



Protocolos de ejercicio y procedimientos de análisis para evaluar el punto de deflexión del ritmo cardíaco en atletas: una revisión sistemática

Exercise protocols and analytical procedures for assessing the heart rate deflection point in athletes: a systematic review

Corral-Castillo, DA^{2AC}; Morales-Flores, K^{2BC}; Amaro-Gahete, FJ^{3-5AC}; Armendariz-Ostos, P^{2BC}; Hernández-Lepe, MA^{6ACE}; Chávez-Guevara, IA^{1A,C,D,F}

¹ Facultad de Deportes Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California, México. danna.corral@uabc.edu.mx

² Laboratorio Nacional Conahcyt de Nutrición y Metabolismo Energético, Tijuana, México.

³ Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. al172323@alumnos.uacj.mx; al172361@alumnos.uacj.mx

⁴ Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, Granada, España. amarof@go.ugr.es

⁵ Instituto de Investigación Biosanitaria, ibs. Granada, Granada, España.

⁶ Centro de Investigación Biomédica en Red Fisiopatología de la Obesidad y Nutrición (CIBERObn), Instituto de Salud Carlos III, Madrid, España.

⁷ Facultad de Medicina y Psicología, Universidad Autónoma de Baja California, México. marco.hernandez.lepe@uabc.edu.mx

Responsabilidades. (A Diseño de la investigación; B Recolector de datos; C Redactor del trabajo; D Tratamiento estadístico; E Apoyo económico; F Idea original y coordinador de toda la investigación)

Recibido el 20 de diciembre de 2024

Aceptado el 22 de abril de 2024

DOI: 10.24310/riccafd.14.1.2025.21060

Correspondencia: Dr. Isaac Armando Chávez Guevara.

isaac.chavez.guevara@uabc.edu.mx

RESUMEN

Introducción: Esta revisión sistemática evalúa los protocolos de ejercicio utilizados para determinar el punto de deflexión de la frecuencia cardíaca (HRDP) en atletas, destacando su relevancia como biomarcador no invasivo del umbral anaeróbico. **Métodos:** Se realizaron búsquedas sistemáticas en EBSCOhost, PubMed y Scopus desde 1982 hasta mayo de 2024, utilizando términos como "punto de deflexión de la frecuencia cardíaca" y "umbral

anaeróbico". Se incluyeron estudios originales con atletas de cualquier edad, sexo y nivel competitivo, excluyendo trabajos de baja calidad metodológica o con datos duplicados. Los datos extraídos incluyeron características de los participantes, protocolos de ejercicio (e., pruebas de rampa, protocolo de Conconi) y métodos de análisis del HRDP (visuales o computacionales). **Resultados:** Se incluyeron 31 estudios que evaluaron a 3,522 atletas (91.8% hombres). Los resultados mostraron una amplia variabilidad en la identificación del HRDP según el protocolo empleado. Las pruebas de rampa y los protocolos de Conconi (original y modificado) presentaron tasas de identificación superiores al 90% en poblaciones específicas, mientras que los métodos de campo mostraron menores niveles de sensibilidad (<50%). La reproducibilidad y validez del HRDP también variaron según el diseño del protocolo, las características de los participantes y las técnicas analíticas empleadas. **Conclusiones:** Aunque el HRDP es una herramienta prometedora para estimar el umbral anaeróbico, la falta de estandarización metodológica limita su aplicabilidad. Se requieren estudios futuros para establecer protocolos validados y reproducibles.

PALABRAS CLAVE: fisiología del ejercicio, umbral anaeróbico, deporte.

ABSTRACT

Introduction: This systematic review evaluates the exercise protocols used to determine the heart rate deflection point (HRDP) in athletes, emphasizing its relevance as a non-invasive biomarker of the anaerobic threshold. **Methods:** A systematic search was conducted in EBSCOhost, PubMed, and Scopus from 1982 to May 2024 using terms such as "heart rate deflection point" and "anaerobic threshold." Original studies including athletes of any age, sex, and competitive level were included, while low-quality studies and duplicate data were excluded. Extracted data included participant characteristics, exercise protocols (e.g., ramp tests, Conconi protocols), and HRDP assessment methods (visual or computational). **Results:** A total of 31 studies involving 3,522 athletes (91.8% men) were included. The results showed significant variability in HRDP identification depending on the protocol used. Ramp tests and Conconi protocols (original and modified) achieved identification rates above 90% in specific populations, whereas field-based methods demonstrated lower sensitivity (<50%). Reproducibility and validity of HRDP measurements also varied according to protocol design, participant characteristics, and analytical techniques. **Conclusions:** While HRDP is a promising tool for estimating the anaerobic threshold, its practical application is limited by methodological inconsistencies. Future research is needed to establish standardized and reproducible protocols

KEY WORDS: exercise physiology, anaerobic threshold, sports.

