



**MEDICIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA
CARDIACA COMO MÉTODO PARA DETECTAR LA FATIGA
EN FUTBOLISTAS. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.**

**GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL
DEPORTE**

AUTOR: JUAN DELGADO MARTÍN

TUTOR: FRANCISCO DE BORJA SAÑUDO CORRALES

**OPCIÓN B: INVESTIGACIÓN EN EL ÁMBITO DE LA
EDUCACIÓN Y/O FORMACIÓN**

Índice

1. Introducción y justificación.....	4
2. Marco teórico	5
2.1. Carga de entrenamiento y fatiga.....	5
2.2. Definición de VFC y relación con el SNA.....	6
2.3. Variables de la VFC	8
2.4. Metodologías para la medición de la VFC	9
2.5. Interpretación de los resultados de la VFC.....	10
3. Objetivos del TFG.....	12
4. Metodología de la investigación	12
4.1. Criterios de elegibilidad.....	12
4.2. Fuentes de información	13
4.3. Estrategia de búsqueda	13
4.4. Procesamiento de datos	14
5. Resultados	14
5.1. Características de los estudios	15
5.2. Para qué se midió la VFC	17
5.3. Efectos de la carga de entrenamiento y los partidos en la VFC	17
5.4. Utilidad de la VFC.....	18
6. Discusión.....	27
6.1. Medición de la VFC y gestión de los resultados	27
6.2. Utilidad de la VFC.....	30
6.3. Aplicación práctica de los resultados	32
7. Limitaciones.....	33
8. Conclusiones	34
9. Perspectivas futuras.....	34
Referencias	35

Resumen

Objetivos. El objetivo principal de la presente revisión sistemática es conocer si la medición de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) es útil en la valoración del estrés o la fatiga de futbolistas profesionales y semiprofesionales. De forma secundaria, se busca indicar la metodología más usada actualmente en la medición de la VFC, así como los parámetros más útiles de la VFC para medir la fatiga. **Métodos.** Se ha seguido la estructura PRISMA-P y la guía PICO. Se realizó una búsqueda de literatura en las bases de datos electrónicas Medline, Scopus, SPORTDiscus y Web of Science, obteniendo 1.620 referencias en la búsqueda inicial y quedando finalmente 11 para ser incluidas en la revisión. Los criterios de inclusión fueron (i) futbolistas; (ii) mayores de 18 años; (iii) nivel profesional o semiprofesional; (iv) estudios que monitoricen la VFC para evaluar fatiga, estrés o carga de entrenamiento. **Resultados.** Los resultados muestran de forma general la utilidad de la VFC para valorar la fatiga y adaptar la carga de entrenamiento en futbolistas cuando la medición es acompañada de cuestionarios de bienestar. **Conclusiones.** La VFC por sí sola no informa de todos los aspectos de fatiga y bienestar de los futbolistas. Por ello, es importante complementar la medición con otras herramientas (ej. cuestionarios de bienestar percibido; evaluación de CMJ). Se necesitan al menos tres mediciones semanales en reposo tras despertarse, de 1-2 minutos, en sedestación o tumbado en posición supina, y que incluyan el parámetro rMSSD.

Palabras clave. Variabilidad de la frecuencia cardiaca, sistema nervioso autónomo, fútbol, fatiga, carga de entrenamiento.

Abstract

Objectives. The main objective of this systematic review is to determine whether measuring heart rate variability (HRV) is useful in assessing stress or fatigue in professional and semi-professional football players. As a secondary objective, we aim to identify the most used methodology for measuring HRV, as well as the most useful HRV parameters for measuring fatigue. **Methods.** PRISMA-P structure and PICO guidelines were followed. A literature search was conducted in the electronic databases Medline, Scopus, SPORTDiscus, and Web of Science, resulting in 1,620 references in the initial search. Finally, 11 references were included in the review. Inclusion criteria were (i) football players; (ii) over 18 years of age; (iii) professional or semi-professional level; (iv) studies that monitored HRV to measure fatigue, stress, or training load. **Results.** In general, the results show the usefulness of HRV for assessing fatigue and adapting training load in football players when the measurement is accompanied by well-being questionnaires. **Conclusions.** HRV alone does not provide information on all aspects of fatigue and well-being in football players. Therefore, it is important to complement HRV measurement with other tools (e.g., perceived well-being questionnaires, CMJ evaluation). At least three weekly measurements are required at rest upon awakening, lasting 1-2 minutes, and performed in a seated or supine position, including the rMSSD parameter.

Keywords. Heart rate variability, autonomic nervous system, soccer, fatigue, training load.

1. Introducción y justificación

El fútbol es un deporte de equipo cuyo rendimiento depende de diferentes factores, tales como la técnico-táctica, la preparación mental y la condición fisiológica. Aunque no es necesario destacar en todos ellos, sí es fundamental que los jugadores tengan un nivel considerable en cada uno de los mencionados aspectos (Stølen et al., 2005). Se trata de un deporte muy demandante, ya que durante un partido de 90 minutos los jugadores pueden llegar a recorrer entre 10 y 12 kilómetros (Stølen et al., 2005), de los cuales entre 2 y 3 kilómetros son a alta intensidad y unos 650 metros a máxima velocidad (Mohr et al., 2003). Como se indica en el artículo de Stølen et al. (2005), durante el tiempo de partido además se realizan diferentes acciones explosivas como saltos, golpes, entradas defensivas, cambios de dirección y cambios de ritmo. Hay que destacar que las demandas en los diferentes sistemas (nervioso, musculoesquelético, inmune, metabólico) no solo aparecen durante la competición, sino que también ocurren durante las sesiones de entrenamiento (King & Duffield, 2009). Si no se deja tiempo suficiente para permitir una recuperación adecuada, pueden verse comprometidos tanto el rendimiento como la salud del jugador. Por tanto, surge la necesidad de monitorizar y ajustar la carga de entrenamiento (CE) y de partido por parte del cuerpo técnico, para poder conseguir así un equilibrio entre el estrés y la recuperación. Así, el objetivo final es permitir una adaptación positiva y evitar el exceso de fatiga, pues la acumulación de esta puede terminar conduciendo a sobreentrenamiento y al aumento en el riesgo de lesión (Meeusen et al., 2013).

Conocida la necesidad de monitorizar y ajustar la CE en los deportistas surgen diferentes propuestas, siendo la monitorización de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) una forma bastante interesante de conocer el nivel de fatiga, ya que esta medición se relaciona con el sistema nervioso autónomo (SNA) (Buchheit, 2014). Actualmente, la investigación relacionada con la VFC en el mundo deportivo se corresponde en su mayoría con el ámbito de los deportistas de resistencia. Existen por ejemplo diversas revisiones sistemáticas que tratan el tema de la prescripción del entrenamiento basado en la VFC. En estas revisiones se muestran mejoras en el rendimiento gracias a la modificación de los entrenamientos en función del estado de los deportistas, determinado gracias a la VFC (Düking et al., 2020, 2021; Granero-Gallegos et al., 2020; Manresa-Rocamora et al., 2021). Sin embargo, hasta la fecha actual y a mi conocimiento, no existen revisiones en las que se determinen los posibles beneficios que pueda tener la monitorización de la VFC en futbolistas profesionales o semiprofesionales.

En consecuencia, en el presente Trabajo Fin de Grado se realizará una revisión sistemática de la literatura científica con la intención de poder aportar al conocimiento relativo a la medición de la VFC en futbolistas. Para ello, se buscará identificar los posibles beneficios y las mejores prácticas para su medición en el contexto del fútbol profesional y semiprofesional.

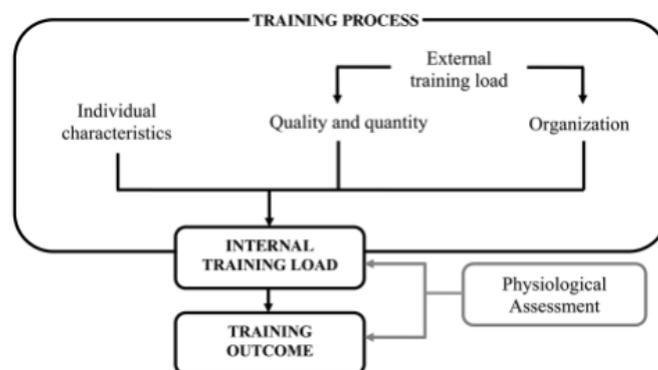
2. Marco teórico

2.1. Carga de entrenamiento y fatiga

Cuando se habla de carga se refiere al estrés que supone la ejecución de una actividad en el organismo (Jones et al., 2017). Existen dos tipos de carga: la carga interna y la carga externa. La carga externa se refiere a la carga física, es decir, al entrenamiento que ha sido prescrito, mientras que la carga interna hace referencia a la carga a nivel fisiológico y es individual para cada sujeto (véase **Figura 1**). Por tanto, ante una misma carga externa la carga interna es diferente para cada individuo (Impellizzeri et al., 2005).

Figura 1

Proceso de entrenamiento



Nota. El resultado final del proceso de entrenamiento no solo depende de la carga externa sino también de las características individuales, que determinan en gran medida la carga interna. Tomado de Impellizzeri et al., 2005.

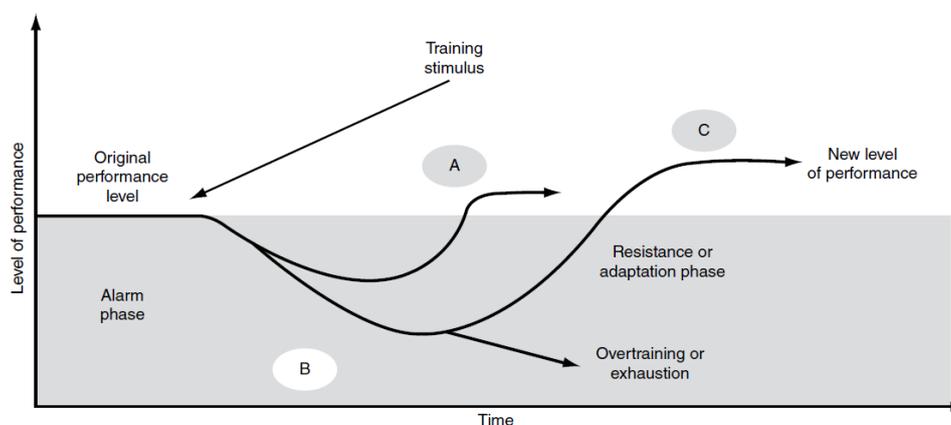
El control de la carga es fundamental en el ámbito deportivo para poder conseguir un equilibrio entre carga y recuperación (Meeusen et al., 2013), siendo el control de la carga interna un factor muy importante en los deportes de equipo como el fútbol, pues la carga externa suele ser parecida pero las respuestas a nivel interno son individuales (Impellizzeri et al., 2005). Como expone Halson (2014), existen diferentes métodos para monitorizar la carga interna y poder analizar las respuestas individuales al ejercicio: percepción subjetiva del esfuerzo (RPE); esfuerzo percibido de la sesión (s-RPE); frecuencia cardiaca (FC); relación de FC con RPE (ratio FC-RPE); *training impulse* (TRIMP); concentraciones de lactato; relación del lactato con

RPE; recuperación de la FC; VFC; registros bioquímicos, hormonales e inmunológicos; cuestionarios y diarios; velocidad psicomotora; sueño. De los diferentes métodos mencionados, la VFC es una medida bastante utilizada para la monitorización de la fatiga (Buchheit, 2014).

La fatiga es una variable a la que hay que prestar atención en el entrenamiento, pues un manejo inadecuado de esta puede conllevar a graves problemas, como un aumento en el riesgo de lesión (Bestwick-Stevenson et al., 2022). Para conseguir mejoras en el rendimiento es fundamental aplicar un estímulo que provoque una sobrecarga en el organismo, produciéndose una disminución del rendimiento a corto plazo como consecuencia de la fatiga inducida; sin embargo, es fundamental que se produzca una recuperación adecuada para evitar la acumulación excesiva de fatiga y permitir que suceda la supercompensación. Si las cargas no se administran de forma adecuada y no se permite la recuperación del organismo, la fatiga aguda como consecuencia de una actividad física puede convertirse en fatiga crónica, pudiendo conducir a condiciones de sobreentrenamiento (Bompa & Haff, 2009). Este concepto puede verse de forma bastante clara en la **Figura 2**.

