ser aplicado comenzando por el tiempo de aplicación de periodos cortos (5-10 minutos) hasta periodos largos (12-24 horas), además más actualmente existen incluso variaciones ultracortas con lecturas de hasta 1 minuto (Baek et al., (2015). Sin embargo, es más para un uso practico que para un análisis completo, por la cantidad de información que pueden brindar.

Otros factores que pudieran influenciar la información recolectada por la medición es la posición en que se hace la toma. Una posición acostado será más involucrado con tomas relacionadas al sistema parasimpático, debido a su relación con el reposo. Entre más actividad haya en la posición de la medición, la actividad simpática se verá reflejada en mayor manera (Abad et al., 2017). También todos los parámetros se ven afectados por la frecuencia respiratoria, que aun estando en una posición de completo reposo pudiera dar un valor diferente al esperado.

Durante la transición de reposo a realizar actividad física se ve un decremento en los valores, indicando que la influencia del sistema nervioso parasimpático ha disminuido. Pero no solamente se ve una diferencia entre reposo y ejercicio, también entre individuos sedentarios, activos y altamente entrenados se puede ver una diferencia en la variabilidad de la frecuencia cardiaca. Las personas con mayor preparación física presentan valores mayores entre intervalos R-R que las personas sedentarias o con menor actividad (Dong, 2016).

Clínicamente, ChuDuc et al., (2013) mencionan que los diferentes índices, parámetros y métodos de la VFC han sido cruciales durante la valoración y control en enfermedades relacionadas con el sistema cardiovascular, pero también en otras tales como accidentes cerebrovasculares, alzheimer, insuficiencia renal, leucemia, epilepsia, migrañas crónicas y apnea del sueño. De acuerdo con Billman et al. (2015) todos los órganos son dependientes o involucrados de alguna manera con la circulación sanguínea, cualquier irregularidad cardiovascular se verá reflejada en otros órganos al igual que en la actividad del corazón.

Pero no solamente se reduce a enfermedades afectando directamente al físico, también puede contribuir con problemas psicológicos. La VFC posee la habilidad de mostrar cierta cantidad del funcionamiento del sistema nervioso autónomo, así que aplicado a desordenes psicológicos pudiera reflejar problemas de depresión o esquizofrenia (ChuDuc et al., 2013).

Esto debido a que diversos estudios muestran que el mal funcionamiento del sistema nervioso autónomo puede incluirse como un indicador de depresión. Se menciona que la reducción en los nervios parasimpáticos permite la estimulación sin oposición, lo que podría desencadenar irregularidades en los latidos del corazón.

VFC en el deporte

La variabilidad de la frecuencia cardiaca se ha vuelto una de las herramientas más utilizadas en el deporte para monitorizar el entrenamiento y recuperación. Durante el comienzo de la actividad física, los intervalos R-R se vuelven más cortos y uniformes, esto es el resultado del aumento de la actividad simpática y la retroceso del sistema parasimpático. La información recopilada de la lectura de los intervalos R-R, puede brindar

conocimiento del estrés fisiológico y valores de fatiga antes y después del entrenamiento (Dong, 2016).

La actividad autónoma puede evaluarse analizando la VFC para estimar el balance que posee. Adicionalmente, los rangos en la variabilidad cambian correspondiendo a la actividad de diferentes ramas del sistema nervioso autónomo. Por ello la aplicación de la VFC está basada en la regulación autónoma cardiovascular, porque este factor es importante para la adaptación a los estímulos de entrenamiento, viéndose reflejado el progreso que va adquiriendo el deportista antes de completar el proceso de adaptación (Plews et al., 2013).

En deportes o actividades en las que predomine la resistencia, se muestra una modulación parasimpática elevada inducida por dicha actividad por un periodo de al menos 24 horas (Kaikkonen et al., 2008). En atletas, el balance simpático vagal se ve alterado por la respuesta ante una variedad de intensidades y duración del entrenamiento aeróbico.

Otro aspecto de la VFC es que inmediatamente al término del ejercicio durante el periodo de recuperación, responde de una manera que indica la presencia de actividad, esto lo correlaciona con el estado atlético actual del deportista (Esco et al., 2016). Dentro de estos mismos factores que pudieran relacionarse con la VFC está el VO₂max, vinculado con la capacidad de recuperación.

Además un monitoreo frecuente de la VFC pudiera ayudar a prevenir el síndrome de sobreentrenamiento. Deportistas en este estado muestran una disminución en parámetros de dominio de frecuencia y dominio de tiempo como es el caso de la RMSSD y la SDNN (Mourot et al., 2004).

Los beneficios que es capaz de brindar la VFC en el deporte son muy extensos, y se muestra como un indicador lo suficientemente bueno de adaptaciones fisiológicas como apoyo en la planificación de programas de entrenamiento.

Capítulo 2

Metodología

Diseño experimental

El estudio fue de tipo cuantitativo descriptivo longitudinal (Sampieri, 2018).

Población de estudio

La población de estudio es de 24 jugadores del equipo de futbol soccer varonil representativo de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Muestra

Se tomó una muestra de 12 jugadores de futbol soccer categoría varonil (edad 20.5 ± 1.7 , estatura 175.8 ± 5.4 y peso 72.8 ± 5.2) que representan a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, teniendo como lugar de entrenamiento el Complejo Universitario.

Criterios de inclusión

Pertenecer al equipo representativo de futbol soccer varonil la UACJ.

Criterios de exclusión

- Tener alguna lesión o patología que le impida entrenar con regularidad.
- Consumir estimulantes o depresivos.

Criterios de eliminación

- No asistir a 2 sesiones de entrenamiento.
- Presentar alguna lesión durante los entrenamientos o competencias.

Variables

Dependientes

Tabla 4

Descripción y conceptos de variables que conforman el estudio.

Variable	Tipo	Definición operacional	Fuente en forma genérica	Unidad de medida
RMSSD	Dependiente	Raíz cuadrada media de las diferencias sucesivas del intervalo NN.	Polar H10	ms
SS	Dependiente	Índice de estrés $1000/SD2$.	Polar H10	ua

Nota: ms: milisegundos; ua: unidades arbitrarias.

Independiente

Entrenamientos y competencias.