INTRODUCCIÓN

En el campo de fisiología del deporte, las pruebas de esfuerzo máximo constituyen una evaluación de rutina para determinar el fitness cardiorrespiratorio, definir las zonas de entrenamiento y evaluar la flexibilidad

metabólica de los atletas (1). Lo anterior, mediante la aplicación de técnicas invasivas (e.j., medición de lactato en sangre) o no invasivas (e.j., medición de frecuencia cardíaca o ventilación pulmonar), que permiten la identificación de diversos biomarcadores según la disponibilidad de recursos y la preferencia o comodidad del paciente (2).

El umbral anaeróbico (AnT), definido como la intensidad a partir de la cual la producción de lactato aumenta desproporcionadamente con relación a su tasa de oxidación, es uno de los principales biomarcadores fisiológicos evaluados durante una prueba de esfuerzo (3). Dicho parámetro se encuentra fuertemente asociado al rendimiento deportivo en atletas de resistencia aeróbica, utilizándose para (i) evaluar su capacidad oxidativa, y (ii) delimitar las zonas de intensidad de entrenamiento (4,5). La medición del AnT implica la recolección de muestras de sangre arterial o venosa mediante la punción de las yemas de los dedos, el lóbulo de la oreja o alguna vena periférica (4), técnicas invasivas a las cuales no todos los pacientes acceden. Además, los dispositivos y reactivos requeridos para la medición de lactato a nivel circulatorio tienen un alto costo, limitando su utilización en el entrenamiento deportivo.

El punto de compensación respiratoria (RCP) constituye la principal alternativa de evaluación para el AnT, destacándose que, su precisión para estimar el AnT depende del método de análisis empleado (e.j., gráfico o matemático) (4,6). Además, la evaluación del RCP también requiere de equipo especializado y costoso (analizador de gases). Por lo tanto, aunque el análisis del RCP facilita la estimación del AnT mediante una técnica no invasiva, se requieren alternativas de medición confiables y prácticas que permitan la estimación del AnT en atletas a un bajo costo.

El punto de deflexión de la frecuencia cardíaca (HRDP) (Figura 1), se ha propuesto como una alternativa confiable para estimar el AnT en atletas de resistencia, observándose una fuerte correlación entre el HRDP y el AnT en corredores de larga distancia (7) y ciclistas (8). No obstante, se ha visto que la confiabilidad y reproducibilidad del HRDP varía en función del protocolo de ejercicio, el análisis de los datos obtenidos y las características de los participantes evaluados (9).

Por ejemplo, el trabajo inicial de Conconi et al., (10), basado en aumentos graduales de la carga de trabajo cada 200 m de distancia recorrida, permitió la identificación del HRDP en más de 200 corredores de larga distancia, mostrando buena reproducibilidad en una submuestra de 26 atletas ($r=0.99$, $p<0.01$). Años más tarde, Conconi optimizó su protocolo de ejercicio, ajustando la intensidad por intervalos específicos de tiempo, según el nivel de fitness de los participantes evaluados (11). Este "protocolo modificado de Conconi", optimizó la identificación del HRDP en más de 300 atletas de resistencia (ej. Corredores de larga distancia, nadadores o ciclistas, entre otros) (11). Sin embargo, al intentar replicar el protocolo modificado de Conconi en caminadora (Carga inicial: 3.3 m/seg; Progresión de la carga: 0.14 km/seg cada 200 m), Jones y Doust (12), reportaron que el HRDP solo pudo apreciarse en 9 de 14 corredores de larga distancia.

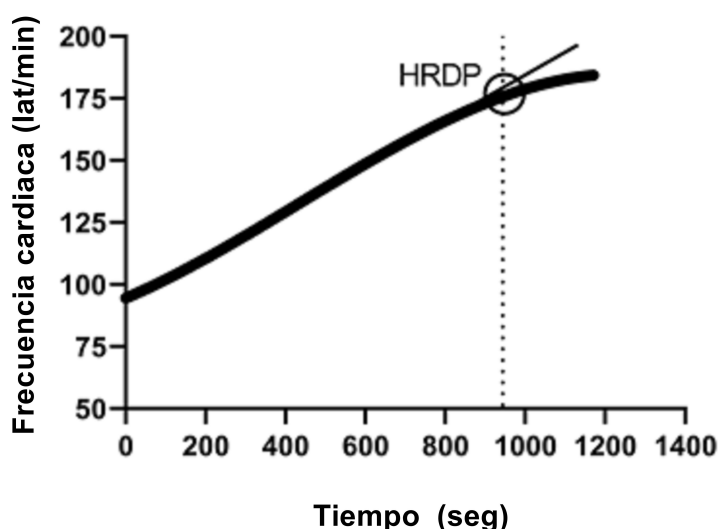


Figura 1. Análisis gráfico del punto de deflexión de la frecuencia cardíaca (HRDP) durante una prueba de esfuerzo máximo. Como puede distinguirse, cerca de la máxima aptitud cardiorrespiratoria, la frecuencia cardíaca rompe su linealidad, mostrando una deflexión negativa que señala el corazón está llegando a su máxima capacidad contráctil. Según estudios de grandes cohortes ($n=1,100$), el HRDP no es un artefacto o error de medición de la frecuencia cardíaca, ya que este se observa en el ~90% de los casos evaluados, dependiendo la edad, y el grado de acondicionamiento físico Birnbaumer et al., (13). *Datos propios, obtenidos mediante una prueba de esfuerzo máximo, realizada en un futbolista profesional bajo condiciones de ayuno en una cinta ergométrica.