Figura 2

Síndrome general de adaptación de Selye



Nota. A, entrenamiento normal; B, sobreentrenamiento; C, supercompensación. Tomado de Bompa & Haff, 2009.

2.2. Definición de VFC y relación con el SNA

Siguiendo la información de Rajendra Acharya et al. (2006), la VFC representa la variación en el tiempo que transcurre entre cada latido. Ese periodo entre latidos viene determinado por la distancia entre los intervalos R-R (Altini, 2020a; Malik et al., 1996).

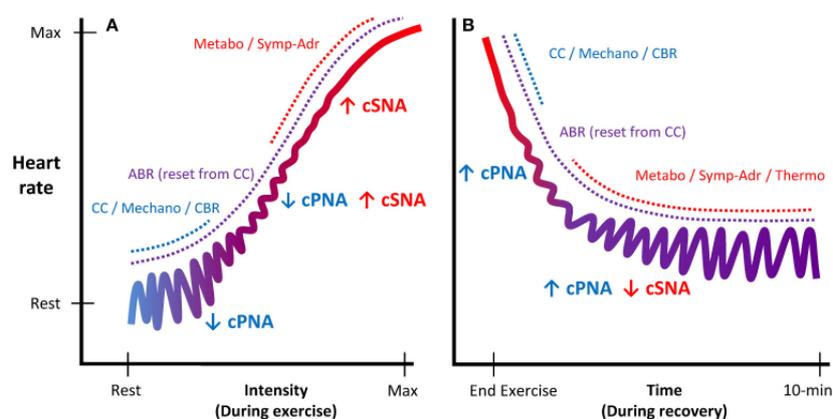
Como se indica en el documento de Stanley et al. (2013), el SNA es la parte del sistema nervioso (SN) encargada de diferentes procesos relacionados con la recuperación. Por ejemplo, gracias al control sobre el sistema cardiovascular el SNA es el que controla la termorregulación y el

envío de oxígeno y de nutrientes a los tejidos, así como la eliminación de los productos de desecho producidos por el ejercicio. Por tanto, la medición de la VFC permite detectar alteraciones en el SNA que reflejan la recuperación de la homeostasis cardiovascular. En el artículo de McCorry (2007) se indica que el SNA está dividido en dos ramas, la parasimpática y la simpática. El sistema nervioso parasimpático (SNP) es el que regula las funciones de reposo y recuperación. Se trata del sistema encargado de restaurar el equilibrio tras situaciones de estrés, produciéndose por tanto la disminución de la frecuencia cardiaca. Por su parte, el sistema nervioso simpático (SNS) regula las respuestas de lucha o huida, aumentando por tanto la actividad cardiaca.

La VFC durante el reposo está regulada por el SNP, siendo por tanto efectiva su monitorización para conocer la respuesta del organismo como consecuencia del estrés producido ante cualquier estresor (Altini, 2020a). De esta forma y siguiendo al mismo autor, la VFC puede considerarse como una medición práctica, no invasiva y económica para poder conocer la actividad del SNA, que se encarga de mantener el equilibrio tras exponer al organismo a un estímulo que provoque estrés. En definitiva, se puede afirmar que la VFC refleja el equilibrio entre las ramas simpáticas y parasimpáticas (véase **Figura 3**), siendo el conocimiento de este aspecto bastante relevante para conocer el estado de estrés y recuperación (Martinmäki & Rusko, 2008); por tanto, la medición de la VFC debe considerarse durante la programación del entrenamiento para ajustar la CE en función de las necesidades y garantizar las adaptaciones a la vez que se evita el sobreentrenamiento (da Silva et al., 2019).

Figura 3

Regulación cardiaca durante el ejercicio (A) y durante la recuperación (B)



Nota. Durante el ejercicio el control cardiaco pasa de predominantemente parasimpático (representado en azul), a predominantemente simpático (representado en rojo). Lo contrario ocurre durante el periodo de recuperación, donde el control cardiaco pasa a ser predominantemente parasimpático. Tomado de Michael et al., 2017.

Aun siendo la medición de la VFC un método efectivo para monitorizar el estrés producido por el entrenamiento o la competición, como se muestra en el estudio de Buchheit (2014) las mediciones relacionadas con la frecuencia cardiaca no informan de todos los aspectos relacionados con la fatiga, el bienestar y el rendimiento. Asimismo, la VFC no solo es sensible al estrés generado por un entrenamiento o un partido, sino que cualquier otro estresor (problemas personales, sueño, viajes, etc.) puede generar alteraciones en el SNA, y por tanto verse reflejado en la VFC (Altini, 2020a). Por consiguiente, en pro de obtener una monitorización más completa del estado del deportista, se debe considerar el uso de cuestionarios psicométricos (Altini, 2020b; Buchheit, 2014), registros del entrenamiento e incluso pruebas físicas de rendimiento como el salto con contramovimiento (CMJ) (Buchheit, 2014).

2.3. Variables de la VFC

Como señalan Michael et al. (2017), la VFC puede ser medida con variables de dominio de tiempo y de dominio de frecuencia.

- Dominio de tiempo: es el método de análisis más simple y consistente. Las medidas más comunes son SDRR (desviación estándar de los intervalos R-R) y rMSSD (raíz cuadrada media de las diferencias sucesivas de los intervalos R-R). La variable SDRR es una medida de la variabilidad media, mientras que rMSSD se trata de una medida de la variabilidad latido a latido. Además, en el estudio de Shaffer & Ginsberg (2017) se añaden otros parámetros como SDNN (desviación estándar de los intervalos N-N) y pNN50 (porcentaje de intervalos R-R sucesivos que varían más de 50 ms).
- Dominio de frecuencia: en este grupo se encuentran las variables LF (baja frecuencia; 0,04-0,15 Hz), HF (alta frecuencia; 0,15-0,40 Hz) y VLF (muy baja frecuencia; <0,04 Hz). En conjunto constituyen otra variable conocida como potencia total (TP). Además, se pueden relacionar las variables LF y HF para obtener la relación LF/HF, así como transformarlas en unidades normales, obteniendo HFnu y LFnu.

Además de las variables de dominio de tiempo y de dominio de frecuencia destaca el uso del gráfico Poincaré para obtener variables similares a rMSSD, como es el caso de la “desviación estándar 1” o SD1 y de la “desviación estándar 2” o SD2 (Shaffer & Ginsberg, 2017). Algunas de las variables de la VFC pueden ser además transformadas aplicando el logaritmo neperiano con el objetivo de conseguir una distribución normal aproximada (Michael et al., 2017). Al margen de los diferentes parámetros mencionados, siguiendo a Buchheit (2014), en la práctica,

las variables más útiles para medir la VFC en deportistas son rMSSD y SD1, pues ambas reflejan la modulación parasimpática y apenas se ven influenciadas por el ritmo respiratorio. La información presente en Altini (2020a) está en consonancia con Buchheit (2014), pues indica que rMSSD es el parámetro más válido y práctico de la VFC debido a la propia configuración del SNA. El nervio vago (representativo del SNP) actúa en los nodos receptores que regulan el pulso en cada latido, mientras que la señal del SNS es más lenta y actúa por diferentes vías. Así, los cambios existentes latido a latido medidos con rMSSD reflejan la actividad parasimpática y por tanto la recuperación del organismo. Aunque rMSSD está correlacionado con HF, este último parámetro se encuentra influenciado por el ritmo de la respiración, siendo en definitiva preferible la utilización de rMSSD (Altini, 2020a; Shaffer & Ginsberg, 2017).

2.4. Metodologías para la medición de la VFC

Como expone Altini (2020a), la VFC puede medirse utilizando un electrocardiograma (ECG). Sin embargo, existen formas más prácticas de medirla, utilizando por ejemplo sensores de frecuencia cardíaca pectoral o dispositivos con tecnología óptica tales como relojes, anillos como el Oura Ring o incluso con un *smartphone*. En este último caso, destaca por ejemplo la aplicación móvil HRV4Training (Altini & Amft, 2016), que permite medir la VFC utilizando la cámara del móvil gracias a la fotoplethismografía (PPG). Este método ha sido validado y es útil en diferentes grupos de edad y género (Altini & Amft, 2016).

Para comenzar a utilizar la VFC es fundamental tener en cuenta que el SNA es muy sensible a las condiciones del entorno. En consecuencia, hay que estandarizar las condiciones en las que se realizan las mediciones (posición corporal, hora, poco ruido, poca luz, etc.) para que siempre ocurran en las condiciones lo más similares posibles. El objetivo es conseguir una medición que aísle al máximo los cambios producidos en el SNA como consecuencia del entrenamiento (Buchheit, 2014). Siguiendo a este autor se indican diferentes momentos en los que se puede medir la VFC en el ámbito deportivo:

- Durante el ejercicio: se ha utilizado principalmente para conocer el estado físico del deportista. Sin embargo, muestra limitaciones en cuanto a su utilidad como forma de monitorizar la fatiga y como herramienta de monitorización del entrenamiento.
- Después del ejercicio: la monitorización de la VFC al acabar el ejercicio muestra también inconvenientes en su utilización debido a que está influenciada por una cantidad de factores demasiado elevada. Por tanto, tampoco parece ser muy útil para conocer la fatiga del deportista.

- En reposo tras despertarse: actualmente es la mejor forma de monitorizar la VFC en deportistas con el objetivo de conocer el bienestar, la fatiga y la disposición del sujeto para realizar un esfuerzo.
- Durante el sueño: esta forma de medir también parece ser útil. Sin embargo, y en consonancia con Altini (2020a), los registros de la VFC durante el sueño muestran bastante ruido, pues el nivel de actividad del día previo afecta a la VFC durante las primeras horas de sueño.

En definitiva, tanto Altini (2020a) como Buchheit (2014) sugieren que la medición de la VFC por la mañana tras despertarse es una forma efectiva de conocer el estado del deportista y su disposición para enfrentarse a un determinado esfuerzo. La medición puede realizarse tumbado en posición supina, sentado o de pie, aunque en la práctica las posiciones de tumbado y sentado son las más utilizadas (Buchheit, 2014). Por último, la duración de la medición puede variar en función del protocolo. En el artículo de Buchheit (2014) se indica que la medición puede durar entre 5 y 10 minutos, mientras que Altini (2020a) y Wu et al. (2020) muestran que mediciones de entre 1 y 2 minutos son útiles, no siendo necesario, aunque sí posible, realizar mediciones más prolongadas en el tiempo.

2.5. Interpretación de los resultados de la VFC

Las respuestas de la VFC pueden ser tanto agudas como crónicas.

- Respuestas agudas: la variación diaria en la actividad del SNA es bastante elevada, trayendo esto consigo variaciones en la VFC (Buchheit, 2014). Hay que destacar que el ejercicio intenso reduce los índices parasimpáticos de la VFC y aumenta la FC hasta 48 horas después de su realización (Stanley et al., 2013). El conocimiento de estas variaciones diarias se utiliza en el entrenamiento para adaptar la CE. Sin embargo, y siguiendo a Stanley et al. (2013), además de la carga del ejercicio realizado es necesario tener en cuenta condiciones como el estado de hidratación, del clima y el sueño, pues son factores que también afectan en los cambios diarios de la VFC.
- Respuestas crónicas: de forma general, bloques de entrenamiento de cargas moderadas se han asociado con un aumento en los índices parasimpáticos de la VFC, mientras que bloques con cargas elevadas se han relacionado con reducciones en los índices parasimpáticos de la VFC (Pichot et al., 2000, 2002). Sin embargo, en deportistas de resistencia se ha visto que durante la fase de *tapering* se produce una reducción en los índices parasimpáticos que no va acompañada de una reducción en el rendimiento, sino

que este sigue mejorando; en deportes de equipo este factor no se ha demostrado. Por tanto, antes de tomar decisiones es fundamental analizar el contexto del entrenamiento y no solo quedarse con los datos de la VFC (Buchheit, 2014).