Consideraciones Éticas

Los jugadores y entrenadores estuvieron informados del protocolo del estudio a seguir, por lo que el estudio fue realizado conforme el Código de Ética de la World Medical Association (World Medical Association. 2013), en el cual cada uno de los jugadores declararon su consentimiento.

Instrumentos

Para realizar las mediciones de VFC se utilizaron dispositivos Polar H10 (Polar Electro), el cual posee una alta fiabilidad en el registro de datos de intervalos RR (Gilgen et al., 2019) que con parámetros específicos se puede estimar la fatiga y recuperación de la

persona que fue sometida a la evaluación (Kiss et al., 2016) y la aplicación Elite HRV que recolecta los datos tomados en conjunto con la banda torácica con la que se está tomando la VFC (Perrotta et al., 2017) la cual está disponible y es gratuita para sistemas operativos Android y iOS.

Para el análisis de VFC se utilizó el software Kubios. Este software permite datos de electrocardiograma y de intervalos RR para un análisis preciso, calculando los métodos lineales y no lineales (como el diagrama de Poincaré), plasmando los valores en distintas tablas correspondientes a la sección de interés (Tarvainen et al., 2014). Además se les tomó la edad (20.5 ± 1.7), estatura usando un estadiómetro (175.8 ± 5.4) y peso utilizando una báscula Omron (72.8 ± 5.2).

Procedimientos

Se efectuaron mediciones de la variabilidad de la frecuencia cardiaca en jugadores de futbol soccer universitario durante un periodo de 8 semanas previas a la competencia Universiada Nacional 2022.

El primer día (martes) y el último día (jueves) de cada semana los deportistas realizaron una evaluación de VFC antes de comenzar el entrenamiento. Las tomas tendrían una duración de 5 minutos por sujeto, en posición sentado con un ambiente controlado (sin luz demasiado deslumbrante o perturbación acústica), además de que se les pidió a los sujetos mantener el menor movimiento posible durante la toma, las tomas se realizaron mediante dispositivos Polar H10 y la aplicación Elite HRV.

El transmisor capta la actividad cardíaca y envía la información a un dispositivo móvil para ser recopilada por la aplicación de Elite HRV. Posteriormente los datos de las sesiones fueron descargados a través de los correos electrónicos vinculados a la aplicación de cada móvil y ordenados la información correspondiente a cada sujeto.

Para el análisis de la VFC, los datos de las mediciones que fueron exportados de la aplicación Elite HRV y almacenados en diversas carpetas se abrieron y procesaron a través del software informático Kubios. De cada una de las sesiones se transcribieron los datos a evaluar (el SD2 para obtener el Stress Score y la RMSSD).

Análisis estadístico

Todas las pruebas estadísticas serán realizadas mediante el programa Excel 2021 versión 18.0.

Para la presentación de datos se realizó un análisis descriptivo. Posteriormente se realizará una prueba de correlaciones mediante el coeficiente de correlación de Pearson ($p < .05$) entre las variables.

Resultados

Los resultados de este estudio son presentados en las siguientes secciones: a) características descriptivas de la muestra, b) comportamiento grupal de las variables RMSSD y Stress Score al inicio y final de la semana, c) comportamiento grupal de las variables RMSSD y Stress Score por sesión, d) comportamiento individual de las variables RMSSD y Stress Score al inicio y final de la semana.

Características descriptivas de la muestra

En la tabla 5 se muestran las características físicas de los atletas analizados (edad, estatura y peso). Para el estudio se tomaron en cuenta 24 participantes, de los cuales 12 fueron excluidos del estudio por no cumplir con el mínimo de sesiones. El resto de los participantes lograron terminar de manera satisfactoria cada una de las sesiones en las que se evaluó la VFC.

Tabla 5

Características físicas de la muestra.

Variable	M ± DE
edad (años)	20.5±1.7
estatura (cm)	175.8±5.4
peso (kg)	72.8±5.2

Nota. Los valores son presentados en media ± desviación estándar.

Comportamiento grupal de la RMSSD al inicio y final de cada semana

La tabla 6 muestra los resultados del promedio grupal total de la variable RMSSD al inicio y final) de las semanas. Se buscó observar el comportamiento de la RMSSD grupal total promedio entre el primer día de entrenamiento (martes) y el último día de la semana (jueves).

Tabla 6

Valores de la RMSSD grupal total al inicio y final de la semana.

Variable	M ± DE	Mínimo	Máximo
RMSSD			
(ms) Inicio de semana	57.47±25.3	13.29	141.33
RMSSD			
(ms) Final de semana	57.64±24.16	18.60	149.59

Nota. Los valores son presentados en media ± desviación estándar, mínimo y máximo; ms: milisegundos.

Los valores de la tabla 6 muestran que el promedio grupal total del inicio de la semana en la RMSSD es de 57.47 ± 25.3 y el final es de 57.64 ± 24.16 . Dando como resultado una diferencia no significativa.

Comportamiento grupal del Stress Score al inicio y final de la semana

La tabla 7 muestra los resultados del promedio grupal total del índice SS al inicio y final de las semanas. Se buscó observar el comportamiento del SS grupal total promedio entre el primer día de entrenamiento (martes) y el último día de la semana (jueves).

Tabla 7
Valores del SS total al inicio y final de la semana.

VARIABLES	M ± DE	Mínimo	Máximo
SS (ua)			
Inicio de semana	13.53±3.95*	4.93	26.70
SS (ua)			
Final de semana	14.51±5.69	5.47	31.95

Nota. Los valores son presentados en media ± desviación estándar, mínimo y máximo; ua: unidades arbitrarias; *p<0.05.

Los valores de la tabla 7 muestran que el promedio grupal total del inicio de la semana en el SS es de 13.53±3.95 y el final es de 14.51±5.69. Dando como resultado una diferencia significativa (p< 0.05) entre la toma final con respecto a la inicial.

Comportamiento grupal de la RMSSD por sesión

La tabla 8 muestra los resultados del comportamiento grupal de la RMSSD por sesión de entrenamiento. Observando un comportamiento grupal promedio de las 16 sesiones de la RMSSD de 57.56 ± 28.55 ms. No encontrando diferencia significativa (p<0.05) entre las medias de la RMSSD cada sesión de entrenamiento.