Desde la publicación inicial de Conconi et al., (10), existen resultados contradictorios respecto a la validez y reproducibilidad del HRDP en distintas poblaciones. En parte, dicha heterogeneidad entre investigaciones se atribuye a las discrepancias en los protocolos de ejercicio utilizados para evaluar el HRDP (9). Por ejemplo, Buchheit et al., (14), evaluaron el RCP y el HRDP en atletas de fútbol, tenis y squash, implementando un protocolo de rampa en caminadora (Carga inicial: 6 km/h (1°); Progresión de la carga: 1 km/h cada minuto), bajo condiciones controladas en laboratorio. Para determinar el HRDP, los investigadores ejecutaron un análisis de regresión lineal considerando los primeros 512 registros de frecuencia cardíaca, permitiendo la identificación del HRDP en todos los atletas evaluados, con una correlación moderada entre el HRDP y el AnT ($r=0.61$, $p<0.05$).

Por el contrario, Guimarães et al., (15) implementaron una prueba de campo en pista para el análisis del HRDP en corredores de larga distancia y nivel aficionado. La prueba consistió en 6 series de 1000 metros, cada una seguida de un período de recuperación de 2 minutos. La primera serie se ejecutó al 75% del mejor tiempo personal del atleta, y cada serie subsiguiente aumentó en intensidad en un 5%. Este enfoque incremental permitió la identificación del HRDP en el 47% de los corredores evaluados, sugiriendo una pobre validez y reproducibilidad del protocolo.

Respecto a los procedimientos de análisis utilizados para evaluar el HRDP en atletas, el análisis visual de la curva de frecuencia cardíaca durante la prueba de esfuerzo fue la primera técnica utilizada por Conconi et al. (10). Posteriormente, se desarrollaron diversos algoritmos computacionales que permitieron el análisis automático del HRDP, eliminando el error intra-observador. Sin embargo, dichos algoritmos son inconsistentes entre investigaciones. Por ejemplo, algunos artículos emplean un análisis de regresión lineal, mientras que otros utilizan un análisis de regresión polinómica de tercer grado

En resumen, el HRDP se propone como una potencial alternativa para evaluar el umbral anaeróbico. Sin embargo, la amplia diversidad de protocolos y procedimientos de análisis existentes, dificultan la selección de metodologías apropiadas, para determinar el AnT de manera no invasiva y a bajo costo. Por tal motivo, la presente revisión sistemática tiene por objetivo describir los protocolos de ejercicios empleados para evaluar el HRDP en atletas, analizando su validez y reproducibilidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda sistemática en las bases de datos de EBSCOhost, PubMed y Scopus, introduciendo la siguiente ecuación de búsqueda: (“punto de deflexión de la frecuencia cardíaca” o “punto de inflexión de la frecuencia cardíaca”) Y (atletas o jugadores o corredores o ciclistas o entrenado) y (“umbral anaerobio” O “umbral de lactato” o “umbral ventilatorio”) Posteriormente, los documentos recuperados se filtraron por el idioma (inglés y español), y la fecha de publicación (del 1 de enero de 1982 al 31 de mayo de 2024), considerando el trabajo inicial de Conconi et al. (10) respecto al HRDP. La lista de referencias de Bodner y Rhodes (9) también fue examinada para seleccionar potenciales estudios que evaluaron el HRDP en atletas. La guía actualizada para el reporte de revisiones sistemáticas (PRISMA), se utilizó estrictamente para describir los resultados de la presente investigación (16).

Criterios de elegibilidad y proceso de selección

Para este trabajo, se consideraron artículos originales de investigación, que evaluaran el HRDP en atletas de cualquier edad, sexo, disciplina deportiva y nivel competitivo. La selección de los manuscritos fue realizada de forma independiente por dos de los coautores, consultando un investigador experto en caso de incertidumbre sobre la elegibilidad de los manuscritos. Los estudios con baja calidad metodológica (e.j., trabajos en los que los niveles de actividad física y la ingesta de bebidas energéticas o cafeína no se estandarizaron antes de la prueba de ejercicio) fueron excluidos del análisis. Además, los estudios que realizaron pruebas de ejercicio en diferentes horarios (mañana o tarde), o que no describían con suficientes detalles los procedimientos aplicados para el análisis del HRDP fueron eliminados. Estos criterios se establecieron en

consideración de la ritmicidad circadiana en la frecuencia (17) cardíaca, y la reproducibilidad de métodos en futuras investigaciones. Los artículos que reportaban datos duplicados también fueron excluidos.