Una vez vistas de forma general las respuestas agudas y crónicas de la VFC, Altini (2020b) y Buchheit (2014) indican que más allá de que la VFC aumente, se mantenga estable (normalmente ambos están relacionados con adaptación positiva al estrés) o disminuya (asociado a un aumento en el estrés) es fundamental conocer si la variación tiene importancia o si solo es parte de las fluctuaciones normales del día a día. Por la propia variabilidad del índice, los cambios diarios en la VFC son muy elevados, siendo por tanto fundamental ver la tendencia de los cambios (véase **Figura 4**) teniendo en cuenta los valores normales (media de 30-60 días) y el *baseline* (media de los 7 días anteriores) (Altini, 2020b). Por último, en cuanto a la toma de decisiones, Buchheit (2014) recomienda que es mejor prevenir y ser conservadores, reduciendo la intensidad de la carga cuando existan sospechas de que el deportista tiene fatiga acumulada, y en función de la respuesta a dicha disminución aguda de la intensidad (la respuesta típica sería un aumento agudo de rMSSD) actuar en consecuencia.

Figura 4

Valores normales y *baseline* de la VFC



Nota. La línea azul muestra la media de 7 días y la banda azul representa los valores normales de 30 días. Cuando la línea azul se encuentra por debajo de la banda azul representa un aumento significativo del estrés. Tomado de Altini, 2020c.

3. Objetivos del TFG

El objetivo de la presente revisión surge de la siguiente pregunta de estudio: en futbolistas, ¿es la VFC una herramienta útil para detectar la fatiga y poder adaptar así la carga de entrenamiento para evitar condiciones de estrés, sobreentrenamiento o sobrecarga no funcional?

De esta forma, el objetivo principal de la revisión es conocer si la medición de la VFC es de utilidad para valorar estrés, fatiga y, de forma general, el estado del jugador de fútbol. Como objetivo secundario, se pretende indicar la metodología más utilizada para medir la VFC en la actualidad, así como los parámetros de la VFC más útiles para medir la fatiga.

4. Metodología de la investigación

Para la elaboración del TFG se ha seguido la estructura propia para las revisiones sistemáticas (PRISMA-P), tal y como se indica en el siguiente documento (Moher et al., 2015).

4.1. Criterios de elegibilidad

En primer lugar, y siguiendo a Moher et al. (2015), es fundamental que se especifiquen cuáles son las características que debe tener la bibliografía que se elegirá para la revisión. Por ello, en un inicio, se especifica cuál será la población, la intervención y los resultados siguiendo la guía PICO. Este formato es de utilidad para poder establecer la pregunta de búsqueda (Riva et al., 2012). Se determina así la población (futbolistas mayores de 18 años), intervención (medición de la VFC) y resultados (detectar condiciones de estrés, fatiga, sobreentrenamiento, adaptaciones negativas a la carga de entrenamiento).

Tras ello, se deciden cuáles serán los criterios de inclusión para la búsqueda. Así, de forma concreta, son los siguientes:

- Futbolistas sin importar si son hombres o mujeres.
- Futbolistas mayores de 18 años.
- Futbolistas semiprofesionales o profesionales.
- Estudios en los que se utilicen herramientas de monitorización de la VFC en futbolistas para medir fatiga, estrés, carga de entrenamiento o estado del jugador.

Una vez vistos cuáles son los criterios de inclusión para la presente revisión sistemática, es de importancia también especificar los criterios de exclusión:

- Futbolistas con alteraciones a nivel cardiovascular.

- Futbolistas con algún tipo de discapacidad o enfermedad (jugadores ciegos, diabetes, síndrome metabólico y cardiomiopatías).
- Jugadores de fútbol sala.
- La monitorización de la VFC no se realiza por la mañana (al despertarse).
- Estudios no prospectivos.
- Las mediciones de la VFC se realizan solo al comienzo y al final del periodo de estudio.
- No se incluye una variable cuantitativa de la VFC (rMSSD, LF, HF, LF/HF, SD1, SD2, PNS index, SNS index, R-R interval).

4.2. Fuentes de información

Para la búsqueda de bibliografía se han usado diferentes motores de búsqueda electrónicos para intentar perder la mínima información posible. De esta forma, se han utilizado las siguientes bases de datos: Medline, Scopus, SPORTDiscus y Web of Science.

4.3. Estrategia de búsqueda

Para realizar la búsqueda en las bases de datos mencionadas se utilizaron diferentes descriptores, teniendo en cuenta tanto la población como la intervención y las variables, para que la búsqueda de bibliografía fuese lo más completa posible. Los descriptores se muestran de forma organizada en la **Tabla 1**.

Tabla 1

Descriptores utilizados para la búsqueda en las bases de datos

Población	Intervención	Variables
<i>Soccer</i>	<i>HRV</i>	<i>Fatigue</i>
<i>Football</i>	<i>Heart rate variability</i>	<i>Stress</i>
	<i>Autonomic nervous system</i>	<i>Lassitude</i>
	<i>Frequency analysis</i>	<i>Recovery</i>
	<i>Entropy analysis</i>	<i>Training load</i>
		<i>Workload</i>
		<i>Overtraining</i>
		<i>Overreaching</i>
		<i>Wellness</i>
		<i>Readiness</i>

Estos descriptores se combinaron además utilizando los operadores booleanos *AND* y *OR* de la siguiente forma: ((soccer) OR (football)) AND ((HRV) OR (heart rate variability) OR

(autonomic nervous system) OR (frequency analysis) OR (entropy analysis)) AND ((fatigue) OR (stress) OR (lassitude) OR (recovery) OR (training load) OR (workload) OR (overtraining) OR (overreaching) OR (wellness) OR (readiness)). Esta combinación se llevó a cabo en cada una de las bases de datos ya mencionadas. La búsqueda de bibliografía finalizó el 30 de enero de 2023, por lo que cualquier resultado fuera de estas fechas no fue incluido en la revisión sistemática.

4.4. Procesamiento de datos

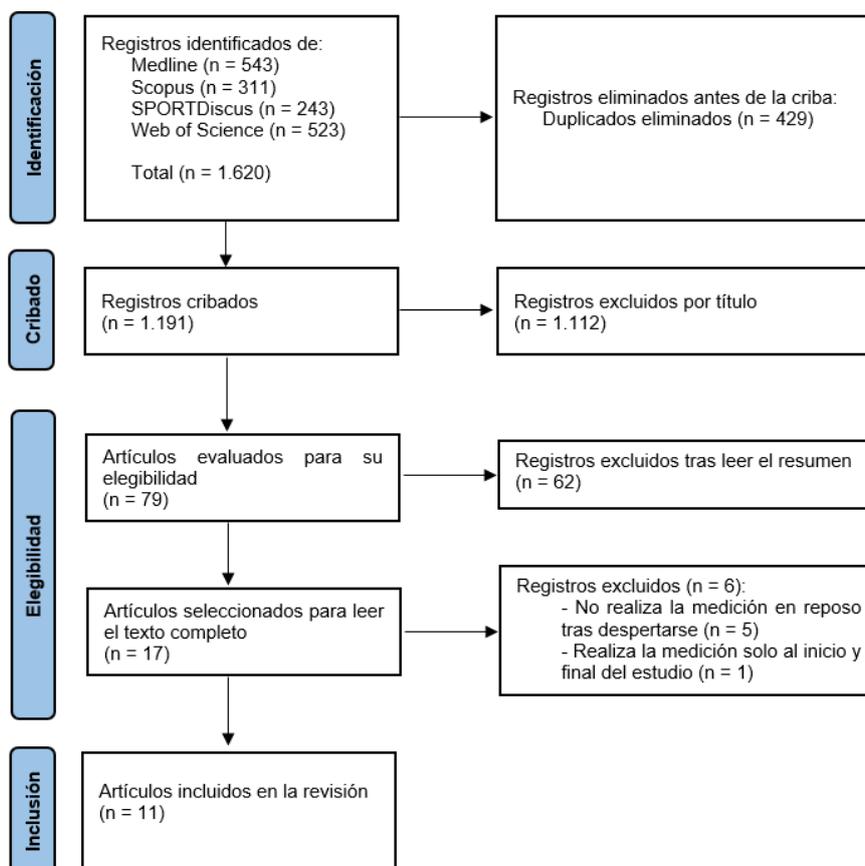
Tras la búsqueda de bibliografía en las diferentes bases de datos utilizadas, todos los resultados obtenidos (1.620 referencias) se añadieron a la herramienta de gestión bibliográfica *Rayyan*. En esta herramienta se llevó a cabo la detección de duplicados de forma automática (431 posibles duplicados), que fueron gestionados de forma manual para su eliminación. Finalmente, 2 resultados no eran duplicados, por lo que se eliminaron un total de 429 artículos. Tras este proceso, se revisaron los títulos de los 1.191 artículos restantes, para seleccionar así posibles candidatos para la revisión. Durante este proceso, se eliminaron 1.112 artículos que no tenían relación clara con la revisión a realizar. Tras ello, se leyeron los resúmenes de los 79 artículos restantes; al terminar el proceso se eliminaron 62, quedando entonces 17 posibles artículos para revisar. Se leyeron los 17 artículos completos y se elaboró una tabla en la que se indicaron características importantes de los estudios (género, edad, número de muestra, nivel, duración de la intervención, variables de la VFC medidas y variaciones en estas, posible utilidad de la VFC y tipo de medición realizada). Tras ello, se eliminaron 6 artículos por no realizar la medición de la VFC en reposo o por realizar la medición solo al inicio y al final de la intervención. Por tanto, quedaron 11 artículos para ser incluidos en la presente revisión.

5. Resultados

Al inicio de la búsqueda había 1.620 posibles artículos para realizar la revisión. Tras realizar el cribado de los diferentes estudios teniendo en cuenta tanto los criterios de inclusión como los criterios de exclusión quedaron 11 artículos para ser incluidos en la revisión sistemática. En la **Figura 5** se muestra el diagrama de flujo PRISMA, donde se indica el proceso que se ha seguido para seleccionar los artículos.

Figura 5

Diagrama de flujo PRISMA 2020 del proceso de búsqueda y selección de artículos



Nota. Adaptado de Page et al. (2021).

5.1. Características de los estudios

Las características de los estudios revisados se pueden ver de forma organizada en la **Tabla 2**.

De las 11 intervenciones revisadas, 4 fueron realizadas con equipos femeninos (Flatt & Esco, 2015, 2016; Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017) y las 7 restantes se realizaron en equipos masculinos (Bara-Filho et al., 2013; Figueiredo et al., 2019; Muñoz-López et al., 2021; Naranjo et al., 2015; Rabbani et al., 2018, 2019; Ravé et al., 2020). Teniendo en cuenta las 11 intervenciones, se utilizó la monitorización de la VFC en 133 jugadores de fútbol (94 hombres y 39 mujeres). La duración de las intervenciones llevadas a cabo en cada uno de los estudios fue diferente, siendo la mayoría periodos cortos: 12 a 14 días (Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017; Rabbani et al., 2018; Ravé et al., 2020); 3 semanas (Bara-Filho et al., 2013; Flatt & Esco, 2015; Rabbani et al., 2019); 4 semanas (Figueiredo et al., 2019) y 5 semanas (Flatt & Esco, 2016). Sin embargo, otros estudios se extendieron más en el tiempo. De esta forma, en Naranjo et al. (2015) se realizó una intervención durante una temporada completa de un equipo de Primera División española, con

una duración de 11 meses; la intervención de Muñoz-López et al. (2021) se prolongó un año, pues se desarrolló en las diferentes concentraciones de una selección nacional durante la fase de preparación para la Eurocopa de Francia 2016. En las intervenciones en las que no se abordó la temporada completa se analizaron tanto las etapas de *offseason* (Flatt & Esco, 2016) como de pretemporada (Figueiredo et al., 2019; Flatt, Esco & Nakamura, 2017) y temporada regular (Bara-Filho et al., 2013; Flatt & Esco, 2015; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017; Rabbani et al., 2018, 2019; Ravé et al., 2020).