Tabla 8

Media y desviación estándar de la RMSSD (ms) grupal por sesión.

Número de Sesión	M ± DE	Mínimo	Máximo
Sesión 1	66.12±31.29	17.08	124.30
Sesión 2	57.96±37.67	27.83	138.64
Sesión 3	46.78±20.29	20.78	90.27
Sesión 4	61.59±32.67	18.60	128.02
Sesión 5	67.90±36.74	19.84	141.33
Sesión 6	68.31±41.00	25.08	149.59
Sesión 7	55.49±15.47	25.23	75.72
Sesión 8	59.84±29.32	24.30	120.62
Sesión 9	58.86±23.82	35.97	103.92
Sesión 10	55.54±28.46	26.48	131.39
Sesión 11	59.34±29.17	13.29	112.13
Sesión 12	55.19±34.27	25.71	118.33
Sesión 13	52.20±16.51	27.48	83.53
Sesión 14	45.31±23.84	21.76	99.39
Sesión 15	53.04±21.74	29.74	112.13
Sesión 16	57.41±34.48	21.34	140.73

Nota. Los valores son presentados en media ± desviación estándar, mínimo y máximo; ms: milisegundos.

Comportamiento grupal del Stress Score por sesión

La tabla 9 muestra los resultados del comportamiento grupal del Stress Score por sesión. Observando que el comportamiento grupal promedio de las 16 sesiones en el SS es de 14.02 ± 4.01 ua. No encontrando diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las medias del SS de cada sesión de entrenamiento.

Tabla 9

Media y desviación estándar grupal del Stress Score (ua) por sesión.

Número de Sesión	M \pm DE	Mínimo	Máximo
Sesión 1	12.77 \pm 4.56	9.77	26.70
Sesión 2	13.75 \pm 4.76	5.47	22.20
Sesión 3	15.84 \pm 4.08	9.28	23.74
Sesión 4	13.73 \pm 4.09	9.37	21.79
Sesión 5	13.27 \pm 4.87	4.93	25.78
Sesión 6	13.63 \pm 3.81	8.35	19.80
Sesión 7	12.65 \pm 3.26	9.51	21.09
Sesión 8	13.81 \pm 3.21	9.32	20.10
Sesión 9	13.13 \pm 3.77	9.69	20.68
Sesión 10	15.96 \pm 6.09	8.00	31.95
Sesión 11	14.03 \pm 4.75	8.64	25.76
Sesión 12	14.37 \pm 3.73	8.96	19.94
Sesión 13	13.58 \pm 3.72	8.63	20.38
Sesión 14	16.91 \pm 4.48	9.35	23.39
Sesión 15	12.97 \pm 1.98	8.83	16.94
Sesión 16	13.91 \pm 3.01	8.56	17.44

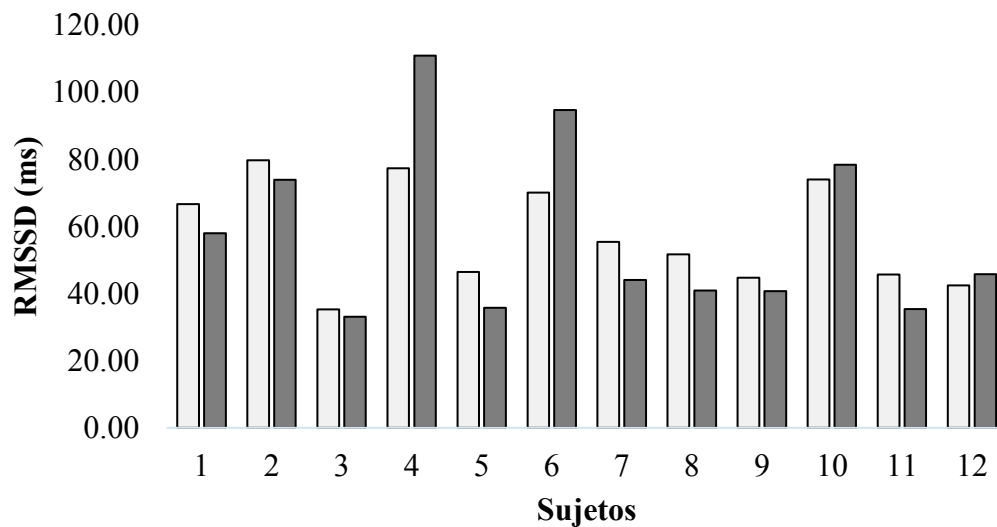
Nota. Los valores son presentados en media \pm desviación estándar, mínimo y máximo; ua: unidades arbitrarias.

Comportamiento individual de la RMSSD al inicio y final de la semana

La Figura 7 presenta los resultados de la variable RMSSD del método de dominio de tiempo de la variabilidad de la frecuencia cardiaca de manera individual promedio en el primer y último entrenamiento de la semana. A pesar de haber un decremento en la última sesión de los jugadores, la gráfica muestra inconsistencia en el resultado de los sujetos. Se encontraron resultados significativos ($p < 0.05$) únicamente en 4 de los deportistas.

Figura 7

Valores promedio de la RMSSD individual al inicio (blanco) y final (gris) de cada semana de entrenamiento.



Nota: ms: milisegundos; *= $p < 0.05$

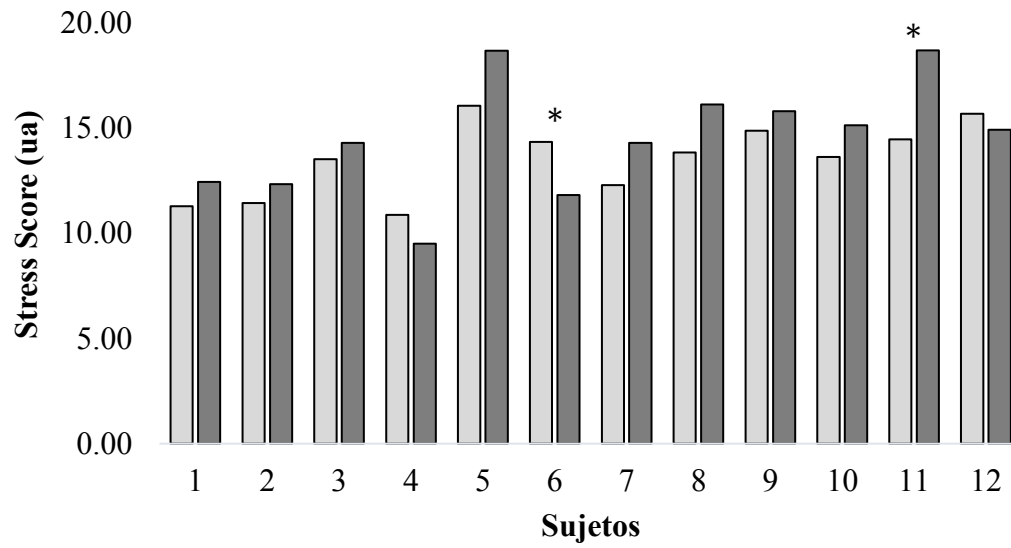
Comportamiento individual del Stress Score al inicio y final de la semana

