

**USO DE LA VARIABILIDAD DE LA  
FRECUENCIA CARDIACA PARA LA  
EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN FÍSICA.**

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

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ**



**CURSO ACADÉMICO 2024**

**Alumno/a: Joel Villaverde Rodríguez.**

**Tutor académico: Alejandro Javaloyes Torres.**

## ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
METODOLOGÍA.....	5
DESARROLLO.....	8
DISCUSIÓN.....	15
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.....	18
BIBLIOGRAFÍA.....	20



## INTRODUCCIÓN

En el entrenamiento sistemático y programado a largo plazo se realiza un amplio rango de intensidades y duraciones. Desde muchas horas a baja intensidad hasta un intervalo más breve a alta intensidad. Los esfuerzos predominantemente oxidativos están separados por tres zonas de intensidad, que nos permite detectar ciertos puntos fisiológicos (Rogers et al., 2021) . La primera zona está delimitada por el primer umbral ventilatorio o láctico. La segunda zona está delimitada por el segundo umbral ventilatorio o láctico, el máximo estado estable de lactato, o el punto de respiración compensatorio (Gronwald et al., 2021). El umbral aeróbico y anaeróbico detectado en el modelo trifásico son utilizados para evaluar la intensidad y optimizar la carga de entrenamiento. La evaluación de estos umbrales es obtenida tradicionalmente a través del intercambio gaseoso o a partir de la concentración de lactato en sangre (Kanniainen et al., 2023). Sin embargo, estos métodos de evaluación son costosos, invasivos y menos accesibles (Nascimento et al., 2019). Además, muchos de los datos obtenidos dependen de factores como el protocolo de la prueba incremental o la interpretación visual (Rogers et al., 2021).

Por ello, se estudia la validación de otros tipos de métodos, como la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC/ HRV en inglés), que tratan de medir la respuesta al ejercicio físico. La HRV se presenta como una herramienta válida para comprobar la regulación autónoma cardíaca, que puede reflejar adaptaciones positivas o negativas en programas de entrenamientos (Javaloyes et al., 2020a). Algunas evidencias demuestran que los esfuerzos y su relación con la respuesta cardiovascular está asociada con la aptitud física (Castillo-Aguilar et al., 2023).

La HRV es una medida fisiológica, basada en la relación entre la intensidad del ejercicio y la regulación del sistema nervioso autónomo (Mateo-March et al., 2023). Existen distintos tipos de medidas, dependiendo del tiempo y la frecuencia (Kanniainen et al., 2023). La HRV se considera como la variación de tiempo existente entre los intervalos R-R o tiempo entre latidos del corazón, medido a través de electrocardiograma (ECG). Estas desviaciones entre los intervalos R-R marca la salud del sistema nervioso autónomo (Claiborne et al., 2021). Con la HRV es posible realizar una evaluación del equilibrio del sistema nervioso autónomo, entre la rama parasimpática, durante condiciones de descanso y ejercicio de baja intensidad, y la rama simpática, con un aumento de la carga de entrenamiento. Además, se puede evaluar la intensidad del ejercicio a través de dispositivos portátiles de bajo costo (Mateo-March et al., 2023).

La HRV ha sido utilizada para prescribir entrenamiento en carrera a pie, cross-country, sky y ciclismo (Javaloyes et al., 2020a). Normalmente, la HRV se ha utilizado en el entrenamiento aeróbico, con ciertas características de deportistas de resistencia correlacionadas directamente con algunos factores de la variabilidad (Claiborne et al., 2021). Tener en cuenta la adaptación del organismo sobre el entrenamiento, gracias al monitoreo diario de la HRV, es muy importante porque nos permite conseguir una mejor condición física y, por ende, un mayor rendimiento deportivo (Javaloyes et al., 2020b).

Desde que los umbrales son un buen índice para entrenar de manera más exacta y, por tanto, determinar el rendimiento del deporte de resistencia, el interés de proponer diferentes métodos para estimar dichas intensidades ha aumentado (Nascimento et al., 2019). Encontramos métodos de análisis de dominio de tiempo, como el SDNN y RMSSD (Latorre-Román et al., 2022), métodos de dominio de frecuencia, como LF y HF (Latorre-Román et al., 2022), métodos de análisis no lineales, como DFA (Mateo-March et al., 2023) y Poincaré (Rogers et al., 2021), y métodos gráficos, como  $D_{max}$  (Nascimento et al., 2019).

Pero, hay uno que presenta gran relación con los umbrales ventilatorios, que evalúa cambios fisiológicos a largo plazo (Mateo-March et al., 2023). Este método se denomina "Detrended Fluctuation Analysis" (DFA  $\alpha_1$ ) (Gronwald et al., 2021), que detecta AeT y podría estar asociado con AnT (Rogers et al., 2021). El objetivo de esta herramienta es la detección de umbrales y diferenciar las distintas demandas fisiológicas durante el entrenamiento de resistencia (Mateo-March et al., 2023). Se ha observado que DFA  $\alpha_1$  cambia con el entrenamiento de resistencia. La ventaja que nos da es que nos proporciona información sobre la intensidad del ejercicio al momento, sin ninguna prueba de lactato o intercambio de gases. Además, se ha demostrado que la variabilidad es alterada cuando las tasas de trabajo aumentan por lo que permite una mejor información a la hora de distribuir las intensidades de entrenamiento (Gronwald et al., 2021).