Los 11 estudios incluidos en la revisión realizaron las mediciones de las variables de VFC por la mañana. Sin embargo, los parámetros medidos no fueron los mismos. Todos los artículos incluyen la medición de la variable rMSSD, ya sea de forma directa (Bara-Filho et al., 2013; Naranjo et al., 2015; Ravé et al., 2020) o transformándola en el logaritmo neperiano de rMSSD, es decir, Ln rMSSD o lnRMSSD (Figueiredo et al., 2019; Flatt & Esco, 2015, 2016; Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017; Muñoz-López et al., 2021; Rabbani et al., 2018, 2019). Como puede verse en la **Tabla 2**, hay que destacar además que en algunas de las intervenciones se incluyeron otros parámetros de la VFC como SDNN, pNN50, SS, SD1, SD2, S/PS ratio (SS/SD1), HF, LF, LF/HF, VLF y TP; por otra parte, en algunos estudios (Figueiredo et al., 2019; Flatt & Esco, 2015, 2016; Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017) se utilizó también el coeficiente de variación del Ln rMSSD (lnRMSSDcv) y la media semanal del Ln rMSSD (lnRMSSDmean).

En cuanto a la tecnología *wearable* utilizada para llevar a cabo la medición, 7 intervenciones (Bara-Filho et al., 2013; Flatt & Esco, 2015, 2016; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017; Rabbani et al., 2018, 2019; Ravé et al., 2020) utilizaron tecnología de la marca Polar (Polar Electro Oy, Kempele, Finland), mientras que Muñoz-López et al. (2021) utilizaron tecnología de Garmin (Garmin, EEUU), Figueiredo et al. (2019) de Suunto (Suunto Oy, Vantaa, Finland), Naranjo et al. (2015) de Firstbeat (Firstbeat Technologies, Jyväskylä, Finland) y Flatt, Esco & Nakamura (2017) de HRV Fit (HRV Fit Ltd., Southampton, United Kingdom). Además, Flatt & Esco (2015, 2016); Flatt, Esco & Nakamura (2017); Flatt, Esco, Nakamura et al. (2017) y Rabbani et al. (2018, 2019) realizaron la medición de la VFC utilizando un *smartphone*.

El protocolo de medición empleado para medir la VFC fue diferente en los estudios incluidos. Bara-Filho et al. (2013), Muñoz-López et al. (2021), Naranjo et al. (2015) y Ravé et al. (2020) utilizaron mediciones más largas, de entre 10 y 15 minutos; el resto utilizaron mediciones de

entre 55 segundos y 1 minuto (Figueiredo et al., 2019; Flatt & Esco, 2015, 2016; Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017; Rabbani et al., 2018, 2019).

5.2. Para qué se midió la VFC

En la mayoría de los estudios se utilizó la medición de la VFC para ver los cambios que se producían como consecuencia de la CE (Figueiredo et al., 2019; Flatt & Esco, 2015, 2016; Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017). Bara-Filho et al. (2013), Muñoz-López et al. (2021), Naranjo et al. (2015) y Rabbani et al. (2018, 2019) midieron las variaciones de VFC tanto como consecuencia de las sesiones de entrenamiento como de los propios partidos; Ravé et al. (2020) fueron los únicos en centrarse exclusivamente en los partidos.

En cuanto a la forma de gestionar los datos de la VFC recogidos, solo Bara-Filho et al. (2013) los analizaron de forma individual. Flatt & Esco (2015), Rabbani et al. (2018) y Ravé et al. (2020) los analizaron de forma grupal, mientras que el resto los analizaron tanto individualmente como de forma grupal (Figueiredo et al., 2019; Flatt & Esco, 2016; Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017; Muñoz-López et al., 2021; Naranjo et al., 2015; Rabbani et al., 2019).

Por último, tal y como se muestra en la **Tabla 3**, hay que destacar que los datos recogidos en algunas de las intervenciones no solo fueron referentes a la VFC, sino que además se monitorizó otra información. Así, fueron varios los estudios en los que se cuantificó la carga interna utilizando variables como el esfuerzo percibido de la sesión o s-RPE (Figueiredo et al., 2019; Flatt & Esco, 2015, 2016; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017; Muñoz-López et al., 2021; Rabbani et al., 2018, 2019) y los TRIMP (Bara-Filho et al., 2013; Flatt, Esco & Nakamura, 2017). Además, Figueiredo et al. (2019); Flatt & Esco (2016); Flatt, Esco & Nakamura (2017) y Flatt, Esco, Nakamura et al. (2017) realizaron el Yo-Yo Intermittent Recovery Test level 1 (Yo-Yo IR T1). Por último, algunos estudios realizaron diferentes propuestas de cuestionarios de bienestar subjetivo para interpretar mejor las tendencias en los cambios de la VFC (Figueiredo et al., 2019; Flatt & Esco, 2015; Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017; Rabbani et al., 2018, 2019; Ravé et al., 2020).

5.3. Efectos de la carga de entrenamiento y los partidos en la VFC

Al realizarse los estudios con diferentes parámetros de VFC, esta información se incluye de forma más clara e individualizada para cada intervención en la **Tabla 3**.

5.4. Utilidad de la VFC

La **Tabla 3** muestra de forma concreta las conclusiones de cada intervención en cuanto a la utilidad que puede tener la monitorización de la VFC en jugadores de fútbol. De los 11 estudios revisados, 9 indican que la utilización de la monitorización de la VFC es útil para poder conocer el estado de los jugadores (estrés, fatiga, disposición para jugar o entrenar) así como las adaptaciones positivas o negativas que puedan tener a la CE o a la carga de partido, pudiendo adaptar por tanto la CE en función de las necesidades (Bara-Filho et al., 2013; Figueiredo et al., 2019; Flatt & Esco, 2015, 2016; Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017; Muñoz-López et al., 2021; Naranjo et al., 2015; Ravé et al., 2020). Excepto en el artículo de Ravé et al. (2020), se sugiere realizar un análisis de los resultados de forma individual ya que las respuestas en la VFC son bastante individualizadas y, por tanto, la toma de decisiones en cuanto a la CE y las estrategias de recuperación debe ser personalizada. Además, en 7 de estos 9 artículos se indica la utilidad que tiene incorporar cuestionarios de bienestar para interpretar las variaciones en la VFC (Bara-Filho et al., 2013; Figueiredo et al., 2019; Flatt & Esco, 2015, 2016; Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017; Ravé et al., 2020).

Rabbani et al. (2018, 2019) por su parte señalan que si solo se tiene en cuenta la variable $\ln\text{RMSSD}$ pero sin valorar la media ni el coeficiente de variación de esta, no es recomendable la monitorización de la VFC. Aun así, en Rabbani et al. (2019) se menciona que la variable $\ln\text{RMSSD}$ sigue un patrón que puede reflejar la recuperación fisiológica de los jugadores.

Tabla 2

Características de los estudios

Artículo	Género (número de muestra)	Edad	Posición (nivel)	Duración intervención (momento temporada)	Parámetros de VFC	Protocolo de medición	Tecnología de monitorización
Bara-Filho et al. (2013)	Hombre (n=2)	26 y 19	Centrocampista y lateral derecho (profesional)	3 semanas (temporada regular)	SDNN; pNN50; rMSSD y HF	15 minutos de medición (8-10 AM) en posición supina; respiración normal. Solo se utilizaban los últimos 5 minutos para el análisis. Dos días a la semana: lunes (recuperación 36-48 h post partido) y sábado (influencia CE acumulada).	Polar RS800 (Polar Electro Oy, Kempele, Finland)
Figueiredo et al. (2019)	Hombre (n=16)	18,7 ± 0,6	No se especifica (profesional)	4 semanas (pretemporada)	lnRMSSDmean y lnRMSSDcv (semanales)	6:30 AM; después de miccionar y antes de comer y beber, restringiendo ingesta de alcohol y caféina. 1 minuto de medición en posición supina tras 1 minuto de estabilización; respiración espontánea. Medición diaria.	Suunto Memory Belt heart rate monitor (Suunto Oy, Vantaa, Finland)
Flat & Esco (2015)	Mujer (n=9)	22 ± 1,9	No se especifica (semiprofesional)	3 semanas (temporada regular)	lnRMSSDmean y lnRMSSDcv (semanales)	55 segundos en posición supina y otros 55 segundos en bipedestación (tras 1 minuto de estabilización en ambos), después de despertarse por la mañana y miccionar; respiración espontánea. Medición diaria y uso de <i>smartphone</i> .	Polar T-31 (Polar Electro Oy, Kempele, Finland)
Flat & Esco (2016)	Mujer (n=12)	22 ± 2,3	No se especifica (semiprofesional)	5 semanas (<i>offseason</i>)	lnRMSSDmean y lnRMSSDcv (semanales)	55 segundos de medición en posición supina en la cama sin moverse; respiración espontánea y después de despertarse por la mañana y	Polar T-31 (Polar Electro Oy, Kempele, Finland)

Artículo	Género (número de muestra)	Edad	Posición (nivel)	Duración intervención (momento temporada)	Parámetros de VFC	Protocolo de medición	Tecnología de monitorización
Flat, Esco & Nakamura (2017)	Mujer (n=8)	20,2 ± 1,8	No se especifica (semiprofesional)	2 semanas (pretemporada)	lnRMSSDmean y lnRMSSDcv (semanales)	1 minuto de medición en sedestación, después de despertarse y miccionar y dejar 1 minuto de estabilización; respiración espontánea. Mínimo de cuatro mediciones semanales y uso de <i>smartphone</i> .	PWFS (HRV Fit Ltd, Southampton, UK)
Flatt, Esco, Nakamura et al. (2017)	Mujer (n=10)	21,6 ± 2	No se especifica (semiprofesional)	2 semanas (temporada regular)	lnRMSSDmean y lnRMSSDcv (semanales)	1 minuto de medición en posición supina tras despertarse y miccionar; precedido de 1 minuto de estabilización; respiración espontánea. Medición diaria y uso de <i>smartphone</i> .	Polar T-31 (Polar Electro Oy, Kempele, Finland)
Muñoz-López et al. (2021)	Hombre (n=23)	26,1 ± 2,6	Jugadores excluyendo porteros (profesional)	1 año (6 concentraciones nacionales para Eurocopa 2016)	Ln RMSSD; SS y SS/SD1	10 minutos de medición en sedestación (2 minutos de estabilización + 8 minutos de medición), unos 15-20 minutos después de despertarse (8:00-9:30 AM) y miccionar. Medición diaria.	Garmin HRM-Run (Garmin, EEUU)
Naranjo et al. (2015)	Hombre (n=22)	25 ± 3	Jugadores excluyendo porteros (profesional)	11 meses (temporada completa)	SDNN; rMSSD; pNN50; SD1; SD2; SS y S/PS ratio	10 minutos de medición en sedestación, cada mañana en ayuna. Mínimo una medición cada semana.	HR monitor Firstbeat Bodyguard (Firstbeat Technologies, Jyväskylä, Finland)
Rabbani et al. (2018)	Hombre (n=8)	21,1 ± 3,4	No se especifica (semiprofesional-profesional)	2 semanas (temporada regular)	SDNN y Ln rMSSD	1 minuto en posición supina tras despertarse (7:00-9:00 AM) tras 1 minuto y medio de estabilización; respiración espontánea. Medición utilizando <i>smartphone</i> . Se midió al acabar la primera	Polar H7 HR monitor (Polar Electro Oy, Kempele, Finland)

Artículo	Género (número de muestra)	Edad	Posición (nivel)	Duración intervención (momento temporada)	Parámetros de VFC	Protocolo de medición	Tecnología de monitorización
Rabbani et al. (2019)	Hombre (n=9)	25,2 ± 4,3	Jugadores excluyendo porteros (profesional)	3 semanas (temporada regular)	Ln rMSSD	1 semana (baja carga) y al acabar la segunda semana (carga alta). 1 minuto de medición en sedestación tras despertarse por la mañana, precedido de 1 minuto de estabilización; respiración espontánea. Medición el día de partido y en los 4 días siguientes a este; medición con <i>smartphone</i> .	Polar H7 HR monitor (Polar Electro Oy, Kempele, Finland)
Ravé et al. (2020)	Hombre (n=14)	27,9 ± 4,3	No se especifica (profesional)	12 días (temporada regular)	rMSSD; TP; LF; HF; LF/HF ratio; VLF; HFnu y LFnu	10 minutos de medición en posición supina y 7 minutos de medición en bipedestación, sin hablar ni moverse (8:30 AM, 20 minutos antes de desayunar); respiración espontánea. Los 2 primeros minutos de cada medición no se añadieron en el análisis de los datos. Se realizaron 4 mediciones, una en cada día de partido (previo a este).	PolarTeamSystem2 (Polar Electro Oy, Kempele, Finland)

Nota. SDNN, desviación estándar de los intervalos R-R normales; pNN50, porcentaje de intervalos R-R normales que varían más de 50 ms; rMSSD, raíz cuadrada de la media de las diferencias de la suma de los cuadrados entre los intervalos R-R adyacentes; HF, alta frecuencia; LF, baja frecuencia; VLF, frecuencias muy bajas; Ln, logaritmo neperiano; lnRMSSDmean, media semanal del logaritmo neperiano de rMSSD; lnRMSSDcv, coeficiente de variación del logaritmo neperiano de rMSSD; TP, potencia total; nu, unidad normalizada; SS, *stress score*; SD1, desviación estándar 1 (actividad parasimpática); SD2, desviación estándar 2 (actividad simpática); SS/SD1 = S/PS ratio, ratio simpático/parasimpático.