Proceso de recopilación de datos y elementos de datos

Los datos reportados por las diferentes investigaciones se recopilaron en una plantilla de Microsoft Word 2016. De manera concreta, se registraron (i) las características de los participantes (ej., disciplina deportiva, aptitud cardiorrespiratoria, nivel competitivo, edad y sexo), (ii) los protocolos de ejercicio (ej., ergómetro, carga de trabajo inicial y progresión de la carga de trabajo), y (iii) los materiales y métodos utilizados para la evaluación de la HRDP (ej., electrocardiografía, monitor inalámbrico de frecuencia cardíaca, análisis visual, análisis computacional). La proporción de individuos que mostraron el HRDP, se utilizó como parámetro de sensibilidad y validez de los protocolos de ejercicio y métodos de análisis.

RESULTADOS

Búsqueda de la literatura y selección de manuscritos

La búsqueda exhaustiva en las diferentes bases de datos y la lista de referencias de revisiones previas de literatura arrojó un total de 95 artículos. Tras eliminar 47 documentos duplicados, se revisó el título y resumen de 48 artículos excluyendo 11 documentos que eran irrelevantes para la temática de esta monografía o no estaban disponibles en acceso abierto. Después de revisar los textos completos, se eliminó un artículo que no incluyó atletas profesionales (18), uno que estaba publicado en una revista no indexada y un manuscrito que contenía datos duplicados (19). En total, se incluyeron 31 artículos para la revisión sistemática (Figura 2).