La Figura 8 presenta los resultados de la variable del Stress Score con los valores individuales del promedio de los inicios y finales de cada semana. La gráfica presenta inconsistencias entre los jugadores y los resultados muestran una diferencia estadísticamente no significativa ($p < 0.05$) de manera general, a excepción de 2 de los

jugadores en el cual uno de ellos presento un decremento y el otro un incremento en el SS comparados con el valor de la primera sesión de la semana respectivamente.

Figura 8

Valores promedio del Stress Score individual al inicio (blanco) y final (gris) de cada semana de entrenamiento.



Nota: ua: unidades arbitrarias; *= $p < 0.05$

Capítulo 4

Discusión

Los resultados de la investigación muestran información importante con respecto a los distintos apartados mencionados anteriormente, de los cuales se hablará de la misma manera en que las secciones fueron presentadas.

A continuación se presenta la contribución principal de este estudio que es mostrar y describir el comportamiento de la variabilidad de la frecuencia cardiaca en jugadores de fútbol soccer universitarios, valorando dos parámetros de la VFC: la RMSSD y el Stress Score. Variables de los métodos de dominio de tiempo y del diagrama de Poincaré han sido utilizados como herramienta para la evaluación de la fatiga (Leti & Bricout, 2013), midiendo así alteraciones relacionadas con el balance de la actividad simpática y parasimpática a partir del estrés generado por la carga física (Bellenger et al., 2016).

La RMSSD es una de las variables de la variabilidad de la frecuencia cardiaca perteneciente al método de dominio de tiempo, siendo una herramienta que puede ayudar a perfeccionar el monitoreo, obteniendo una mejora en la precisión del estado de fatiga del deportista. Añadido a esto, la RMSSD y sus derivaciones poseen una alta utilidad práctica, sirviendo de apoyo en la estimación del nivel de fatiga general de un atleta (Schmitt et al., 2015). En la actualidad esta variable es considerada de utilidad para medir el impacto que posee un estímulo físico sobre la estabilidad del sistema nervioso autónomo (Peçanha et al., 2017).

Este es un indicador de la actividad parasimpática y está relacionada con la actividad física, disminuyendo los valores de la variable con respecto a sus valores basales, esto fue mostrado por Naranjo et al. (2015) en un estudio donde 22 jugadores de fútbol nivel profesional fueron evaluados a lo largo de una temporada con duración de 11 meses, asociando esta disminución con la acumulación de fatiga debido a las cargas durante el proceso de la temporada.

Por otro lado, se encuentra la segunda variable utilizada, el Stress Score. Este es un indicador que facilita la interpretación del diagrama de Poincaré, su intención es la de obtener valores que muestren la actividad del sistema nervioso simpático de una manera

más directa. Al reflejar la actividad simpática, el SS se suele relacionar con la variable de la RMSSD, obteniendo valores opuestos en presencia de estrés como en el estudio realizado por Naranjo y colaboradores (2015) en el cual se llevaron a cabo correlaciones entre la RMSSD y el SS, en donde si el valor del Stress Score era mayor, menor eran los resultados de la RMSSD.

En la tabla 6 se presentaron los valores promedio de la RMSSD grupal al inicio y final de la semana, en el cual no se puede apreciar una diferencia significativa entre los promedios de las mediciones realizados. En el primer día de entrenamiento de cada semana la RMSSD fue 57.47 ± 25.30 ms y el último día de entrenamiento de cada semana 57.64 ± 24.16 . Sin embargo, en la tabla 7 se muestran los valores del Stress Score grupal al inicio y final de la semana, con valores de 13.53 ± 3.95 y 14.51 ± 5.69 respectivamente. En este caso, el SS si mostro una diferencia significativa ($p < 0.05$) en relación de la medición final con respecto a la inicial, pudiéndose apreciar similitud con los estudios de autores previamente mencionados.

Después en la tabla 8 se muestran el comportamiento grupal promedio por sesión en la RMSSD, dando un valor de 57.56 ± 28.55 ms. Dando como resultado una diferencia no significativa. Analizado nuevamente en conjunto con el Stress Score, que en la tabla 9 muestra su comportamiento que en contraste con la tabla 7, no presenta resultados significativos con un comportamiento grupal promedio por sesión de 14.02 ± 4.01 .

En la última sección se muestran las Figuras 7 y 8, las cuales presentan gráficas con los resultados individuales promedio de los inicios y finales de cada semana de la RMSSD y el SS respectivamente. Nuevamente la variable de la RMSSD se mostró inconsistente, ya que con algunos de los jugadores presentó un valor al inicio de la semana que disminuía al final, pero a pesar de presentarse este resultado, otros de los jugadores mostraban lo opuesto, incrementando el valor de la variable en el promedio de la última sesión de la semana.

Sin embargo, a pesar de grupalmente no se vio un cambio significativo, de manera individual en cuatro de los sujetos se mostró una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en la RMSSD. Los sujetos 4 y 6 presentaron un incremento en el valor perteneciente a la sesión final semanal con respecto al valor de la primera sesión de la

semana. En cambio, los sujetos 8 y 11 mostraron una disminución de esta variable al final de la semana con respecto al inicio de la semana.