Tabla 3

Cambios producidos como consecuencia de la carga de entrenamiento/partidos y utilidad de la VFC

Artículo	Datos recogidos	Análisis de la VFC	Características entrenamiento/partido	Cambios en la VFC	Utilidad de la VFC
Bara-Filho et al. (2013)	TRIMP y VFC	Individual	5 sesiones de entrenamiento semanales únicas o dobles con trabajo de: SSG; simulacro partidos; fuerza; sprint; aeróbico de baja intensidad en recuperación. 3 partidos jugados (viernes 1ª semana y sábado 2ª y 3ª semana).	Jugador 1: aumento de SDNN, rMSSD y SD1 durante M2 y M4 (lunes; momentos de medición en periodo de recuperación). Muestra una recuperación suficiente durante microciclos. Jugador 2: disminución en los índices parasimpáticos, lo que indica mala recuperación o existencia de estresores ajenos al propio deporte. Puede tratarse de un estado de sobrecarga no funcional.	Los parámetros SD1, SDNN y rMSSD son útiles para monitorizar los efectos del entrenamiento y de los partidos en la modulación parasimpática. Son índices sensibles a las características individuales y a periodos de estrés y recuperación. A diferencia de estos, los índices HF y pNN50 parecen tener menor sensibilidad. Se recomienda monitorizar la VFC en reposo para hacer ajustes diarios en la CE y evitar síntomas de sobrecarga no funcional.
Figueiredo et al. (2019)	s-RPE; VFC; Yo-Yo IR T1 y cuestionario de estrés	Grupal e individual	Dividido en tres etapas: inicial (1 semana), sobrecarga (2 semanas) y <i>tapering</i> (1 semana). Inicial: 5 sesiones/semana de campo; contenido técnico-táctico. Sobrecarga: aumento de volumen (duración sesiones) e intensidad (3 sesiones/semana de condición física). Tapering: reducción de volumen (duración sesiones) y mantenimiento de intensidad.	A nivel grupal, se produjo una disminución de lnRMSSDmean y aumento de lnRMSSDcv, asociado a menor tolerancia al estrés y menor rendimiento en el Yo-Yo test. Se revirtió la situación en la fase de <i>tapering</i> . De forma individual: Semana 1 sobrecarga: disminuyó en todos lnRMSSDmean y aumentó el lnRMSSDcv. Disminuyó consigo la tolerancia al estrés; poco tolerantes al aumento de la CE. Aquellos con menos disminución y menor fluctuación de lnRMSSDmean mostraron mejor rendimiento en el Yo-Yo test. Semana 2 sobrecarga: 13/16 jugadores disminuyeron lnRMSSDmean; 3/16 lo aumentaron, en ambos casos excediendo el SWC. 7/13 disminuyeron lnRMSSDcv y 6/13 lo aumentaron, excediendo en ambos el SWC. En general, poca tolerancia al estrés y disminución del rendimiento	La variable lnRMSSD, junto al análisis de los test psicométricos, permite monitorizar el estado del jugador de fútbol. El análisis podrá revelar adaptaciones positivas o negativas a la CE desde un punto de vista individual. Por tanto, el análisis de la VFC es de utilidad para realizar los ajustes oportunos en la CE o realizar programas de recuperación en aquellos jugadores que lo necesiten.

Artículo	Datos recogidos	Análisis de la VFC	Características entrenamiento/partido	Cambios en la VFC	Utilidad de la VFC
			Reducción contenido técnico-táctico.	independientemente de la variación; consecuencia de la adaptación negativa a la primera semana, que no permitió la reactivación vagal. Tapering: aumento lnRMSSDmean, disminución lnRMSSDcv y aumento tolerancia al estrés en todos los jugadores. Sin embargo, algunos jugadores disminuyeron el rendimiento en Yo-Yo, persistiendo resultados negativos de fases de sobrecarga.	
Flat & Esco (2015)	s-RPE; VFC y cuestionario bienestar	Grupal	Entrenamiento de fuerza y condición física 2 veces/semana; entrenamiento específico de fútbol 3 veces/semana.	Con CE altas se produjo un aumento de lnRMSSDcv (valores más altos de la intervención), acompañado de mayor fatiga, estrés fisiológico y menor bienestar. Por el contrario, con CE bajas el coeficiente de variación de lnRMSSD fue menor. Las variaciones de lnRMSSDmean fueron pequeñas, pero aumentó tras disminuir la CE.	Un registro de datos de VFC de 3-5 días a la semana en posición supina parece ser sensible a las variaciones en la CE. Es importante evaluar lnRMSSDcv junto a lnRMSSDmean, pues el primero es bastante sensible a las variaciones de la carga a corto plazo (3 semanas en este caso). Se recomienda que el CV se interprete además junto a otros marcadores del estado (como el cuestionario). Sirve como marcador objetivo del estado (estrés, fatiga) de las jugadoras como consecuencia a las variaciones de la CE, pudiendo ajustarla así en función de las necesidades.
Flat & Esco (2016)	s-RPE; VFC; RHR y Yo-Yo IR T1	Grupal e individual	Entrenamiento de fuerza y condición física (45-60 minutos) 2 veces/semana; entrenamiento específico de fútbol (90-120 minutos) 3 veces/semana.	Hubo sujetos que presentaron aumentos y otros que presentaron disminución en lnRMSSDcv. Aquellos con menor CV mostraron recuperación adecuada y adaptación positiva (la CE fue apropiada) y se correlacionó con mejoras en Yo-Yo test; los que presentaron mayor CV posiblemente tuvieron una recuperación inadecuada y mayor fatiga. Por tanto, las respuestas fueron muy individuales.	La monitorización diaria de la VFC es útil para dar información del estado físico de las jugadoras de fútbol. Es fundamental interpretar los resultados (por ejemplo, con test psicométricos) para poder tomar decisiones referentes a la CE, estrategias de recuperación, etc. Disminución de lnRMSSDcv y aumento de lnRMSSDmean parece ser una respuesta positiva al entrenamiento y

Artículo	Datos recogidos	Análisis de la VFC	Características entrenamiento/partido	Cambios en la VFC	Utilidad de la VFC
Flat, Esco & Nakamura (2017)	TRIMP; VFC; cuestionario bienestar y Yo-Yo IR T1	Grupal e individual	90-120 min específico fútbol; 60 min amistosos; 30 min regenerativo; 30 min fuerza. El número de sesiones o partidos fue: Semana 1: 1 fuerza; 3 amistosos; 4 específico fútbol; 2 regenerativas. Semana 2: 2 fuerza; 3 específico fútbol; 2 regenerativas; 2 partidos.	De manera grupal , aumentos en la CE fueron acompañados de disminuciones en lnRMSSDmean; disminuciones en CE se acompañaron de aumento en lnRMSSDmean y carga sin modificaciones no produjo cambios en lnRMSSDmean. De forma individual , hubo sujetos en los que aumentó lnRMSSDmean junto a disminución en lnRMSSDcv independientemente del aumento de la CE (adaptación positiva); sujetos en los que disminuyó lnRMSSDmean y aumentó lnRMSSDcv ante incrementos de la CE (asociado con estrés o con mala forma física); y sujetos en los que apenas se modificaron ambas variables (adaptación positiva a CE).	se asocia con mayor rendimiento en Yo-YO test. Lo contrario parece relacionarse con una adaptación negativa al entrenamiento. La variable lnRMSSDmean es sensible a las variaciones en la CE. Es importante medir la VFC e interpretarla junto al test psicométrico. Por tanto, la medición de la VFC junto a la interpretación de los resultados de las pruebas psicométricas es útil para detectar la fatiga en las futbolistas y adaptar la CE individualmente, con el objetivo de conseguir adaptaciones positivas y prevenir la acumulación excesiva de fatiga.
Flatt, Esco, Nakamura et al. (2017)	s-RPE; VFC; cuestionario bienestar; VO ₂ máx y Yo-Yo IR T1	Grupal e individual	Fuerza/condición física (45-60 minutos), 2 veces/semana; sesión específica de fútbol (90 minutos), 3 veces/semana.	Grupalmente , durante la semana 1 (CE elevada), hubo grandes reducciones en lnRMSSD; durante semana 2 (disminución de CE), hubo menor reducción de lnRMSSD. Individualmente , hubo jugadoras con gran descenso de lnRMSSD incluso en la semana 2 (fueron las jugadoras con peor forma física en Yo-Yo test; se asoció también con resultados negativos en cuestionario de bienestar); futbolistas con descenso de lnRMSSD en semana 1, pero era jugadora con mejor forma física en Yo-Yo test (resultados negativos en cuestionario bienestar); jugadoras con poca variación, por lo que pueden tolerar una carga más elevada; y jugadoras con vuelta de lnRMSSD a la tendencia, lo que indica buena capacidad de recuperación.	Las respuestas de lnRMSSD a las variaciones en la CE son muy individuales y se relacionan con la forma física y la fatiga percibida (encuestas de bienestar). El CV de lnRMSSD se asoció individualmente al estado físico y a la fatiga. La medición de la VFC es útil para conocer el estado de las jugadoras y poder adaptar así la CE de una forma individualizada.

Artículo	Datos recogidos	Análisis de la VFC	Características entrenamiento/partido	Cambios en la VFC	Utilidad de la VFC
Muñoz-López et al. (2021)	s-RPE y VFC	Grupal e individual	Aumento progresivo de la CE durante la semana hasta 2 días previos al partido, momento en que la CE se reduce.	<p>Previo al partido, de manera grupal no hubo cambios significativos en lnRMSSD. Tras el partido (24-72 h) hubo diferencias individuales entre los que jugaron <60 min y >60 min. En grupo >60 min, 24 h después del partido se redujo lnRMSSD (por aumento en carga e intensidad del partido); los cambios más grandes en este grupo se dieron 48 horas después al partido (supercompensación parasimpática; aumento lnRMSSD).</p> <p>Ausencia de diferencias significativas de manera grupal en SS y SS/SD1; individualmente, hubo diferencias importantes en SS (componente simpático).</p>	Monitorizar lnRMSSD y SS de forma individual durante la semana de entrenamiento es útil para poder entender la asimilación individual de las CE e intentar prevenir el exceso de fatiga durante este periodo. Es útil no solo para prevenir la fatiga con ajustes en la CE sino también para detectar estado de fatiga/estrés en los jugadores durante las concentraciones nacionales.
Naranjo et al. (2015)	VFC	Grupal e individual	-	De forma grupal , SDNN, rMSSD y pNN50 siguieron una tendencia similar: zona inicial baja (pretemporada-primer mes de competición) y recuperación hasta fase final de competición (abril-mayo), cuando vuelven a disminuir. En cuanto a SS y S/PS ratio, los límites que indican alerta solo fueron alcanzados al inicio y final de la temporada. De forma individual , hubo jugadores con alguna respuesta diferente.	Al menos una medición semanal de 10 minutos que incluya las variables SS y S/PS ratio junto a una de entre SDNN, rMSSD y pNN50 es de utilidad para conocer el estado de los jugadores y la asimilación de la CE. De esta forma, es de ayuda para detectar la fatiga y planificar la CE de una forma correcta.
Rabbani et al. (2018)	s-RPE; VFC y cuestionario bienestar	Grupal	4 sesiones de entrenamiento de 60-100 minutos y 4 partidos de 90 minutos.	Cambios triviales en SDNN (aumento) y lnRMSSD (disminución) en la semana de carga elevada. Sin embargo, hubo poca correlación entre las variables de VFC y el aumento en s-RPE.	Solo se interpretaron los resultados de VFC en puntos concretos de medición, sin tener en cuenta la media ni coeficientes de variación. Por tanto, en estos casos, la VFC no es un método recomendable. En su lugar, el Hooper Index (índice global del cuestionario de bienestar realizado) se correlacionó bastante bien con las variaciones en s-RPE, siendo por tanto útil para gestionar la fatiga.