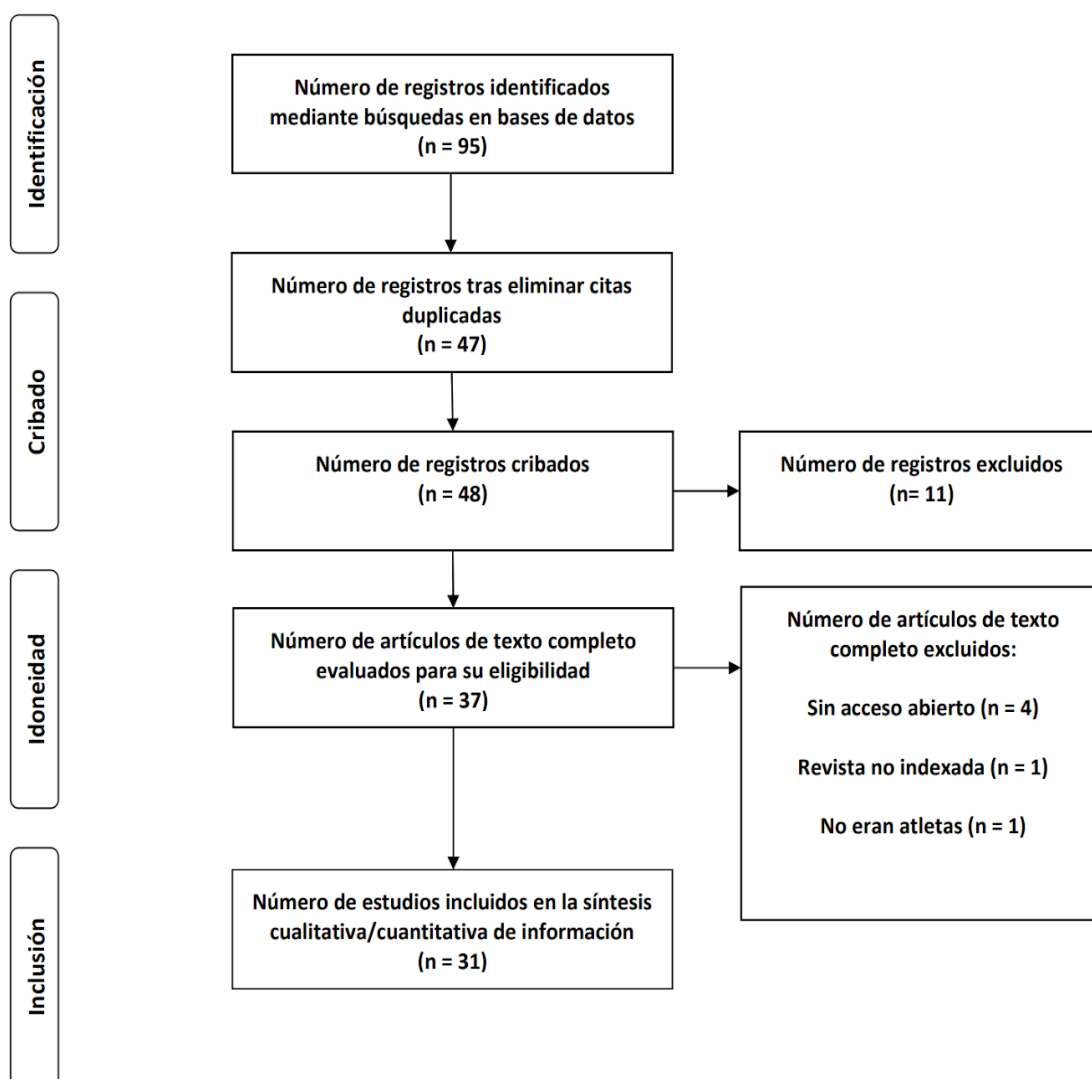


Figura 2. Diagrama de flujo para la selección de manuscritos

Características de los participantes

En total, los artículos evaluaron 3522 atletas, incluyendo 3234 hombres y 13 mujeres (Cuadro 1). Cuatro de los artículos evaluados no especificaron el sexo de los participantes ($n=143$). La mayoría de las investigaciones, evaluaron corredores de larga distancia ($n=686$). Sin embargo, el grupo con mayor potencia estadística fue el de jugadores de fútbol soccer ($n=2215$). También se encontraron estudios en ciclistas ($n=107$), remadores ($n=26$), atletas de cross-country ($n=10$), jugadores de hockey sobre hielo ($n=20$), atletas parapléjicos de cross-country ($n=8$), tenistas ($n=35$), triatletas ($n=21$), entre otros varios ($n=394$) (Figura 3).

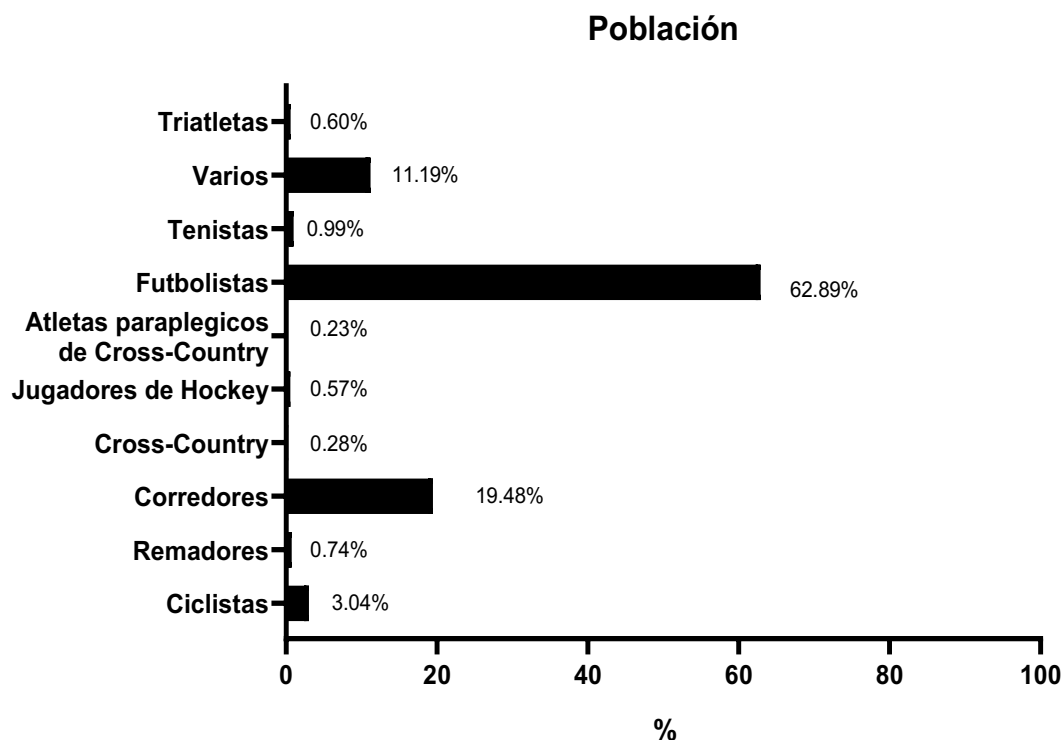


Figura 3. Descripción de las poblaciones evaluadas

Protocolos de ejercicio para evaluar el HRDP

Los protocolos de ejercicio utilizados para evaluar el HRDP en atletas se presentan en el cuadro 1. Se utilizaron diferentes protocolos de ejercicio para evaluar el HRDP, incluyendo la prueba original de Conconi (N=5), el test modificado de Conconi (N=6), una prueba de campo en pista de atletismo (N=2), la prueba de Balk en ciclo-ergométrico (N=1), el test de Cross-Country (N=1), pruebas de esfuerzo máximo en cicloergómetro o caminadora (n=10), un test de rampa (N=11), test específico de tenis (N=1), y pruebas de ejercicio a intensidad estable (N=1) (Figura 4).