Sin embargo, aparecen distintos interrogantes. La HRV tiene distintos puntos débiles. La variabilidad puede tener gran impacto por una mala señal o por la arritmia cardiaca. Una solución podría ser la combinación de dos métodos que estudian dos paradigmas que puedan integrar el resultado. Por ejemplo, se ha encontrado una buena concordancia entre la frecuencia respiratoria (EDR) derivada del electrocardiograma (ECG) y los valores de intercambio de gases. Su relación se ha evaluado con éxito para la obtención de umbrales. En cambio, se estudia si DFA  $\alpha_1$  y la frecuencia respiratoria podrían reflejar los mismos fundamentos fisiológicos subyacentes. Ya que, la unión de ambos parámetros podría

realizar una estimación de estos más exacta (Rogers et al., 2023a). El análisis de la HRV y la extracción de la señal respiratoria por ECG son un camino correcto para obtener el pulso cardiaco. Pero, se estudia si la fotopletimografía es una tecnología válida para medir el pulso, ya que se ha convertido en un medio para alternativo para el análisis de la HRV (Jan et al., 2019).

Dado lo prometedor que parece ser esta variable, así como los avances en el registro de la misma y la creciente literatura científica sobre este concepto, es necesario revisar los distintos métodos de análisis de la HRV para poder evaluar la condición física. Además de su validación para detectar umbrales con otro tipo de protocolos (Kanniainen et al., 2023). Por tanto, el objetivo del presente trabajo final de grado será la revisión sistemática sobre la utilización de la HRV para la estimación de umbrales fisiológicos y zonas de intensidad con el fin de poder evaluar la condición física en población saludable.



## METODOLOGÍA

### 2.1. Criterios de elegibilidad.

Los artículos incluidos en la revisión sistemática tuvieron que cumplir con los siguientes criterios: (a) Redactados en inglés; (b) Utilización de la variabilidad de la frecuencia cardiaca para evaluar; (c) Comparación con otros modelos de evaluación de la condición física; (d) Que no vaya dirigido a un ámbito sanitario; (e) Población sana; (f) Población deportista.

### 2.2. Fuentes de información.

Se realizó una búsqueda de bibliografía en las bases de datos de Scopus y PubMed entre el mes de enero y febrero de 2024. Además, se realizó una ampliación de la búsqueda en marzo para observar si se añadieron artículos nuevos de interés.

En la base de datos de PubMed se siguió una búsqueda con los siguientes booleanos: (((HRV) OR (heart rate variability)) AND (evaluation)) AND (threshold). Mientras que en Scopus se utilizaron los siguientes: "HRV" OR "Heart rate variability" AND "Evaluation" AND "threshold" not "disease" AND PUBYEAR > 2018 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Human" ) ) AND ( LIMIT-TO ( SRCTYPE , "j" ) ). Incluyendo los campos de búsqueda de "Title", "Abstract" y "Keywords".

### 2.3. Estrategia de búsqueda.

La búsqueda de las bases de datos se realizó en dos webs de búsqueda, tanto en Chrome como en Edge. Además, se aplicaron filtros para realizar una búsqueda más precisa y avanzada: (a) Limitado a humanos; (b) Limitado a "Journals"; (c) Comprendidos entre 2019 – 2024.

### 2.4. Proceso de selección de estudios.

En cuanto a la selección de estudios, primero se realizó una lectura de los títulos de todos los artículos de las bases de datos que tuviesen que ver con la variabilidad de la frecuencia cardiaca y su utilización para la evaluación de la condición física.

Posteriormente, en aquellos trabajos científicos donde existía alguna duda de selección, se hizo una revisión del "abstract", para poder seleccionarlo o no.

Por último, una vez seleccionados, se utilizó el software de "Mendeley" (versión 1.19.4, Elsevier) para guardarlos.

Para la elección de artículos, además, se tuvo en cuenta que no tuviesen relación con enfermedades y que fuese en población deportista.

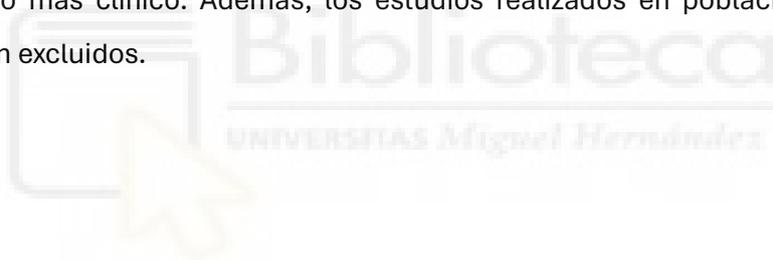
#### **2.5. Proceso de extracción de datos.**

Para la recogida de datos, se utilizó el mismo software de “Mendeley” (versión 1.19.4, Elsevier) para eliminar duplicados.