Artículo	Datos recogidos	Análisis de la VFC	Características entrenamiento/partido	Cambios en la VFC	Utilidad de la VFC
Rabbani et al. (2019)	s-RPE; VFC y cuestionario de bienestar	Grupal e individual	Sesiones de recuperación (40 min); específicas de fútbol (60-65 min) y condicionamiento (25 min).	A nivel grupal , en MD+1 se produjo una gran disminución de lnRMSSD; entre MD+2 y MD+3 se produjo una recuperación de la tendencia; en MD+4 se mantuvo. Individualmente , la mayor disminución de lnRMSSD se produjo en MD+1.	lnRMSSD sigue un patrón que muestra la recuperación fisiológica de los jugadores tras el partido. Sin embargo, aun siendo una medida efectiva, parece que el Hooper Index es más útil y sensible para monitorizar la fatiga.
Ravé et al. (2020)	VAS; VFC	Grupal	-	-	rMSSD se correlacionó con el estado físico percibido en jugadores de fútbol y por tanto puede ser un marcador útil para medir la adaptación. Además, este parámetro se correlacionó con TP (índice general de la VFC) en posición supina, por lo que parece que rMSSD refleja la VFC general. LF (variable simpática) se correlacionó también con el estado físico percibido. Por tanto, VFC es un marcador útil para determinar el <i>readiness</i> de los jugadores de fútbol (mejor medir en bipedestación).

Nota. TRIMP, training impulse (carga interna); s-RPE, esfuerzo percibido de la sesión (carga interna); VFC, variabilidad de la frecuencia cardiaca; Yo-Yo IR T1, Yo-Yo Intermittent Recovery test level 1; SSG, juego reducido; SWC, mínimo cambio apreciable; CV, coeficiente de variación; RHR, frecuencia cardiaca en reposo; CE, carga de entrenamiento; SDNN, desviación estándar de los intervalos R-R; pNN50, porcentaje de intervalos R-R que varían más de 50 ms; rMSSD, raíz cuadrada de la media de las diferencias de la suma de los cuadrados entre los intervalos R-R adyacentes; VAS, *visual analogue scale*; LF, baja frecuencia; HF, alta frecuencia; TP, *total power*; VO_{2máx}, volumen de oxígeno máximo; lnRMSSD_{mean}, media semanal del logaritmo neperiano de rMSSD; lnRMSSD_{cv}, coeficiente de variación del logaritmo neperiano de rMSSD; MD+1, día siguiente al partido; MD+2, dos días siguientes al partido; MD+3, tercer día tras el partido; MD+4, cuarto día tras el partido.

6. Discusión

A mi conocimiento, esta revisión sistemática es la primera en abordar la posible utilidad de la VFC en futbolistas. El objetivo principal era poder determinar si la VFC es un método adecuado para conocer el estado de los jugadores de fútbol y poder adaptar las cargas de entrenamiento en función de los resultados obtenidos. Además, como objetivo secundario, se buscaba indicar cuáles son las metodologías más adecuadas para su medición y los parámetros de la VFC más útiles para conocer el estado de recuperación y de fatiga en los futbolistas.

6.1. Medición de la VFC y gestión de los resultados

Como se muestra en los estudios de Altini (2020a), Buchheit (2014), Kiviniemi et al. (2010) y Plews et al. (2013), la forma más práctica de medir la VFC para conocer la modulación parasimpática, y por ende el estado de recuperación, es hacerlo por la mañana tras despertarse, es decir, en reposo. En esta línea, todos los estudios incluidos en la presente revisión llevaron a cabo la medición de la VFC por la mañana. Sin embargo, existen otros estudios en futbolistas en los que la monitorización de la VFC se lleva a cabo durante el sueño (Juárez Santos-García et al., 2022) o antes del calentamiento y al finalizar un partido (Ayuso-Moreno et al., 2021), concluyendo en ambos casos que la monitorización de la VFC es útil para gestionar el estado de fatiga y de recuperación de los futbolistas. No obstante, en estudios en los que se trata la monitorización de la VFC en deportistas de forma general se sugiere que si lo que se quiere es conocer el estado de recuperación de un deportista para poder tomar decisiones en cuanto a la CE, las mediciones en reposo tras despertarse son preferibles a aquellas que se realizan tras un esfuerzo o durante el sueño (Buchheit, 2014). Por ejemplo, existen estudios como el de Hynynen et al. (2006) en los que se indica que la modulación parasimpática en deportistas sobreentrenados se ve disminuida en la medición tras despertarse, pero no durante la medición nocturna; otro ejemplo es el expuesto en el documento de Sherman et al. (2021), donde se expresa que hay una reducción importante en la sensibilidad de las mediciones de la VFC en otro momento de la mañana que no sea tras despertarse. De esta forma, se puede interpretar que la mejor opción para monitorizar la VFC en los futbolistas es realizarlo por la mañana tras despertarse.

En la presente revisión, 7 estudios realizaron las mediciones en posición supina (Bara-Filho et al., 2013; Figueiredo et al., 2019; Flatt & Esco, 2015, 2016; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017; Rabbani et al., 2018; Ravé et al., 2020), realizando los 4 restantes la medición en sedestación (Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Muñoz-López et al., 2021; Naranjo et al., 2015; Rabbani et al.,

2019). En el estudio de Buchheit (2014) se señala que las formas más utilizadas en la práctica son la de sedestación y tumbado en posición supina, por lo que se puede decir que en futbolistas la medición se puede realizar de ambas formas. No obstante, hay que tener en cuenta que ambas mediciones son diferentes, pues la regulación biológica de la actividad cardíaca difiere en cada situación. La VFC tumbados en posición supina representa principalmente la actividad del SNA cardíaco en una situación de reposo; por su parte, en posición de sedestación la VFC representa la actividad del SNA como respuesta al estrés fisiológico producido como consecuencia de las alteraciones ortostáticas, existiendo en este caso una gran influencia de los barorreceptores (Altini, 2022). Por tanto, si existe mayor estrés el cambio en la VFC será mayor en una posición de sedestación comparado con la posición supina, ya que la VFC en este caso se vuelve más sensible a los estresores a los que el sujeto se está enfrentando (Altini, 2022). Como expone Flatt (2012), cada posición aporta información de manera diferente, pero ambas son válidas para monitorizar el estado del deportista. Por tanto, la clave debe ser la consistencia en las mediciones, es decir, escoger una posición (ya sea sentado o tumbado) y llevar a cabo todas y cada una de las mediciones de la misma forma, pues de lo contrario la información recogida estará sesgada.

Son varios los estudios en los que se indica que la VFC tiene una variabilidad día a día bastante elevada implícita en el propio parámetro, y que depende además de las condiciones ambientales (Altini, 2020a; Buchheit, 2014; Plews et al., 2013). Por ello, y como señala Buchheit (2014), es fundamental que las condiciones de la medición estén debidamente estandarizadas para poder conseguir una medición lo más precisa posible en la que se intenten aislar los cambios del SNA como respuesta a la carga. En la presente revisión, todos los estudios incluidos realizaron la medición de la VFC siguiendo unos protocolos preestablecidos (duración de la medición, posición corporal, lugar, hora, etc.). Por tanto, en el caso de que se decida utilizar la medición de la VFC en un equipo de fútbol es fundamental estandarizar los protocolos para que todas las mediciones se realicen en las mismas condiciones.

Las mediciones de la VFC se pueden realizar con diferentes duraciones, siendo bastante común la medición de 5-10 minutos (Buchheit, 2014). Sin embargo, si la monitorización se quiere llevar a cabo de forma rutinaria, puede resultar tedioso para los futbolistas tener que permanecer durante periodos largos realizando esta medición. De esta forma, poder reducir la duración de la medición a la vez que se obtiene un resultado fiable es de interés. Munoz et al. (2015) sugieren que no es necesario llevar a cabo mediciones de más de 2 minutos para obtener mediciones precisas de las variables rMSSD y SDNN. Esta estrategia de medición de la VFC

recibe el nombre de *Ultra-Short Recording*. En la revisión actual, 7 estudios incluidos optaron por incorporar la estrategia de *Ultra-Short Recording* de la VFC (Figueiredo et al., 2019; Flatt & Esco, 2015, 2016; Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017; Rabbani et al., 2018, 2019), mientras que en el resto de los estudios se utilizó una estrategia de medición más larga de entre 10 y 15 minutos (Bara-Filho et al., 2013; Muñoz-López et al., 2021; Naranjo et al., 2015; Ravé et al., 2020). Una posible explicación para la medición más prolongada en el estudio de Ravé et al. (2020) es la incorporación de parámetros del dominio de frecuencia como LF, que requieren mediciones de más de 2 minutos (Munoz et al., 2015). Por tanto, aunque sea posible realizar mediciones más prolongadas en el tiempo, poder medir la VFC en periodos más cortos resulta bastante práctico y es preferible en el contexto en que nos encontramos.

En los últimos años se han desarrollado diferentes métodos tecnológicos para monitorizar la VFC sin necesidad de tener que utilizar ECG, e incluso reemplazando a los sensores de frecuencia cardíaca pectoral, de forma que la medición sea lo más práctica y sencilla posible. En el estudio de Stone et al. (2021) se señala que las mediciones que utilizan PPG (como HRV4Training y Oura Ring) permiten medir de forma muy precisa el parámetro de rMSSD. Además, la VFC monitorizada utilizando PPG con un *smartphone* ha mostrado una validez bastante alta al ser comparada con el *gold standard* de la monitorización de la VFC, es decir, el ECG (Plews et al., 2017). En la presente revisión, 6 estudios utilizaron el *smartphone* de los propios deportistas para realizar las mediciones, aunque en estos casos no se realizó la medición de forma directa con la cámara del móvil. En su lugar, se utilizaron tanto sensores de frecuencia cardíaca pectoral como sensores de dedo, y el móvil solo se utilizó para gestionar los resultados mediante la aplicación EliteHRV (Rabbani et al., 2018, 2019) o la aplicación iThlete (Flatt & Esco, 2015, 2016; Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017). Viendo esto, se puede decir que en más de la mitad de los artículos revisados se utilizaron sensores de frecuencia cardíaca junto a aplicaciones móviles en el propio *smartphone* de los futbolistas. Así, es el propio jugador quien desde su habitación realiza la medición tras despertarse y sin necesidad de acudir a la instalación deportiva. No obstante, en este caso puede haber limitaciones, ya que si los futbolistas no conocen y siguen los protocolos de forma estricta en todo momento los datos no serán válidos. Aunque en ninguno de los estudios revisados se ha utilizado la PPG para monitorizar la VFC, como se señala en el estudio de Plews et al. (2017), dada la facilidad y practicidad de esta metodología, puede ser una forma bastante interesante de facilitar la medición diaria de la VFC. A pesar de ello, hay que tener en cuenta que este

método puede tener problemas en comparación con la monitorización utilizando un sensor de frecuencia cardiaca, pues no todos los dispositivos móviles son compatibles con la aplicación HRV4Training. Todos los iPhone posteriores al iPhone 5 son compatibles; sin embargo, no todos los dispositivos Android lo son (HRV4Training, s.f.).