Cuadro 1. Descripción de los estudios seleccionados

Estudio	Participantes	Protocolos de ejercicio	Análisis HRDP	Distinción de HRDP
Doston & Humphry, 1988 (20).	22 hombres corredores de elite Edad: 26.3 ± 5.2 años VO_{2max} : $68.6 \pm 3.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{max} : $187 \pm 10 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test de Conconi Carga inicial: 14 km/h Progresión: 0.5 km/h cada 1 vuelta	Monitor inalámbrico de frecuencia cardiaca Inspección visual	El HRDP se identificó en el 90.9% de los sujetos evaluados (n= 20)
Jones y Doust, 1997 (12).	14 corredores de larga distancia Edad: 22.6 ± 3 años VO_{2peak} : $66.3 \pm 4.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : $195 \pm 10 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test de Conconi Carga inicial: 3.3 m/seg Progresión: 0.14 m/seg cada 200 m	Inspección visual de la curva de frecuencia cardiaca, determinada por Electrocardiograma	El HRDP se identificó en el 64% de los sujetos evaluados (n=14).
Petit et al., 1997 (21).	12 corredores y 5 corredoras Edad: 26 ± 3 años VO_{2peak} : $60.2 \pm 6.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : NR	Protocolo modificado de Conconi en pista Carga inicial: 10.3 km/h Progresión: 0.14 m/seg cada 200 m	Regresión logística de la curva de frecuencia cardiaca, evaluada con un monitor inalámbrico de frecuencia cardiaca	El HRDP se identificó en el 100% de los sujetos evaluados (n=17).
Bourgois & Vrijens, 1998 (22).	10 remadores Edad: 17.5 ± 1.7 años VO_{2peak} : $4.17 \pm 0.48 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : NR	Test modificado de Conconi en ergómetro de remo Carga inicial: 120-140 W Progresión: 14 W cada minuto	Inspección visual de la curva, determinada con Electrocardiograma	El HRDP se identificó en el 100% de los sujetos evaluados (n= 10)
Schmid et al., 1998 (23).	8 hombres parapléjicos de Cross-Country Edad: 35.7 ± 8.1 años VO_{2peak} : NR HR_{peak} : $182 \pm 9 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test modificado de Conconi Carga inicial: 20 W Progresión: 10 W cada minuto	Regresión lineal de la curva de frecuencia cardiaca, evaluada con un monitor inalámbrico de frecuencia cardiaca	El HRDP se identificó en el 100% de los sujetos evaluados (n= 8).

Lucía et al., 1999 (24).	21 hombres ciclistas profesionales Edad: 25 ± 3 años VO_{2peak} : $70.0 \pm 2.0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : $196 \pm 10 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	GTX en bicicleta estática Carga inicial: 0 W Progresión: 5 W cada 12 segundos	Regresión logística de la curva de frecuencia cardiaca, evaluada con Electrocardiograma	El HRDP se identificó en el 67% de los sujetos evaluados (n= 14).
Vachon et al, 1999 (25).	8 hombres corredores Edad: 30.8 ± 5.9 años VO_{2peak} : $65.4 \pm 5.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : NR	Test de Conconi Carga inicial: 10-14 km/h Progresión: 0.5 km/h cada 200m GXT en caminadora Carga inicial: 0 km/h Progresión: 0.5 km/h cada minuto	Inspección visual de la curva de frecuencia cardiaca, determinada con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 100% de los sujetos con el test de Conconi (n= 8). El HRDP se identificó en el 50% de los sujetos evaluados en caminadora (n= 4).
Bodner et al, 2002 (26).	21 hombres ciclistas Edad: 22 ± 18 años VO_{2peak} : $67.6 \pm 4.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : $197 \pm 9 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test de rampa en cicloergómetro con freno Carga inicial: 50 W Progresión: 30 W cada min	Modelo matemático de la curva de frecuencia cardiaca, evaluada con monitor inalámbrico de frecuencia cardiaca	El HRDP se identificó en el 100% de los sujetos evaluados (n= 21).
Carey et al., 2002 (27).	115 (44 mujeres y 71 hombres) atletas competitivos Edad: 38.2 ± 8.7 años VO_{2peak} : $50.5 \pm 8.4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : NR	GTX en cicloergómetro Carga inicial: 25 W Progresión: 25 W cada minuto	Regresión lineal múltiple de Minitab de la curva de frecuencia cardiaca, evaluada con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 34% de los sujetos evaluados (n= 39).
Lucia et al., 2002 (28).	16 hombres ciclistas Edad: 26 ± 1 años VO_{2max} : $72.7 \pm 1.2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{max} : $188 \pm 2 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test de Rampa en cicloergómetro Carga inicial: 20 W Progresión: 25 W cada minuto	Inspección visual de la curva de frecuencia cardiaca, determinada con Electrocardiograma	El HRDP se identificó en el 56% de los sujetos evaluados (n= 9).