Por lo general el valor de esta variable de dominio de tiempo tiende a disminuir con la acumulación de la carga física, pero no siempre es encontrado un resultado con diferencias significativas. En el estudio realizado por Podstawski et al. (2014) se evaluó a 11 jugadores de voleibol utilizando la variabilidad de la frecuencia cardiaca con parámetros de dominio de tiempo antes y durante la competencia para observar el impacto del ejercicio en estas variables, en este caso una de las variables era la RMSSD. En los resultados se vieron disminución de la segunda evaluación con respecto a la primera. Sin embargo no se encontraron datos con diferencias estadísticamente significativas.

Del mismo modo el Stress Score en la Figura 8 mostró unos resultados estadísticamente no significativos ($p < 0.05$) de manera general, presentando valores inconsistentes al igual que la RMSSD, puesto que se había sujetos con valores mayores en la sesión final y otros con un valor menor en relación con la sesión de inicio de semana. No obstante, 2 de los sujetos presentaron valores significativos contrastando uno con el otro. El sujeto 6 disminuyó su valor de SS del final de la semana, mientras que el sujeto 11 lo incrementó con respecto al valor previo del inicio de la semana.

Un punto importante de mencionar es que su comportamiento fue alto con respecto a los valores normales para jugadores de fútbol soccer ($SS < 8$) sugerido por Naranjo et al. (2015). Con estos resultados se puede considerar como una buena opción para medir la carga de entrenamiento.

Limitantes

Dentro de las limitaciones presentadas se encuentra principalmente la falta de control de los entrenamientos, al no estar involucrado en la carga de trabajo aplicado en los jugadores. Por otra parte, al no ser jugadores de nivel profesional, actividades cotidianas pudieran haber interferido con los datos presentados a pesar de mantener un control sobre ciertas variantes como la prohibición de consumo de estimulantes durante el periodo del estudio. Por último, la cantidad de la muestra que cumplió con las características de inclusión se vio disminuida considerablemente, por lo que esta limitación afecta de manera general en los resultados.

Aportaciones y sugerencias

En las aportaciones se puede destacar el ampliar el conocimiento acerca del uso de la variabilidad de la frecuencia cardiaca en la población específica del futbol soccer con un énfasis en deportistas universitarios. Los resultados obtenidos a través de la investigación fueron de importancia para ver carencias en el control que se tiene a nivel universitario en este deporte en específico.

A manera de sugerencia quisiera mencionar la incorporación de distintas herramientas para futuros estudios, de esta manera facilitaría el control sobre la muestra. La primera sería el aplicar algún tipo de herramienta o método que sea capaz de medir la intensidad del trabajo durante el entrenamiento, por ejemplo el uso de la frecuencia cardiaca por medio de TRIMP. Y previo a las sesiones aplicar la variabilidad de la frecuencia cardiaca.

La VFC pudiera ser aplicada únicamente previo al entrenamiento como se realizó durante esta investigación o se pudiera optar por también medir la variabilidad inmediata al terminar utilizando RMSSD-Slope.

En cuanto al diseño de las sesiones de entrenamiento, recomendaría el tener un conocimiento completo de la planificación, para así poder predecir y controlar con mayor facilidad en conjunto con las propuestas previamente mencionadas la carga interna de los deportistas, apoyando en su recuperación y prevenir la acumulación excesiva de fatiga.

Capítulo 5

Conclusión

En conclusión, la variabilidad de la frecuencia cardiaca puede ser de utilidad para mantener un mejor control de la carga interna, al ser capaz de verse afectado cuando hay una acumulación de fatiga. Además de poseer la característica de ser un método no invasivo y poder ser utilizado en campo junto con otros tipos de mediciones como la frecuencia cardiaca usando el mismo equipo.

La variable del Stress Score se muestra como una opción muy viable y de fácil lectura para entrenadores y deportistas. La RMSSD por su parte puede haber sido afectada por factores externos, sin embargo se muestra evidencia suficiente para ser usado como referencia del control de la fatiga o recuperación, siempre y cuando se mantenga un control sobre las variables que pudieran afectar su resultado.

Referencias

- Abad, C., Kobal, R., Kitamura, K., Gil, S., Pereira, L., Loturco, I., & Nakamura, F. (2015). Heart rate variability in elite sprinters: effects of gender and body position. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 37(4), 442–447. doi:10.1111/cpf.12331
- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart Rate Monitoring. *Sports Medicine*, 33(7), 517–538. doi:10.2165/00007256-200333070-00
- Alix-Sy, D., Le Scanff, C., & Filaire, E. (2008). Psychophysiological responses in the pre-competition period in elite soccer players. *Journal of sports science & medicine*, 7(4), 446.
- Baek, H. J., Cho, C. H., Cho, J., & Woo, J. M. (2015). Reliability of ultra-short-term analysis as a surrogate of standard 5-min analysis of heart rate variability. *Telemedicine and e-Health*, 21(5), 404-414.
- Baume, N., Jan, N., Emery, C., Mandanis, B., Schweizer, C., Giraud, S., ... & Saugy, M. (2015). Antidoping programme and biological monitoring before and during the 2014 FIFA World Cup Brazil. *British journal of sports medicine*, 49(9), 614-622.
- Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Thomson, R. L., Davison, K., Robertson, E. Y., & Buckley, J. D. (2016). Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*, 46(10), 1461-1486.
- Benson, R., & Connolly, D. (2019). Heart rate training. *Human Kinetics*.
- Billman, G. E., Huikuri, H. V., Sacha, J., & Trimmel, K. (2015). An introduction to heart rate variability: methodological considerations and clinical applications. *Frontiers in physiology*, 6, 55.
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., & Cable, N. T. (2017). Monitoring athlete training loads: consensus statement. *International journal of sports physiology and performance*, 12(s2), S2-161.