Por último, en la presente revisión sistemática todos los estudios incorporaron en la medición el parámetro rMSSD y lo utilizaron para la interpretación de las variaciones en la VFC. Altini (2020a), Buchheit (2014) y Plews et al. (2013) indican que rMSSD es el parámetro más práctico y útil para evaluar la actividad parasimpática. El nervio vago (nervio representativo del SNP) actúa sobre los nodos que regulan el pulso en cada latido, por lo que los cambios entre los latidos medidos mediante rMSSD permiten reflejar la actividad parasimpática y por tanto la recuperación del deportista (Altini, 2020a). Además, este parámetro no se encuentra influenciado por el ritmo respiratorio (Altini, 2020a; Buchheit, 2014; Shaffer & Ginsberg, 2017). Por tanto, se puede indicar que entre los futbolistas el parámetro rMSSD es el más práctico y utilizado para analizar la VFC.

6.2. Utilidad de la VFC

Se conoce que el ejercicio intenso induce de forma aguda una reducción en los índices parasimpáticos hasta 48 horas después a la realización del ejercicio (Stanley et al., 2013). Además, se sabe que bloques de entrenamiento con cargas bajas y moderadas se suelen asociar con un aumento en los índices parasimpáticos de la VFC, mientras que bloques con cargas más altas suelen conducir a una reducción en los índices parasimpáticos (Pichot et al., 2000, 2002). No obstante, no se debe olvidar que la VFC es una medida fisiológica que tiene respuestas muy individuales y depende de factores como el estado físico o el historial de entrenamiento (Plews et al., 2013). En 7 artículos de la presente revisión sistemática se realizó una interpretación de resultados tanto grupal como individual, cumpliéndose lo anteriormente expuesto (Figueiredo et al., 2019; Flatt & Esco, 2016; Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017; Muñoz-López et al., 2021; Naranjo et al., 2015; Rabbani et al., 2019). En estos se cumplen de forma general las respuestas agudas y crónicas típicas de la VFC como respuesta al entrenamiento. Sin embargo, cuando se analizaron los resultados de la VFC de forma individual hubo diferencias entre los futbolistas. Como ejemplo, a nivel grupal en el estudio de Flatt, Esco & Nakamura (2017) se produjeron disminuciones en la media semanal del parámetro lnRMSSD como consecuencia del aumento en la CE, y aumentos en el mismo parámetro cuando se disminuyó la CE. Sin embargo, cuando se analizaron los datos de forma individual, hubo jugadoras en las que, independientemente del aumento de la CE, tuvieron aumentos en la

media semanal de $\ln\text{RMSSD}$ y disminuciones en el coeficiente de variación (adaptación positiva al entrenamiento), otras en las que disminuyó $\ln\text{RMSSD}$ y aumentó el coeficiente de variación (estrés, mala forma física) y otras en las que apenas se modificaron ambos parámetros (adaptación positiva) (véase **Tabla 3** para ver el resto de los estudios). De esta forma, viendo los resultados de los estudios mencionados se puede considerar que si se quiere utilizar la VFC para monitorizar la fatiga y adaptar la CE de forma individual es fundamental también llevar a cabo una interpretación de resultados individualizada. No obstante, como indican Naranjo et al. (2015), conocer los datos de la VFC del equipo de fútbol de forma grupal también puede ser de ayuda para planificar de forma general el volumen de entrenamiento semanal. Por tanto, puede ser interesante analizar los resultados grupales para hacer una planificación general y utilizar los resultados individuales para realizar ajustes más individualizados de la CE.

Debido a las propias fluctuaciones diarias de la VFC se recomienda llevar a cabo una medición casi diaria en la que se tenga en cuenta la media semanal (Altini, 2020b; Plews et al., 2013). Para obtener una mejor interpretación de la media semanal es también de interés poder disponer del coeficiente de variación de la VFC (Altini, 2019). Todo junto permite determinar si la variación se debe a la propia fluctuación de la variable o a posibles alteraciones en la recuperación que estén generando un aumento en la fatiga. En el caso de la presente revisión sistemática, fueron varios los estudios en los que se tuvo en cuenta tanto la media como el coeficiente de variación (Figueiredo et al., 2019; Flatt & Esco, 2015, 2016; Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017). En estos estudios se llevaron a cabo las mediciones de forma diaria, a excepción de Flatt, Esco & Nakamura (2017), en el que se midieron al menos cuatro veces a la semana. En el estudio de Naranjo et al. (2015), donde se concluye indicando que la monitorización de la VFC es útil, se realizó la medición únicamente una vez cada semana. Sin embargo, Buchheit (2014) señala que en deportes de equipo la utilidad de la medición de la VFC es muy limitada si solo se lleva a cabo una o menos veces a la semana. Esta afirmación se confirma en dos estudios de la revisión (Rabbani et al., 2018, 2019), en los que se indica que cuando la monitorización de la VFC se lleva en momentos puntuales sin tener en cuenta ni la media ni el coeficiente de variación son más recomendables utilizar cuestionarios de bienestar, sugiriéndose en este caso el uso del cuestionario de Hooper y Mackinnon. Este cuestionario es bastante útil y sensible para monitorizar la fatiga, pues da un índice global (Hooper Index) que incorpora información relativa a la calidad del sueño percibida, el estrés, la fatiga muscular y la sensación de carga; además, se correlaciona bastante bien con las variaciones en el s-RPE. En relación con la utilización de cuestionarios, Buchheit

(2014) indica en su estudio la importancia que tiene su implementación para facilitar la interpretación de los resultados de la VFC, pues esta por sí sola no puede informar de todos los aspectos de bienestar, fatiga y rendimiento. En definitiva, la VFC solo es un marcador del SNA en relación con la actividad cardíaca, por lo que no es completamente sensible a algunos cambios neuromusculares, metabólicos y psicométricos. Es por ello por lo que en nueve de los once estudios de la revisión (Bara-Filho et al., 2013; Figueiredo et al., 2019; Flatt & Esco, 2015, 2016; Flatt, Esco & Nakamura, 2017; Flatt, Esco, Nakamura et al., 2017; Rabbani et al., 2018, 2019; Ravé et al., 2020) se señala la importancia que tiene poder disponer de cuestionarios de bienestar para realizar una mejor interpretación de los resultados y poder tomar decisiones en consecuencia. Un ejemplo destacado es el del estudio de Bara-Filho et al. (2013), donde uno de los jugadores experimentó una supresión de la modulación vagal. Esta supresión pudo deberse a una recuperación inadecuada o incluso a factores emocionales ajenos al deporte. Sin embargo, al no realizarse ningún tipo de cuestionario de bienestar durante la intervención no pudo confirmarse la hipótesis. Viendo esto, se puede considerar que la utilización de la VFC en momentos muy puntuales no es muy recomendable en futbolistas y que es necesaria más de una medición semanal, siendo recomendable en deportistas entrenados realizar al menos tres mediciones semanales (Plews et al., 2014). Además, cuando se quiera utilizar la VFC se debe considerar la utilización de otras pruebas complementarias como es el caso de los cuestionarios de salud y bienestar con el objetivo de evaluar el bienestar percibido, así como evaluaciones de CMJ para evaluar la fatiga neuromuscular (Buchheit, 2014).

6.3. Aplicación práctica de los resultados

En primer lugar, la monitorización de la VFC en futbolistas profesionales y semiprofesionales es una herramienta útil para conocer el estado de recuperación y la fatiga acumulada como respuesta a la CE. Sin embargo, la VFC por sí sola no da una información completa, pues no informa de todos los aspectos de fatiga, bienestar y rendimiento. Por tanto, surge la necesidad de complementar la medición con otras herramientas como cuestionarios de bienestar percibido (ej. Hooper y Mackinnon) o pruebas físicas como el CMJ que permitan interpretar adecuadamente los cambios.

En cuanto al protocolo de medición, la información parece indicar que debe realizarse en reposo tras haberse despertado, tanto en posición supina como en sedestación. Sin embargo, hay que tener en cuenta que es fundamental también mantener las condiciones de monitorización (luz, temperatura, hora del día, posición, etc.) en todas las mediciones. Por otra parte, en cuanto a la tecnología utilizada, resulta de interés la utilización del *smartphone* del propio jugador en

combinación con un sensor pectoral de frecuencia cardiaca. Aunque pueden llevarse a cabo mediciones de 5 a 10 minutos, se puede considerar que la estrategia de *Ultra-Short Recording* que utiliza mediciones de 1 a 2 minutos es igualmente útil y más práctica en este ámbito, pues puede ser una forma de intentar que los futbolistas no eviten realizar estas mediciones. Es recomendable realizar al menos 3 mediciones a la semana, siendo preferible poderlas realizar diariamente para obtener la media semanal e interpretar mejor los cambios. En cuanto a los parámetros de la VFC que se deben utilizar, no debe faltar el de rMSSD, pues se trata del parámetro más útil y práctico para evaluar la actividad parasimpática y por tanto el estado de recuperación.

Por último, la evaluación de los resultados debe ser individual debido a que en ocasiones las respuestas de cada futbolista son diferentes a la respuesta del grupo. No obstante, la recogida de la media grupal también es útil para el cuerpo técnico para poder planificar el entrenamiento semanal de una forma general, adaptándolo específicamente en función de los resultados individuales.

7. Limitaciones

La presente revisión sistemática tiene algunas limitaciones. En primer lugar, en algunos de los estudios revisados no se indica la demarcación concreta de los jugadores a los que se realizó la intervención, y en aquellos en los que se indica se excluyeron a los porteros. Por tanto, es posible que existan diferencias en la utilidad de la monitorización en función del puesto específico analizado. Otra de las limitaciones está en relación con el nivel de los futbolistas y su edad. Debido a que se han seleccionado a jugadores profesionales y semiprofesionales mayores de 18 años, los resultados en cuanto a la utilidad de la VFC no son aplicables a otros niveles y a edades inferiores a los 18 años. Otra limitación se relaciona con los parámetros de la VFC recogidos, ya que en algunos estudios se midieron unos parámetros que no se midieron en otros. A pesar de ello, queda claro que el parámetro rMSSD no debe faltar en la medición, puesto que se ha visto que es el más útil en la evaluación de la recuperación del deportista debido a su capacidad para reflejar la modulación parasimpática. Por último, en la presente revisión solo se seleccionaron artículos en los que la medición de la VFC se realizara por la mañana en reposo. Aunque a priori es la mejor forma de medir la VFC para conocer el estado de fatiga y recuperación en deportistas, no se puede determinar si otras opciones en la medición son igualmente útiles para los futbolistas.

8. Conclusiones

A pesar de las limitaciones expuestas, se puede concluir que la VFC por sí sola no informa de todos los aspectos de fatiga y bienestar de los futbolistas profesionales y semiprofesionales. Por tanto, para que sea de utilidad su medición en el conocimiento del estado de recuperación y de fatiga de una forma más completa y así poder adaptar la CE, es importante complementar la medición con otras herramientas (ej. utilización de cuestionarios de bienestar percibido o pruebas físicas como la evaluación de CMJ).

En cuanto a los protocolos de medición más utilizados y útiles actualmente, se necesitan al menos 3 mediciones semanales en reposo tras despertarse, de 1-2 minutos, en posición de sedestación o tumbado en posición supina. Por otra parte, el parámetro rMSSD no debe faltar en la medición.

9. Perspectivas futuras

Basado en la revisión realizada sobre la evidencia actual, hay algunos aspectos y sugerencias para futuros estudios relacionados con este tema:

1. En los estudios revisados se evaluó la utilidad de la VFC en la monitorización de la fatiga en equipos profesionales o semiprofesionales de jugadores mayores de 18 años. Sería por tanto de interés poder analizar su utilidad en jugadores de categorías y niveles inferiores en futuros estudios y revisiones.
2. Aunque menos utilizada que la medición al despertar (Buchheit, 2014), la medición durante el sueño también podría ser útil. Existen intervenciones en futbolistas como la de Juárez Santos-García et al. (2022) en la que se realiza la medición durante el sueño y se señala que el análisis nocturno de la VFC puede ser útil para analizar los cambios en el estado de recuperación y de fatiga de jugadoras de fútbol profesional. Así, en futuras intervenciones relacionadas con este tema se podrían comparar ambos protocolos de medición en futbolistas y evaluar la utilidad que puede tener cada uno.
3. Como se ha visto, en algunos estudios de la revisión se utilizó el *smartphone* de los futbolistas junto a sensores de frecuencia cardiaca para medir la VFC. Sin embargo, en ninguno de ellos se utilizó el *smartphone* para medir la VFC de forma directa con la cámara utilizando la técnica de PPG. Aunque esta metodología se utiliza principalmente en deportes individuales, en futuros estudios referentes a la medición de la VFC en futbolistas podría ser de interés evaluar su utilidad, practicidad y validez en este grupo.