Bourgois et al, 2004 (19).	11 hombres ciclistas Edad: 21.5 ± 3.7 años VO_{2max} : $4.70 \pm 0.53 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{max} : $193 \pm 12 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test de Conconi modificado en bicicleta montada en ergómetro Carga inicial: 100 W Progresión: 5 W cada 20 segundos	Inspección visual de la curva de la frecuencia cardiaca, determinada con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 100% de los sujetos evaluados (n= 11).
Laursen et al, 2005 (29).	21 hombres triatletas Edad: 35 ± 6 años VO_{2max} : $4.72 \pm 0.42 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{max} : $178 \pm 11 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test de rampa en cicloergómetro Carga inicial: 100 W Progresión: 15 W cada 30 segundos Test de rampa en caminadora Carga inicial: 10 km/h Progresión: 0.5 km/h cada 30 segundos	Regresión linear de la curva de la frecuencia cardiaca, evaluada con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 81% de los sujetos evaluados en ambos test (n= 17).
Buchheit et al., 2007 (14).	72 hombres entrenados de varios deportes Edad: 13.3 ± 1.3 años VO_{2max} : $54.1 \pm 5.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{max} : $202.7 \pm 5.4 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	GTX en caminadora Carga inicial: 6.0 km/h Progresión: 1 km/h cada minuto	Inspección visual de la curva de frecuencia cardiaca, determinada con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 100% de los sujetos evaluados (n= 72).
Hoffman et al., 2007 (30).	227 hombres (196 estudiantes deportistas, 20 jugadores de hockey sobre hielo, 11 jóvenes de diferentes deportes.) Edad: 23 ± 4 años VO_{2max} : NR HR_{peak} : $185 \pm 4 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test modificado de Conconi en cicloergómetro Carga inicial: 40 W Progresión: 20 W cada 60 segundos	Regresión linear de la curva de frecuencia cardiaca, evaluada con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 86% de los sujetos evaluados (n= 195).
Sentija et al., 2007 (31).	51 hombres corredores Edad: 22.33 ± 5.5 años VO_{2peak} : $61.7 \pm 6.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : $196.6 \pm 8.6 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test de rampa en caminadora Carga inicial: 3 km/h Progresión: 1 km/h cada 60 segundos	Regresión linear de la curva de frecuencia cardiaca, evaluada con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 92.15% de los sujetos evaluados en ambas pruebas (n= 47).

Grazzi et al., 2008 (32).	24 ciclistas Edad: 25 ± 3.2 años VO_{2peak} : $5.00 \pm 4.92 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : $186 \pm 9 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test de rampa en cicloergómetro Carga inicial: 100-120 W a 60 revoluciones Progresión: 1 revolución cada 30 segundos	Ecuaciones de regresión de la curva de frecuencia cardiaca, evaluada con monitor inalámbrico	NR
Fabre et al., 2010 2008 (33).	10 hombres esquiadores de cross-country Edad: 25 ± 10 años VO_{2peak} : $64.2 \pm 2.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : $191 \pm 13 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test de cross-country sobre ruedas en carretera de asfalto Carga inicial: 5 km/h Progresión: 1 km/h cada minuto	Inspección visual de la curva de frecuencia cardiaca, determinada con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 100% de los sujetos evaluados (n= 10).
Cabo et al., 2011 (34).	16 hombres remadores Edad: 22.1 ± 2.3 VO_{2max} : $57.2 \pm 10.4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{max} : $187 \pm 8 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test Modificado de Conconi Carga inicial: 12 km/h Progresión: 0.5 km/h cada minuto	Regresión lineal de la curva de frecuencia cardiaca, evaluada con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 87% de los sujetos evaluados (n= 14).
Yuen et al., 2011 (8).	14 ciclistas Edad: 30 ± 7 años VO_{2max} : $54.1 \pm 6.0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : $179 \pm 9 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Prueba de campo en ergómetro con freno Carga inicial: 25 km/h Progresión: 0.8 km/h cada minuto	Inspección visual de la curva de frecuencia cardiaca, determinada con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 100% de los sujetos evaluados solo en una posición (n= 14).
Márquez-Neto et al., 2012 (35).	24 hombres, jugadores de fútbol Edad: 22 ± 5 años VO_{2peak} : $62.9 \pm 6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : $188 \pm 8 \text{ b} \cdot \text{min}^{-1}$	GTX en caminadora Carga inicial: NR Progresión: NR	Modelo matemático de la curva de frecuencia cardiaca, evaluada con Electrocardiograma	El HRDP se identificó en el 100% de los sujetos evaluados (n= 24).
Nascimento et al. 2012 (36).	21 jugadores de fútbol soccer Edad: 24.08 ± 3.43 años VO_{2max} : $50.44 \pm 4.00 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : $167 \pm 7 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Prueba de campo de 20 m Carga inicial: 8 km/h Progresión: 1 km/h cada minuto	Regresión lineal de la curva de frecuencia cardiaca, evaluada con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 100% de los sujetos evaluados (n= 21).