Por último, se hizo una revisión de los títulos y “abstract” de los artículos escogidos para observar si cumplían con los criterios establecidos.

#### **2.6. Métodos de síntesis.**

Al inicio de la búsqueda, los artículos encontrados estaban redactados todos en inglés. Se incluyeron también todos aquellos que estudiaban la HRV como herramienta para la evaluación del deportista. También se incluyeron aquellos que realizaban comparaciones de métodos de evaluación. Sin embargo, uno de los criterios de exclusión fue si los participantes no eran sujetos sanos. La mayoría de los trabajos científicos se desarrollaban en un contexto más clínico. Además, los estudios realizados en población sedentaria también fueron excluidos.



## 2.7. Resultados.

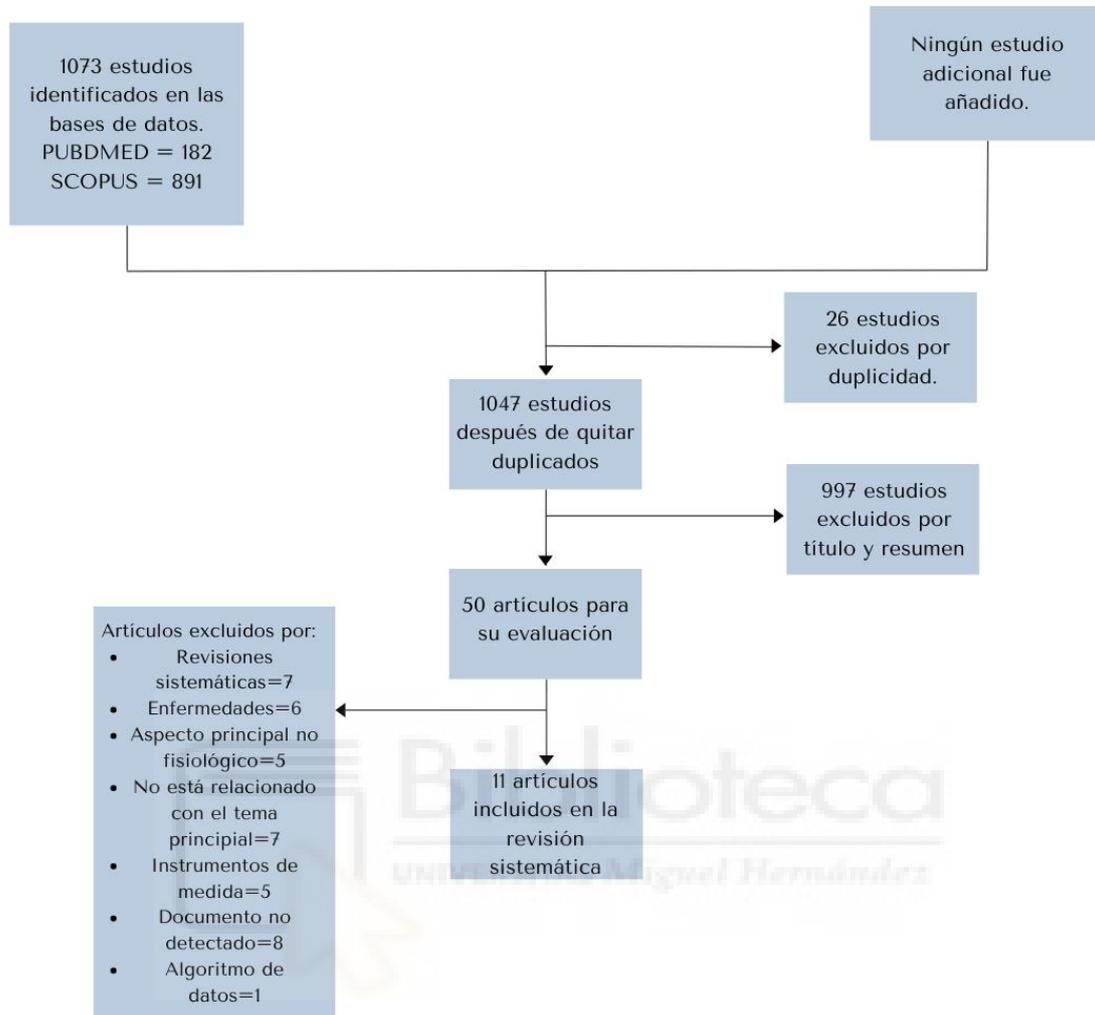


Figura 1. Diagrama de flujo de la selección de estudios incluidos en la revisión.

## DESARROLLO

Tabla 1. Características de los estudios incluidos en la revisión.