- Bradley, P. S., Di Mascio, M., Peart, D., Olsen, P., & Sheldon, B. (2010). High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels. *The journal of strength & conditioning research*, 24(9), 2343-2351.
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome?. *Frontiers in physiology*, 5, 73.
- Cardinali, D. P. (2017). *Autonomic nervous system: Basic and clinical aspects*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-57571-1>
- Carroll, T. J., Taylor, J. L., & Gandevia, S. C. (2017). Recovery of central and peripheral neuromuscular fatigue after exercise. *Journal of Applied Physiology*, 122(5), 1068–1076. doi:10.1152/jappphysiol.00775.201
- Colombini, A., Machado, M., Lombardi, G., Lanteri, P., & Banfi, G. (2014). Modifications of biochemical parameters related to protein metabolism and renal function in male soccer players after a match. *J Sports Med Phys Fitness*, 54(5), 658-64.
- Corrales, M. M., Esquivel, A. G., Cruz, M. F., Mendoza, F. J. M., Dávila, M. G., Cruz, G. H., & Orellana, J. N. (2021). Utilidad de la RMSSD-Slope para cuantificación de carga interna de entrenamiento en jugadores élite de bádminton. Estudio de caso. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (40), 60-66.
- Chu Duc, H., Nguyen Phan, K., & Nguyen Viet, D. (2013). A review of heart rate variability and its applications. *APCBEE procedia*, 7, 80-85.
- Djaoui, L., Haddad, M., Chamari, K., & Dellal, A. (2017). Monitoring training load and fatigue in soccer players with physiological markers. *Physiology & behavior*, 181, 86-94.
- Dong, J. G. (2016). The role of heart rate variability in sports physiology. *Experimental and therapeutic medicine*, 11(5), 1531-1536.
- Edwards, S. (1993). High performance training and racing. In S. Edwards (Ed.), *The heart rate monitor book* (pp. 113–123). Sacramento, CA: Feet Fleet Press.

- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2016). Translating Fatigue to Human Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(11), 2228–2238. doi:10.1249/mss.0000000000000929
- Ernst, G. (2017). Heart-rate variability—more than heart beats?. *Frontiers in public health*, 5, 240.
- Ernst, G. (2017). Hidden signals—the history and methods of heart rate variability. *Frontiers in public health*, 5, 265.
- Esco, M. R., Flatt, A. A., & Nakamura, F. Y. (2016). Initial weekly HRV response is related to the prospective change in VO₂max in female soccer players. *International journal of sports medicine*, 37(06), 436-441.
- Fisher, J. P., Young, C. N., & Fadel, P. J. (2015). Autonomic Adjustments to Exercise in Humans. *Comprehensive Physiology*, 475–512. doi:10.1002/cphy.c140022
- Forbes, G. B., & Bruining, G. J. (1976). Urinary creatinine excretion and lean body mass. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 29(12), 1359-1366.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., ... & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(1), 109-115.
- Fox, S. I. (2014). *Fisiología humana*. Mcgraw-hill interamericana.
- Fu, Q. I., & Levine, B. D. (2013). Exercise and the autonomic nervous system. *Handbook of clinical neurology*, 117, 147-160.
- García-González, M. A., Fernández-Chimeno, M., Capdevila, L., Parrado, E., & Ramos-Castro, J. (2013). An application of fractional differintegration to heart rate variability time series. *Computer methods and programs in biomedicine*, 111(1), 33-40.
- Gatti, R., & De Palo, E. F. (2011). An update: salivary hormones and physical exercise. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(2), 157-169.
- Gibbons, C. H. (2019). Basics of autonomic nervous system function. *Handbook of clinical neurology*, 160, 407-418.

- Gilgen-Ammann, R., Schweizer, T., & Wyss, T. (2019). RR interval signal quality of a heart rate monitor and an ECG Holter at rest and during exercise. *European journal of applied physiology*, 119(7), 1525-1532.
- Giulianotti, R. (2012). Football. *The Wiley-Blackwell encyclopedia of globalization*.
- Granell, J. C., & Cervera, V. R. (2006). *Teoría y planificación del entrenamiento deportivo* (Vol. 24). Editorial Paidotribo.
- Haddad, M., Stylianides, G., Djaoui, L., Dellal, A., & Chamari, K. (2017). Session-RPE Method for Training Load Monitoring: Validity, Ecological Usefulness, and Influencing Factors. *Frontiers in Neuroscience*, 11. doi:10.3389/fnins.2017.00612
- Haff, G. G., & Triplett, N. T. (Eds.). (2015). *Essentials of strength training and conditioning* 4th edition. Human kinetics.
- Halson, S. (2014). Monitoring fatigue and recovery. *Sports Science Exchange*, 27(135), 1-6.
- Heisterberg, M. F., Fahrenkrug, J., & Andersen, J. L. (2014). Multiple blood samples in elite soccer players. Is it worthwhile?. *Journal of Sports Sciences*, 32(13), 1324-1327.
- Hoshi, R. A., Pastre, C. M., Vanderlei, L. C. M., & Godoy, M. F. (2013). Poincaré plot indexes of heart rate variability: relationships with other nonlinear variables. *Autonomic Neuroscience*, 177(2), 271-274.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A. L. D. O., & Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(6), 1042-1047.
- Jaspers, A., Brink, M. S., Probst, S. G. M., Frencken, W. G. P., & Helsen, W. F. (2016). Relationships Between Training Load Indicators and Training Outcomes in Professional Soccer. *Sports Medicine*, 47(3), 533–544.
- Kaikkonen, P., Rusko, H., & Martinmäki, K. (2008). Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 18(4), 511-519.

- Kang, J. (2018). *Nutrition and metabolism in sports, exercise and health*. Routledge.
- Kilpatrick, M. W., Robertson, R. J., Powers, J. M., Mears, J. L., & Ferrer, N. F. (2009). Comparisons of RPE before, during, and after Self-Regulated Aerobic Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(3), 682–687. doi:10.1249/mss.0b013e31818a0f09
- Kiss, O., Sydó, N., Vargha, P., Vágó, H., Czimbalmos, C., Édes, E., ... & Merkely, B. (2016). Detailed heart rate variability analysis in athletes. *Clinical Autonomic Research*, 26(4), 245-252.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjær, M., & Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(6), 1165-1174.
- Kuss, O., Schumann, B., Kluttig, A., Greiser, K. H., & Haerting, J. (2008). Time domain parameters can be estimated with less statistical error than frequency domain parameters in the analysis of heart rate variability. *Journal of electrocardiology*, 41(4), 287-291.
- Lee, E. C., Fragala, M. S., Kavouras, S. A., Queen, R. M., Pryor, J. L., & Casa, D. J. (2017). Biomarkers in sports and exercise: tracking health, performance, and recovery in athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 31(10), 2920.
- Leti, T., & Bricout, V. A. (2013). Interest of analyses of heart rate variability in the prevention of fatigue states in senior runners. *Autonomic Neuroscience*, 173(1-2), 14-21.
- Lucía, A., Hoyos, J., Santalla, A., Earnest, C., & Chicharro, J. L. (2003). Tour de France versus Vuelta a España: which is harder? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(5), 872-878.
- Márquez, J. M. O., Garrido, R. E. R., Chaves, G. A. C., & Mendo, A. H. (2018). Variabilidad de la frecuencia cardíaca: investigación y aplicaciones prácticas para el control de los procesos adaptativos en el deporte. *Revista iberoamericana de psicología del ejercicio y el deporte*, 13(1), 121-130.