Referencias

- Altini, M. (2019). *Coefficient of Variation (CV): what is it and how can you use it?* Recuperado el 4 de abril de 2023, de <https://www.hrv4training.com/blog/coefficient-of-variation-cv-what-is-it-and-how-can-you-use-it>
- Altini, M. (2020a). *The Ultimate Guide to Heart Rate Variability (HRV): Part 1. Measurement setup, best practices, and metrics.* Recuperado el 21 de marzo de 2023, de https://medium.com/@altini_marco/the-ultimate-guide-to-heart-rate-variability-hrv-part-1-70a0a392fff4
- Altini, M. (2020b). *The Ultimate Guide to Heart Rate Variability (HRV): Part 2. You measured, now what?* Recuperado el 24 de marzo de 2023, de https://medium.com/@altini_marco/the-ultimate-guide-to-heart-rate-variability-hrv-part-2-323a38213fbc
- Altini, M. (2020c). *The Ultimate Guide to Heart Rate Variability (HRV): Part 3. Show me the data.* Recuperado el 25 de marzo de 2023, de https://medium.com/@marco_alt/the-ultimate-guide-to-heart-rate-variability-hrv-part-3-5fe902f3d2b3
- Altini, M. (2022). *Thoughts on Heart Rate Variability (HRV) measurement timing: morning or night?* Recuperado el 14 de abril de 2023, de https://medium.com/@altini_marco/thoughts-on-heart-rate-variability-hrv-measurement-timing-morning-or-night-b92bd5495bc8
- Altini, M. & Amft, O. (2016). HRV4Training: Large-scale longitudinal training load analysis in unconstrained free-living settings using a smartphone application. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference, 2016*, 2610–2613. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591265>
- Ayuso-Moreno, R. M., Fuentes-García, J. P., Nobari, H. & Villafaina, S. (2021). Impact of the Result of Soccer Matches on the Heart Rate Variability of Women Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9414. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179414>
- Bara-Filho, M. G., Schimitz Freitas, D., Moreira, D., de Oliveira Matta, M., Perrout de Lima, J. R. & Nakamura, F. Y. (2013). Heart rate variability and soccer training: a case study. *Motriz. Revista de Educação Física*, 19(1), 171–177. <https://doi.org/10.1590/S1980-65742013000100017>
- Bestwick-Stevenson, T., Toone, R., Neupert, E., Edwards, K. & Kluzek, S. (2022). Assessment of Fatigue and Recovery in Sport: Narrative Review. *International Journal of Sports Medicine*, 43(14), 1151–1162. <https://doi.org/10.1055/a-1834-7177>
- Bompa, T. O. & Haff, G. G. (2009). *Periodization: Theory and Methodology of Training*. Human Kinetics.

- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 73. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
- da Silva, D. F., Ferraro, Z. M., Adamo, K. B. & Machado, F. A. (2019). Endurance Running Training Individually Guided by HRV in Untrained Women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(3), 736–746. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002001>
- Düking, P., Zinner, C., Reed, J. L., Holmberg, H. C. & Sperlich, B. (2020). Predefined vs data-guided training prescription based on autonomic nervous system variation: A systematic review. *Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(12), 2291–2304. <https://doi.org/10.1111/sms.13802>
- Düking, P., Zinner, C., Trabelsi, K., Reed, J. L., Holmberg, H. C., Kunz, P. & Sperlich, B. (2021). Monitoring and adapting endurance training on the basis of heart rate variability monitored by wearable technologies: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(11), 1180-1192. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.04.012>
- Figueiredo, D. H., Figueiredo, D. H., Moreira, A., Gonçalves, H. R. & Stanganelli, L. C. R. (2019). Effect of Overload and Tapering on Individual Heart Rate Variability, Stress Tolerance, and Intermittent Running Performance in Soccer Players During a Preseason. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(5), 1222–1231. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003127>
- Flatt, A. A. (2012). *Supine vs. Standing HRV Measurement: Is one better than the other?* Recuperado el 14 de abril de 2023, de <https://hrvtraining.com/2012/08/27/supine-vs-standing-hrv-measurement-is-one-better-than-the-other/>
- Flatt, A. A. & Esco, M. R. (2015). Smartphone-derived heart-rate variability and training load in a women's soccer team. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(8), 994–1000. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2014-0556>
- Flatt, A. A. & Esco, M. R. (2016). Evaluating individual training adaptation with smartphone-derived heart rate variability in a collegiate female soccer team. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(2), 378–385. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001095>
- Flatt, A. A., Esco, M. R. & Nakamura, F. Y. (2017). Individual heart rate variability responses to preseason training in high level female soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(2), 531–538. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001482>
- Flatt, A. A., Esco, M. R., Nakamura, F. Y. & Plews, D. J. (2017). Interpreting daily heart rate variability changes in collegiate female soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(6), 907–915. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06322-2>
- Granero-Gallegos, A., González-Quílez, A., Plews, D. & Carrasco-Poyatos, M. (2020). HRV-Based Training for Improving VO_{2max} in Endurance Athletes. A Systematic Review with Meta-

- Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 7999. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217999>
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44(2), 139–147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>
- Hynynen, E., Uusitalo, A., Kontinen, N. & Rusko, H. (2006). Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(2), 313–317. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000184631.27641.b5>
- HRV4Training (s.f.). *Frequently Asked Questions*. Recuperado el 14 de abril de 2023, de <https://www.hrv4training.com/faq.html>
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E. & Marcora, S. M. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 583–592. <https://doi.org/10.1080/02640410400021278>
- Jones, C. M., Griffiths, P. C. & Mellalieu, S. D. (2017). Training Load and Fatigue Marker Associations with Injury and Illness: A Systematic Review of Longitudinal Studies. *Sports Medicine*, 47, 943–974. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0619-5>
- Juárez Santos-García, D., Recuenco Serrano, D., Ponce-Bordón, J. C. & Nobari, H. (2022). Monitoring Heart Rate Variability and Its Association with High-Intensity Running, Psychometric Status, and Training Load in Elite Female Soccer Players during Match Weeks. *Sustainability*, 14(22), 14815. <https://doi.org/10.3390/su142214815>
- King, M. & Duffield, R. (2009). The effects of recovery interventions on consecutive days of intermittent sprint exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1795–1802. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b3f81f>
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., Nissilä, J., Virtanen, P., Karjalainen, J. & Tulppo, M. P. (2010). Daily exercise prescription on the basis of HR variability among men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(7), 1355–1363. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181cd5f39>
- Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J. & Schwartz, P. J. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>
- Manresa-Rocamora, A., Sarabia, J. M., Javaloyes, A., Flatt, A. A. & Moya-Ramón, M. (2021). Heart Rate Variability-Guided Training for Enhancing Cardiac-Vagal Modulation, Aerobic Fitness, and Endurance Performance: A Methodological Systematic Review with Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(19), 10299. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910299>

- Martinmäki, K. & Rusko, H. (2008). Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 102(3), 353–360. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0594-5>
- McCorry, L. K. (2007). Physiology of the autonomic nervous system. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 71(4), 78. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17786266/>
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., Raglin, J., Rietjens, G., Steinacker, J. & Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(1), 186–205. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318279a10a>
- Michael, S., Graham, K. S. & Davis Oam, G. M. (2017). Cardiac Autonomic Responses during Exercise and Post-exercise Recovery Using Heart Rate Variability and Systolic Time Intervals-A Review. *Frontiers in Physiology*, 8, 301. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00301>
- Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L., Altman, D., Booth, A., Chan, A., Chang, S., Clifford, T., Dickersin, K., Gøtzsche, P., Grimshaw, J., Groves, T., Helfand, M., Higgins, J. & Whitlock, E. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*, 4(1). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4320440/>
- Mohr, M., Krstrup, P. & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519–528. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>
- Munoz, M. L., van Roon, A., Riese, H., Thio, C., Oostenbroek, E., Westrik, I., de Geus, E. J., Gansevoort, R., Lefrandt, J., Nolte, I. M. & Snieder, H. (2015). Validity of (Ultra-)Short Recordings for Heart Rate Variability Measurements. *PloS One*, 10(9), e0138921. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138921>
- Muñoz-López, A., Nakamura, F. & Naranjo Orellana, J. (2021). Soccer Matches but Not Training Sessions Disturb Cardiac-Autonomic Regulation During National Soccer Team Training Camps. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 92(1), 43–51. <https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1708843>
- 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*, 36(11), 881–886. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1550047>

- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/BMJ.N71>
- Pichot, V., Busso, T., Roche, F., Garet, M., Costes, F., Duverney, D., Lacour, J. R. & Barthélémy, J. C. (2002). Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(10), 1660–1666. <https://doi.org/10.1097/00005768-200210000-00019>
- Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J. M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., Costes, F., Busso, T., Lacour, J. R. & Barthélémy, J. C. (2000). Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1729–1736. <https://doi.org/10.1097/00005768-200010000-00011>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Le Meur, Y., Hausswirth, C., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2014). Monitoring training with heart rate-variability: how much compliance is needed for valid assessment? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(5), 783–790. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0455>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>
- Plews, D. J., Scott, B., Altini, M., Wood, M., Kilding, A. E. & Laursen, P. B. (2017). Comparison of heart rate variability recording with smart phone photoplethysmographic, Polar H7 chest strap and electrocardiogram methods. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(10), 1324–1328. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0668>
- Rabbani, A., Baseri, M. K., Reisi, J., Clemente, F. M. & Kargarfard, M. (2018). Monitoring collegiate soccer players during a congested match schedule: Heart rate variability versus subjective wellness measures. *Physiology & Behavior*, 194, 527–531. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.07.001>
- Rabbani, A., Clemente, F. M., Kargarfard, M. & Chamari, K. (2019). Match fatigue time-course assessment over four days: Usefulness of the hooper index and heart rate variability in professional soccer players. *Frontiers in Physiology*, 10, 109. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00109>
- Rajendra Acharya, U., Paul Joseph, K., Kannathal, N., Lim, C. M. & Suri, J. S. (2006). Heart rate variability: a review. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 44(12), 1031–1051. <https://doi.org/10.1007/s11517-006-0119-0>

- Ravé, G., Zouhal, H., Boullosa, D., Doyle-Baker, P. K., Saeidi, A., Ben Abderrahman, A. & Fortrat, J. O. (2020). Heart Rate Variability is Correlated with Perceived Physical Fitness in Elite Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 72, 141–150. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7126242/>
- Riva, J. J., Malik, K. M. P., Burnie, S. J., Endicott, A. R. & Busse, J. W. (2012). What is your research question? An introduction to the PICOT format for clinicians. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 56(3), 167-171. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3430448/>
- Shaffer, F. & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*, 5, 258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
- Sherman, S. R., Holmes, C. J., Hornikel, B., MacDonald, H. V., Fedewa, M. V. & Esco, M. R. (2021). Heart-Rate Variability Recording Time and Performance in Collegiate Female Rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(4), 550–556. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2019-0587>
- Stanley, J., Peake, J. M. & Buchheit, M. (2013). Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescription. *Sports Medicine*, 43(12), 1259–1277. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0083-4>
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C. & Wisløff, U. (2005). Physiology of Soccer: An Update. *Sports Medicine*, 35(6), 501-536. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15974635/>
- Stone, J. D., Ulman, H. K., Tran, K., Thompson, A. G., Halter, M. D., Ramadan, J. H., Stephenson, M., Finomore Jr., V. S., Galster, S. M., Rezai, A. R. & Hagen, J. A. (2021). Assessing the Accuracy of Popular Commercial Technologies That Measure Resting Heart Rate and Heart Rate Variability. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 585870. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.585870>
- Wu, L., Shi, P., Yu, H. & Liu, Y. (2020). An optimization study of the ultra-short period for HRV analysis at rest and post-exercise. *Journal of Electrocardiology*, 63, 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2020.10.002>