ESTUDIO	MUESTRA	DURACIÓN DE LA INTERVENCIÓN	MÉTODO (PROTOCOLO)	VARIABLES FISIOLÓGICAS Y DE RENDIMIENTO	INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
(Nascimento et al., 2019)	Corredores masculinos de larga distancia (30.4 ± 4.0 años) (N=19)	2 test incrementales con una separación de 3 – 7 días.	Realización de un MIRT. -3 minutos de calentamiento a 5 km/h y 1% de pendiente. -Comienzo de escalones de 3 minutos a los 8 km/h, con un incremento de 1 km/h por escalón. -Toma de lactato en los últimos 30seg de cada escalón.	HRVT <sub>dmax1</sub> . HRVT <sub>dmax2</sub> . LT <sub>1</sub> . LT <sub>2</sub> .	Pulsómetro Polar S810. YSI 1500. Treadmill CEFISE TK35.	El método D <sub>máx</sub> aplicado sobre HRV es viable para detectar umbrales. No presenta diferencias respecto al LT <sub>1</sub> . Sin embargo, no fue así en LT <sub>2</sub> . Destaca que el HRV es útil teniendo en cuenta respuestas individuales.

			-Toma de la frecuencia cardiaca durante los 20 min antes y durante la prueba.			
<b>(Kanniainen et al., 2023)</b>	Voluntarios sanos de 22 – 44 años. (N=15)	Duración del test de esfuerzo.	-5 minutos de calentamiento.  -Escalones de 3 minutos incrementando 20-30 W.  -Comienzo entre 40-120 W.	VT <sub>1</sub> -LT <sub>1</sub> VT <sub>2</sub> -LT <sub>2</sub> RRI DFA $\alpha_1$	Ciclo ergómetro Monark LC4. Polar H10. Lancetas. Lactacidímetro EFK Biosen C-line Clinic. Cosmed Quark CPET.	El método DFA es útil para determinar zonas fisiológicas y umbrales. Pero, presenta limitaciones con determinadas poblaciones.
<b>(Rogers et al., 2023b)</b>	Hombres activos (N=12). Mujeres activas (N=9).	Duración de la prueba de esfuerzo.	-3 minutos de calentamiento a 50 W.  -Incremento de 1 W cada 3.6s.  -La prueba termina cuando no puede mantener, como	VT <sub>1</sub> -LT <sub>1</sub> . VT <sub>2</sub> -LT <sub>2</sub> . DFA $\alpha_1$ . EDRT.	Kubios HRV. Analizador Quark CPET. Sensor Médico Movesense.	La utilización de dos metodologías (HRV y EDR) que representan dos sistemas fisiológicos distintos nos permite reducir el coste y mejorar la precisión en la demarcación de las zonas de intensidad de ejercicio.

			mínimo, 60 rpm de cadencia.			
<b>(Rogers et al., 2021)</b>	Hombres runners de entre 19-52 años (N=17).	3h después de la comida.	-Comienzo con 2.7km/h al 10%.  -Incrementando 1.3km/h y 2% cada 3 minutos.	VT <sub>2</sub> . HRVT <sub>2</sub> . DFA $\alpha_1$ .	Cinta de correr. CPET. Polar H7.	La determinación del DFA $\alpha_1$ permite detectar los umbrales de entrenamiento, evitando realizar ejercicio de alta intensidad. Aunque, se recomienda validación adicional en mujeres y con otros dispositivos de grabación.
<b>(Gronwald et al., 2021)</b>	Hombre triatleta olímpico (N=1).	3 protocolos en intervalos de 1 semana.	-Classic stage test: Empieza 80 W con incrementos de 20 W cada 4 minutos.  -6 min stage test: Empieza 160 W incrementando 30 W cada 6 minutos.  -1h training session: 30 minutos libres por debajo de umbral	DFA $\alpha_1$ HRVT.	Cicloergómetro. Polar H10. Kubios HRV.	Validación de DFA $\alpha_1$ para monitorizar la intensidad del ejercicio en tiempo real.

			aeróbico, luego 3 series de 6min, 20W por debajo de umbral aeróbico, en el mismo y 20W por encima.			
<b>(Jan et al., 2019)</b>	Sujetos sanos (N=30)	5 tareas respiratorias de 5 min cada una.	Se incluyeron distintas tareas respiratorias a realizar (NPB, RPB, SDB, RSB, SSB). Entre las distintas tareas, aparecen fases de descanso donde respiraban libremente.	HRV. PRV. FR.	Sistema de polisomnografía (Alice 6LDx, Philips). ECG. PPG. Software personalizado.	El PPG puede ser válido para monitorear la FC en situaciones estables. Pero, no es suficientemente fiable para evaluar la HRV en tareas donde haya una manipulación respiratoria. Sin embargo, la respiración tiene gran relación con la HRV.
<b>(Claiborne et al., 2021)</b>	Atletas universitarios, clasificados en deportes explosivos, aeróbicos o mixtos (N=176).	10 meses	Mide el HRV durante 10 minutos, sentados y tranquilos en una sala. Para observar su relación con el deporte, se realizaron 8 regresiones lineales por pasos, modelados	HRV. SDNN. RMSSD. pNN50 (%) LF y HF Relación LF/HF SD1 SD2 BW	ECG: 2 electrodos y Kubios HRV 2.2. SD1 y SD2	El entrenamiento explosivo y aeróbico puede tener efectos similares sobre la función autonómica cardíaca en atletas. Además, destaca la influencia de la raza en las medidas de HRV.