- Marynowicz, J., Kikut, K., Lango, M., Horna, D., & Andrzejewski, M. (2020). Relationship between the session-RPE and external measures of training load in youth soccer training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(10), 2800-2804.
- Maso, F., Lac, G., Filaire, E., Michaux, O., & Robert, A. (2004). Salivary testosterone and cortisol in rugby players: correlation with psychological overtraining items. *British journal of sports medicine*, 38(3), 260-263.
- McCorry, L. K. (2007). Physiology of the autonomic nervous system. *American journal of pharmaceutical education*, 71(4).
- Meyer, T., & Meister, S. (2011). Routine blood parameters in elite soccer players. *International journal of sports medicine*, 32(11), 875-881.
- McMillan, K., Helgerud, J., Grant, S. J., Newell, J., Wilson, J., Macdonald, R., & Hoff, J. (2005). Lactate threshold responses to a season of professional British youth soccer. *British journal of sports medicine*, 39(7), 432-436.
- Modell, H., Cliff, W., Michael, J., McFarland, J., Wenderoth, M. P., & Wright, A. (2015). A physiologist's view of homeostasis. *Advances in Physiology Education*, 39(4), 259–266. doi:10.1152/advan.00107.2015
- Mohr, M., Mujika, I., Santisteban, J., Randers, M. B., Bischoff, R., Solano, R., ... & Krstrup, P. (2010). Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: a multi-experimental approach. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20, 125-132.
- Morton, R. H., Fitz-Clarke, J. R., & Banister, E. W. (1990). Modeling human performance in running. *Journal of applied physiology*, 69(3), 1171-1177.
- Mougios, V. (2007). Reference intervals for serum creatine kinase in athletes. *British journal of sports medicine*, 41(10), 674-678.
- Mourot, L., Bouhaddi, M., Perrey, S., Cappelle, S., Henriot, M. T., Wolf, J. P., & Regnard, J. (2004). Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincare plot analysis. *Clinical physiology and functional imaging*, 24(1), 10-18.

- Nakamura, F. Y., Flatt, A. A., Pereira, L. A., Ramirez-Campillo, R., Loturco, I., & Esco, M. R. (2015). Ultra-short-term heart rate variability is sensitive to training effects in team sports players. *Journal of sports science & medicine*, 14(3), 602.
- Nanchen, D. (2018). Resting heart rate: what is normal?. *Heart*, 104(13), 1048-1049.
- Naranjo, J., De la Cruz, B., Sarabia, E., De Hoyo, M., & Domínguez-Cobo, S. (2015). Heart rate variability: a follow-up in elite soccer players throughout the season. *International journal of sports medicine*, 94(11), 881-886.
- Orellana, J. N., de la Cruz Torres, B., Cachadiña, E. S., de Hoyo, M., & Cobo, S. D. (2015). Two new indexes for the assessment of autonomic balance in elite soccer players. *International journal of sports physiology and performance*, 10(4), 452-457.
- Orellana, J. N., Nieto-Jiménez, C., & Ruso-Álvarez, J. F. (2019). Recovery slope of heart rate variability as an indicator of internal training load. *Health*, 11(02), 211.
- Padilla, J. (2017). *Planificación del entrenamiento deportivo*. Venezuela: Editorial Episteme.
- Peçanha, T., Bartels, R., Brito, L. C., Paula-Ribeiro, M., Oliveira, R. S., & Goldberger, J. J. (2017). Methods of assessment of the post-exercise cardiac autonomic recovery: A methodological review. *International Journal of Cardiology*, 227, 795–802. doi:10.1016/j.ijcard.2016.10.057
- Penttilä, J., Helminen, A., Jartti, T., Kuusela, T., Huikuri, H. V., Tulppo, M. P., ... & Scheinin, H. (2001). Time domain, geometrical and frequency domain analysis of cardiac vagal outflow: effects of various respiratory patterns. *Clinical physiology*, 21(3), 365-376.
- Perrotta, A. S., Jeklin, A. T., Hives, B. A., Meanwell, L. E., & Warburton, D. E. (2017). Validity of the elite HRV smartphone application for examining heart rate variability in a field-based setting. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(8), 2296-2302.
- Piesik, A., Dryja, M., Zawadka-Kunikowska, M., Slomko, J., Kozakiewicz, M., Tafil-Klawe, M., Klawe, J. J., & Zalewski, P. (2017). Importance of fatiguing,

- overtraining and chronic fatigue in athletes. *Journal of Education, Health and Sport*, 7(9), 203–216. Recuperado de: <https://apcz.umk.pl/JEHS/article/view/4829>
- Pind, R., & Mäestu, J. (2017). Monitoring training load: necessity, methods and applications. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis*, 23, 7-18.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports medicine*, 43(9), 773-781.
- Podstawski, R., Boraczyński, M., Nowosielska-Swadźba, D., & Zwolińska, D. (2014). Heart rate variability during pre-competition and competition periods in volleyball players. *Biomedical Human Kinetics*, 6(1).
- Poole, D. C., Wilkerson, D. P., & Jones, A. M. (2008). Validity of criteria for establishing maximal O₂ uptake during ramp exercise tests. *European journal of applied physiology*, 102(4), 403-410.
- Proietti, R., di Fronso, S., Pereira, L. A., Bortoli, L., Robazza, C., Nakamura, F. Y., & Bertollo, M. (2017). Heart rate variability discriminates competitive levels in professional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(6), 1719-1725.
- Ruso-Álvarez, J. F., Nieto-Jiménez, C., Muñoz-López, A., & Orellana, J. N. (2019). Utility of the “RMSSD-Slope” to Assess the Internal Load in Different Sports Situations. *Health*, 11(6), 683-691.
- Saboul, D., Balducci, P., Millet, G., Pialoux, V., & Hautier, C. (2016). A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice. *European journal of sport science*, 16(2), 172-181.
- Sampieri, R. H. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill México.
- Schmitt, L., Regnard, J., & Millet, G. P. (2015). Monitoring Fatigue Status with HRV Measures in Elite Athletes: An Avenue Beyond RMSSD? *Frontiers in Physiology*, 6. doi:10.3389/fphys.2015.00343

- Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*, 5. doi:10.3389/fpubh.2017.00258
- Silva, J. R., Rebelo, A., Marques, F., Pereira, L., Seabra, A., Ascensão, A., & Magalhães, J. (2014). Biochemical impact of soccer: an analysis of hormonal, muscle damage, and redox markers during the season. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(4), 432-438.
- Smirmaul, B. P. C., Bertucci, D. R., & Teixeira, I. P. (2013). Is the VO₂max that we measure really maximal?. *Frontiers in physiology*, 4, 203.
- Stagno, K. M., Thatcher, R., & Van Someren, K. A. (2007). A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. *Journal of sports sciences*, 25(6), 629-634.
- Streeter, C. C., Gerbarg, P. L., Saper, R. B., Ciraulo, D. A., & Brown, R. P. (2012). Effects of yoga on the autonomic nervous system, gamma-aminobutyric-acid, and allostasis in epilepsy, depression, and post-traumatic stress disorder. *Medical hypotheses*, 78(5), 571-579.
- Tarvainen, M. P., Niskanen, J. P., Lipponen, J. A., Ranta-Aho, P. O., & Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV—heart rate variability analysis software. *Computer methods and programs in biomedicine*, 113(1), 210-220.
- Task Force of the European Society of Cardiology. (1996). the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996) Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043-1065.
- Tayel, M. B., & AlSaba, E. I. (2015). Poincaré plot for heart rate variability. *International Journal of Biomedical and Biological Engineering*, 9(9), 708-711.
- Thorpe, R. T., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2015). Monitoring fatigue during the in-season competitive phase in elite soccer players. *International journal of sports physiology and performance*, 10(8), 958-964.

- Urhausen, A., & Kindermann, W. (1992). Biochemical monitoring of training. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 2(1), 52-61.
- Wada, N., Ito, K., & Nakagawa, T. (2020). Optimal training plans on physical performance considering supercompensation. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 1–11. doi:10.1080/03610926.2020.1722845
- Weltman, A. (1995). The blood lactate response to exercise. *Human Kinetics*, 81-97.
- Williams, C., & Rollo, I. (2015). Carbohydrate nutrition and team sport performance. *Sports Medicine*, 45(1), 13-22.
- Williams, S., West, S., Howells, D., Kemp, S. P., Flatt, A. A., & Stokes, K. (2018). Modelling the HRV response to training loads in elite rugby sevens players. *Journal of sports science & medicine*, 17(3), 402.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2004). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Editorial Paidotribo.
- Wong, P. L., Chaouachi, A., Chamari, K., Dellal, A., & Wisloff, U. (2010). Effect of preseason concurrent muscular strength and high-intensity interval training in professional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(3), 653-660.
- World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *Jama*, 310(20), 2191-2194.

Anexos

A. Resumen Autobiográfico

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Lic. Kevin Roberto Lucio Enríquez

Candidato para obtener el Grado de Maestría en Actividad Física y Deporte

Con Orientación en Alto Rendimiento

Tesis: ANALISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA
PARA VALORAR LA CARGA INTERNA EN JUGADORES DE FUTBOL
SOCCER UNIVERSITARIO

Campo temático: Fisiología del ejercicio

Datos Personales: Nacido en Ciudad Juárez, Chihuahua, el 26 de febrero de 1996.

Educación Profesional:

- Licenciatura en Entrenamiento Deportivo

Experiencia Profesional:

- Profesor en Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

E-mail: Kevinrle7@gmail.com

B. Carta de consentimiento informado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA



Protocolo de Investigación

Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca para valorar la carga interna en jugadores de futbol soccer universitario

Proyecto de tesis de: Lic. Kevin Roberto Lucio Enríquez

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Sr.: _____ Fecha: _____

Se le extiende una invitación a participar en el proyecto titulado “*Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca para valorar la carga interna en jugadores de futbol soccer universitario*”, el propósito de este estudio es analizar el comportamiento de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en entrenamiento. Para ello se realizarán mediciones no invasivas por medio de bandas torácicas de frecuencia cardíaca marca Polar H10 y una aplicación móvil que cada participante deberá descargar en su móvil. El protocolo consiste en mediciones de 5 minutos antes de los entrenamientos de los días lunes y jueves, por un periodo de 8 semanas. Conjuntamente se me ha comunicado a detalle el objeto de la cooperación y al aceptar participar en este proyecto de investigación los resultados obtenidos serán manejados en forma confidencial y que en ningún momento se violará su privacidad. Entiendo también que todas las pruebas realizadas durante este estudio no implicarán ningún costo extra para mí, y que los gastos serán absorbidos por el investigador, así como entiendo que los resultados obtenidos podrán ser publicados en revistas de divulgación científica. Entiendo que estoy en mi derecho de solicitar cualquier aclaración o información acerca de la investigación en cualquier momento del desarrollo de la misma y que estoy en libertad de retirarme de este estudio en el momento que desee.

Participante: _____

Nombre y firma

Testigo : _____

Nombre y firma

C. Carta de consentimiento informado

HRV Analysis Results

Page 1/1

Person:		Measurement info		Results for Sample	
Gender:	Male	Height:	180 cm	Date:	xxxx/xx
Age:	26 years	Weight:	74 kg	Start time:	00:00:00
Max HR:	194 bpm	BMI:	22.8 kg/m ²	Duration:	00:05:02
				Trend removal:	
				Artefact corr.:	
				Analysis samples:	
				Smoothn priors	
				Threshold (low)	1
				Sample start:	00:00:01
				Sample length:	00:05:00
				Artifacts:	Uncorrected