			por cada una de las medidas de HRV.	BMI BF%		
<b>(Latorre-Román et al., 2022)</b>	Corredores de resistencia (N=50).	2 años.	10 min: HRV in resting. 5-10 min: Calentamiento. 5 min: Movilidad. 3km: Time trial. 10 min: HRV recovery.	HRV. HR <sub>peak</sub> . RHR. HRR.	Firstbeat bodyguard 2.	La edad, el sexo, la condición física o las características antropométricas no mostraron una influencia relevante en la modulación autonómica cardiovascular en corredores máster. Destaca la importancia de la HRV para evaluar la salud cardiovascular en esta población.
<b>(Castillo-Aguilar et al., 2023)</b>	Personas mayores (N=105).	Un mismo día (test-retest study).	Primera medida: 9am-10am. Segunda medida: 3h más tarde. 2 min Step Test: Elevaciones de rodillas (>70°) en 2 minutos.	HRV. TMST. RRMSSD. SDNN. SP y DP. HF, LF y VLF. SI, PNS y SNS.	Monitor de composición corporal Tanita BC-558. Polar Team <sub>2</sub> system. Kubios HRV.	El ejercicio moderado no alteró los índices de HRV entre las dos pruebas. Evidencia moderada-fuerte para el uso del HRV en la medición de la respuesta autonómica cardíaca al ejercicio moderado.

<b>(Javaloyes et al., 2020a)</b>	Ciclistas (N=20).	8 semanas	Se crearon dos grupos de entrenamiento. Uno basado en la periodización por bloques y otro en la HRV.	HRV. VT <sub>1</sub> . VT <sub>2</sub> . VO <sub>2</sub> máx. PPO.	HRV4Training.	Resalta la utilidad de la HRV para modificar y personalizar programas de entrenamiento. Así, optimizando el rendimiento en ciclistas entrenados.
<b>(Mateo-March et al., 2023)</b>	Ciclistas élites masculinos (N=38).	Día de la prueba.	-Warm up: 5min – 50w.  -Escalones: +25w/min.	HRV. DFA $\alpha_1$ DFA $\alpha_{0,75}$ DFA $\alpha_{0,5}$	Lactate Pro 2. Garmin Edge 1000. Polar H10.	DFA $\alpha_{0,75}$ es una herramienta útil para detectar el LT <sub>1</sub> . Mientras que DFA $\alpha_{0,5}$ muestra diferencias con LT <sub>2</sub> . Como conclusión, DFA $\alpha_1$ puede ser una herramienta no invasiva para detectar umbrales de entrenamiento.

**Nota:**LT<sub>1</sub>: First Lactate Threshold (AeT), traducido al español: Primer umbral de lactato; LT<sub>2</sub>: Second Lactate Threshold, traducido al español: Segundo umbral de lactato; HRV: Heart rate variability, traducido al español: Variabilidad de la frecuencia cardíaca; HRVT<sub>1</sub>: First heart rate variability threshold, traducido al español: Primer umbral de la variabilidad de la frecuencia cardíaca; HRVT<sub>2</sub>: Second heart rate variability threshold, traducido al español: Segundo umbral de la variabilidad de la frecuencia cardíaca; HRVT<sub>1Dmáx</sub>: First D<sub>máx</sub> threshold, traducido al español: Primer umbral D<sub>máx</sub>; HRVT<sub>2Dmáx</sub>: Second D<sub>máx</sub> threshold, traducido al español: Segundo umbral D<sub>máx</sub>; VT<sub>1</sub>: First ventilatory exchange, traducido al español: Primer umbral ventilatorio; VT<sub>2</sub>: Second ventilatory exchange, traducido al español: Segundo umbral ventilatorio; RRI: R-R Interval, traducido al español: Intervalo R-R; EDRT: Respiratory frequency threshold, traducido al español: Umbrales derivados de la frecuencia respiratoria; PRV: Pulse rate variability, traducido al español: Variabilidad de la tasa de pulso; FR: Respiratory frequency, traducido al español: Frecuencia respiratoria; SDNN: Standard deviation of time between R waves, traducido al español: Desviación estándar de los intervalos R-R; RMSSD: Root mean square of the standard deviation of NN Interval variation, traducido al español: Raíz cuadrada de la media del cuadrado de las diferencias sucesivas entre latidos normales; pNN 50 (%): Percent of successive NN Interval varying greater than 50 ms in duration from each other, traducido al español: Porcentaje de intervalos sucesivos NN que difieren por más de 50 ms; LF: Low frequency power, traducido al español: Potencia de baja frecuencia; HF: High frequency power, traducido al español: Potencia de alta frecuencia; VLF: Very low frequency power, traducido al español: Potencia de muy baja frecuencia; LF/HF: The balance of LF and HF power, indicating balance of resting cardiac autonomic control between sympathetic, traducido al español: Indicador del balance simpático-vagal; RHR: Resting heart rate, traducido al español: Frecuencia cardíaca de reposo.; HR<sub>peak</sub>: Heart rate peak, traducido al español: Pico de frecuencia cardíaca; HRR: Heart rate recovery, traducido al español: Recuperación de la frecuencia cardíaca; SP: Systolic Pressure, traducido al

español: Presión sistólica; DP: Diastolic Pressure, traducido al español: Presión diastólica; SI: Stress Index, traducido al español: Índice de estrés; PNS: Parasympathetic Nervous System Index, traducido al español: Índice del sistema nervioso parasimpático; SNS: Sympathetic Nervous System Index, traducido al español: Índice del sistema nervioso simpático;  $VO_{2\text{máx}}$ : Maximum oxygen uptake, traducido al español: Consumo máximo de oxígeno; PPO: Peak Power Output, traducido al español: Desarrollo de la máxima potencia; DFA  $\alpha_1$ : Detrended fluctuation analysis, traducido al español: Análisis de la tendencia de fluctuación; MIRT: Maximal incremental running test, traducido al español: Prueba de carrera incremental máxima; SD1: In a Poincaré plot, the longitudinal range of all NN intervals in a recording; SD2: In a Poincaré plot, the latitudinal range of each successive NN intervals in a recording; BW: Body Weight, traducido al español: Peso corporal; BMI: Body Mass Index, traducido al español: Índice de masa corporal; BF%: Body Fat Percentage, traducido al español: Porcentaje de grasa corporal.



## DISCUSIÓN

La presente revisión sistemática tuvo como objetivo principal determinar la validez de la utilización de la variabilidad de la frecuencia cardiaca para determinar umbrales fisiológicos y zonas de intensidad, a partir de distintas pruebas de investigación científicas controladas a población deportista y saludable.

La mayoría de las investigaciones tienen en común que se realiza una prueba incremental maximal a través de un cicloergómetro o cinta de correr. Aparecen pruebas ventilatorias (CPET), donde se pueden obtener distintas variables, como umbrales ventilatorios ( $VT_1/VT_2$ ) y consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2\text{máx}}$ ), mientras que en las pruebas de lactato podemos encontrar los distintos umbrales, también. Además, hay distintas investigaciones que combinan variables fisiológicas.

Se observó que el entrenamiento prescrito a partir de la HRV, fácil de medir a través de distintos dispositivos (Kannianen et al., 2023), tiene mejores respuestas en el rendimiento deportivo en comparación que una periodización por bloques (Javaloyes et al., 2020a).

Además, se estudia la fluctuación de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (DFA), que es una escala utilizada para el análisis de la HRV, que sirve para determinar las zonas de intensidad y umbrales fisiológicos. Aparecen investigaciones donde expresan que el método DFA es útil para detectar estas zonas y umbrales en tiempo real (Gronwald et al., 2021). Sin embargo, otros autores expresan que presenta distintas limitaciones con determinadas poblaciones, como en mujeres, y la falta de su estudio con otros dispositivos de grabación (Rogers et al., 2021). Además de ser un método más subjetivo, debido a la falta de estandarización de la selección de la región declinada de la escala  $\alpha_1$  (Kannianen et al., 2023).

Además, se realiza una profundización del método DFA en ciclistas, diferenciando entre DFA  $\alpha_{0,75}$  y DFA  $\alpha_{0,5}$  (Mateo-March et al., 2023). El resultado fue que la potencia y los valores de frecuencia cardiaca derivadas de los umbrales obtenidos por DFA  $\alpha_1$  obtuvieron grandes niveles de validación con el primer umbral láctico ( $LT_1$ ) (Gronwald et al., 2021). Específicamente, es DFA  $\alpha_{0,75}$  quien no presenta ninguna diferencia de potencia y frecuencia cardiaca si lo comparamos con  $LT_1$ . En cuanto al segundo umbral, se obtienen pequeñas diferencias cuando aplicamos DFA  $\alpha_{0,5}$  para detectar el segundo umbral láctico ( $LT_2$ ). Cuando aplicamos DFA  $\alpha_{0,5}$  para delimitar las zonas de entrenamiento, estaríamos reduciendo la intensidad (Mateo-March et al., 2023). Sin embargo, otro estudio expresa que

el valor de DFA  $\alpha_{0,5}$  se asocia fuertemente con  $VT_2$  y que podría utilizarse para determinar la intensidad del entrenamiento. Esta validación se debe a que, las diferencias obtenidas entre  $VT_2$  y DFA  $\alpha_{0,5}$  no son significativas (-4 latidos por minutos). Se menciona el valor DFA  $\alpha_{0,48}$ , observado en otro estudio, que apoya que valores cercanos a DFA  $\alpha_{0,5}$  podrían ser indicativos de  $VT_2$ . Por lo que se refuerza la utilidad de este parámetro como marcador fiable del umbral anaeróbico (Rogers et al., 2021).

Cabe destacar, también, la intensidad del programa de entrenamiento. Aparecen distintas investigaciones científicas que estudian el efecto de diferentes intensidades sobre la función autónoma. Por ejemplo, aparecen efectos similares sobre la función autónoma cardiaca en entrenamientos explosivos y aeróbicos (Claiborne et al., 2021). Otra investigación hace hincapié sobre la utilidad de la HRV para la personalización de programas de entrenamientos para optimizar el rendimiento deportivo (Javaloyes et al., 2020a).

Sin embargo, aparecen distintas poblaciones para tener en cuenta a la hora de utilizar la variabilidad de la frecuencia cardiaca para dicho objetivo. Destaca la influencia de la raza, con atletas afroamericanos estableciendo una mejor función cardiovascular (Claiborne et al., 2021). Por otra parte, no se mostraron diferencias significativas entre sexos cuando hablamos de función autónoma, excepto en reposo, que las mujeres mostraron valores más bajos en la desviación estándar entre los intervalos R-R, esto se debe a los efectos de las hormonas masculinas y femeninas (Latorre-Román et al., 2022). Aun así, según este estudio, la edad, el sexo, la condición física o las características antropométricas no mostraron una influencia relevante en la función autónoma (Latorre-Román et al., 2022). Además, los resultados evidencian que el entrenamiento moderado no altera los índices de HRV sobre la población mayor. Esto expresa que el HRV es una herramienta válida para estudiar la respuesta de la función autónoma sobre las personas mayores (Castillo-Aguilar et al., 2023).

Además, el estudio de la HRV con otras medidas establece distintas conclusiones. Aparece una coherencia clara entre la tasa de pulso y de corazón con la respiración controlada y espontánea. Sin embargo, si se compara los índices de variabilidad durante la respiración controlada, se pueden encontrar diferencias significativas. Por lo que, los dispositivos basados en la fotopletismografía no se pueden utilizar como una herramienta precisa para determinar la HRV, por lo que, debemos tener en cuenta el tipo de respiración

al evaluar la HRV. Concluye que la medición de la HRV basada en ECG establece resultados más precisos (Jan et al., 2019).

No obstante, aunque aparezcan distintas formas de evaluar la condición física, la utilización completa de varias metodologías permite mejorar el establecimiento de las zonas de intensidad. Esto se debe a que, al estudiar distintos sistemas fisiológicos en un mismo organismo, tendremos una información más completa y demarcada para determinar los hitos fisiológicos (Rogers et al., 2023b).



## PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.

Debido a las distintas opiniones y formas de evaluar la condición física, en esta revisión sistemática se propone la siguiente forma de intervención, con el objetivo de optimizar el rendimiento en deportistas mediante la identificación de umbrales a través de la variabilidad de la frecuencia cardiaca. Gracias a dicha identificación, nos permite ajustar la intensidad del entrenamiento, un entrenamiento polarizado con zonas de trabajo, evitando el sobreentrenamiento, y la revisión y ajuste de cargas constante.

Como se sabe, los métodos de intercambio de gases y la obtención de lactato se podrían considerar como los gold estándar. Sin embargo, se ha comentado que estos procesos son costosos e invasivos. En esta revisión sistemática se ha observado que el método de la variabilidad de la frecuencia cardiaca es un método válido para detectar umbrales. La variabilidad de la frecuencia cardiaca, junto con la escala DFA, es una herramienta esencial para el proceso de entrenamiento, ya que, nos permite ejercer un seguimiento más constante y con información al momento para poder tomar decisiones. No obstante, requiere una gran capacitación y experiencia, al ser una variable tan subjetiva.

En cuanto al primer umbral, podemos utilizar los valores de frecuencia cardiaca (FC) obtenidos en DFA  $\alpha_{0,75}$ , ya que, en todos los casos estudiados, se observan grandes niveles de validación y acuerdos comparado con el primer umbral láctico ( $LT_1$ ).

Sin embargo, con el segundo umbral no ocurre lo mismo. Aparecen diferencias entre el umbral detectado por la variabilidad y segundo umbral. DFA  $\alpha_{0,5}$  presenta una pequeña distinción con el 2º umbral detectado con el intercambio de gases (CPET). Aunque, aparentemente, no haya correlación, la diferencia no es tan grande. Se estudia que DFA  $\alpha_{0,48}$  sea el punto exacto.

Es por ello que, DFA  $\alpha_1$  es una escala útil para el objetivo de esta revisión sistemática, ya que DFA  $\alpha_{0,75}$  concuerda a la perfección, mientras que en DFA  $\alpha_{0,5}$  las diferencias no son tan grandes.

Además, el problema de las distintas poblaciones para utilizar este método también aparece. Aunque, no aparecen diferencias significativas entre sexos, edad, condición física ni características antropométricas, pero sí entre razas. Siempre y cuando estemos hablando de entrenamiento moderado. Aun así, debemos tener en cuenta con que tipo de población estamos trabajando. No debemos comparar entre distintas personas. Ya que cada organismo tiene su propia función cardiovascular y características.

En cuanto al tipo de entrenamiento, podemos destacar que, independientemente de que hablemos de un entrenamiento explosivo o de resistencia, el efecto sobre la función autónoma cardíaca es similar. Por lo que nos ayudará a utilizarla para seguir y establecer cualquier programa para conseguir un mayor rendimiento.

Aunque, la utilización de distintos métodos que estudian diferentes rasgos fisiológicos parece dar una información todavía más clara. Por ejemplo, la utilización de la frecuencia respiratoria (EDR) con la variabilidad de la frecuencia cardíaca nos permite una mejor estimación de umbrales de intensidad del ejercicio. El EDR nos permite estimar la frecuencia respiratoria a partir del electrocardiograma. Se basa en los cambios que se produce en la respiración. Esto, nos permitiría complementar la información obtenida por el HRV para proporcionar una evaluación completa. Dado que la combinación de distintos biomarcadores ha mostrado buenos resultados, se deberían de desarrollar protocolos para poder optimizar la prescripción de entrenamientos, además de su monitorización. Esto, ayudará a mejorar su rendimiento y recuperación.

Como conclusión, podríamos utilizar la variabilidad de la frecuencia cardíaca. Pero, además, completaríamos la información con alguna otra herramienta que mida otro rasgo fisiológico para poder tener una información aún más clara. Además, de cara a próximas investigaciones, es necesario realizar más estudios que validen estos métodos con poblaciones diversas. También, será de utilidad comparar en una población con la misma de edad pero distintas condiciones físicas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Castillo-Aguilar, M., Mabe Castro, M., Mabe Castro, D., Valdés-Badilla, P., Herrera-Valenzuela, T., Guzmán-Muñoz, E., Lang, M., Niño Méndez, O., & Núñez-Espinosa, C. (2023). Validity and Reliability of Short-Term Heart Rate Variability Parameters in Older People in Response to Physical Exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph20054456>
- Claiborne, A., Alessio, H., Slattery, E., Hughes, M., Barth, E., & Cox, R. (2021). Heart rate variability reflects similar cardiac autonomic function in explosive and aerobically trained athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(20). <https://doi.org/10.3390/ijerph182010669>
- Gronwald, T., Berk, S., Altini, M., Mourot, L., Hoos, O., & Rogers, B. (2021). Real-Time Estimation of Aerobic Threshold and Exercise Intensity Distribution Using Fractal Correlation Properties of Heart Rate Variability: A Single-Case Field Application in a Former Olympic Triathlete. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 668812. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.668812>
- Jan, H.-Y., Chen, M.-F., Fu, T.-C., Lin, W.-C., Tsai, C.-L., & Lin, K.-P. (2019). Evaluation of Coherence Between ECG and PPG Derived Parameters on Heart Rate Variability and Respiration in Healthy Volunteers With/Without Controlled Breathing. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 39(5), 783–795. <https://doi.org/10.1007/s40846-019-00468-9>
- Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., Plews, D., & Moya-Ramon, M. (2020a). Training Prescription Guided by Heart Rate Variability Vs. Block Periodization in Well-Trained Cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(6), 1511–1518. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003337>
- Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., Plews, D., & Moya-Ramon, M. (2020b). Training Prescription Guided by Heart Rate Variability Vs. Block Periodization in Well-Trained Cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(6), 1511–1518. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003337>
- Kanniainen, M., Pukkila, T., Kuisma, J., Molkari, M., Lajunen, K., & Räsänen, E. (2023). Estimation of physiological exercise thresholds based on dynamical correlation properties of heart rate variability. *Frontiers in Physiology*, 14, 1299104. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1299104>
- Latorre-Román, P. Á., García-Pinillos, F., Sánchez, J. S., Jiménez, M. M., Huete, V. S., Redondo, M. M., Vela, J. A., & Párraga-Montilla, J. A. (2022). A New Approach for Evaluation of Cardiovascular Fitness and Cardiac Responses to Maximal Exercise Test in Master Runners: A Cross-Sectional Study. *Journal of Clinical Medicine*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/jcm11061648>
- Mateo-March, M., Moya-Ramón, M., Javaloyes, A., Sánchez-Muñoz, C., & Clemente-Suárez, V. J. (2023). Validity of detrended fluctuation analysis of heart rate variability to determine intensity thresholds in elite cyclists. *European Journal of Sport Science*, 23(4), 580–587. <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2047228>

- Nascimento, E. M. F., Antunes, D., do Nascimento Salvador, P. C., Borszcz, F. K., & de Lucas, R. D. (2019). Applicability of Dmax Method on Heart Rate Variability to Estimate the Lactate Thresholds in Male Runners. *Journal of Sports Medicine (Hindawi Publishing Corporation)*, 2019, 2075371. <https://doi.org/10.1155/2019/2075371>
- Rogers, B., Giles, D., Draper, N., Mourot, L., & Gronwald, T. (2021). Detection of the anaerobic threshold in endurance sports: Validation of a new method using correlation properties of heart rate variability. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/jfmk6020038>
- Rogers, B., Schaffarczyk, M., & Gronwald, T. (2023a). Improved Estimation of Exercise Intensity Thresholds by Combining Dual Non-Invasive Biomarker Concepts: Correlation Properties of Heart Rate Variability and Respiratory Frequency. *Sensors*, 23(4). <https://doi.org/10.3390/s23041973>
- Rogers, B., Schaffarczyk, M., & Gronwald, T. (2023b). Improved Estimation of Exercise Intensity Thresholds by Combining Dual Non-Invasive Biomarker Concepts: Correlation Properties of Heart Rate Variability and Respiratory Frequency. *Sensors*, 23(4). <https://doi.org/10.3390/s23041973>