Vucetic et al., 2014 (7).	48 corredores Edad: 21 ± 5 años VO_{2max} : $62.5 \pm 6.1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : $192 \pm 8 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	GXT en caminadora Carga inicial: 3 km/h Progresión: 1 km/h cada minuto Test de rampa en caminadora Carga inicial: 3 km/h Progresión: 1 km/h cada 30 segundos	Análisis de regresión e inspección visual de la curva de frecuencia cardiaca, determinada con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 100% de los sujetos evaluados con ambos test (n= 48).
Baiget et al., 2015 (37).	35 hombres tenistas Edad: 18.2 ± 1.3 años VO_{2max} : $57.3 \pm 5.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : $193 \pm 7.4 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test específico de tenis con una máquina de pelotas Carga inicial: 12 lanzamientos/min Progresión: 2 lanzamientos/min cada 3 minutos	Regresión lineal de la curva de frecuencia cardiaca, evaluado con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 92% de los sujetos evaluados (n= 32).
De Silva, 2015 (38).	13 mujeres corredoras Edad: 41.3 ± 7.2 años VO_{2max} : $53.1 \pm 7.1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : $185 \pm 11 \text{ b} \cdot \text{min}^{-1}$	GTX en caminadora Carga inicial: 7 km/h Progresión: 1 km/h cada 3 minutos	Modelo de regresión, modelo de regresión polinomial y método D-Max de la curva de frecuencia cardiaca, evaluado con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 100% de los sujetos evaluados (n= 13).
Kjertakov, et al., 2016 (39).	12 corredores de distancia Edad: 24.1 ± 3.9 años VO_{2max} : NR HR_{peak} : $194 \pm 9 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test de Conconi modificado en caminadora Carga inicial: 9 km/h Progresión: 0.5 km/h cada minuto	Inspección visual de la curva de frecuencia cardiaca, determinado con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 75% de los sujetos evaluados (n= 9).
Costa et al., 2017 (40).	12 hombres corredores Edad: 34.08 ± 6.68 años VO_{2max} : $68.49 \pm 5.03 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ HR_{peak} : $178 \pm 9 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$	Test de rampa en caminadora Carga inicial: 8 km/h Progresión: 1 km/h cada minuto	Método D-Max de la curva de frecuencia cardiaca, evaluado con Electrocardiograma	El HRDP se identificó en el 100% de los sujetos evaluados (n= 12).

Guimarães et al., 2017 (15).	17 hombres corredores Edad: 36.46 ± 10.68 años VO _{2max} : NR HR _{peak} : NR	GTX en pista Carga inicial: 75% de su mejor marca en la temporada Progresión: 5% cada 1000 m con 2 minutos de descanso	Función polinomial y ecuación lineal de la curva de frecuencia cardíaca, evaluado con monitor inalámbrico	NR
Etxegarai et al., 2018 (41).	91 hombres corredores Edad: 36.42 ± 6.71 años Después de la exclusión, quedaron 91 atletas quedaron en el estudio. VO _{2max} : NR HR _{peak} : 184.91 ± 11 b·min ⁻¹	GTX en caminadora Carga inicial: 9 km/h Progresión: 1.5 km/h cada 4 minutos	Método D-Max de la curva de frecuencia cardíaca, evaluada con monitor inalámbrico	El HRDP se identificó en el 74% de los sujetos evaluados (n= 67).
Skopek et al, 2019 (42).	2170 jugadores de soccer Edad: 24.3 ± 3.6 años 330 corredores Edad: 29.3 ± 3.2 años VO _{2max} : NR HR _{peak} : NR	Test de Conconi modificado en caminadora Carga inicial: 12 km/h Progresión: 0.5 km/ cada 150 metros	Inspección visual de la curva de frecuencia cardíaca, determinada con cardio tacómetro	El HRDP se identificó en el 77% de los sujetos evaluados.
De Lima et al., 2020† (43).	12 corredores de montaña Edad: 34.08 ± 6.68 años VO _{2max} : 68.49 ± 5.03 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ HR _{peak} : NR	Test de rampa en caminadora Carga inicial: 8 km/h Progresión: 1 km/h cada minuto	Método D-Max de la curva de frecuencia cardíaca, evaluado con monitor inalámbrico	NR

Los datos se reportan como media \pm DE. HR_{peak}, frecuencia cardíaca máxima; NR, no reportado; VO_{2peak}, consumo pico de oxígeno.

Análisis del HRDP

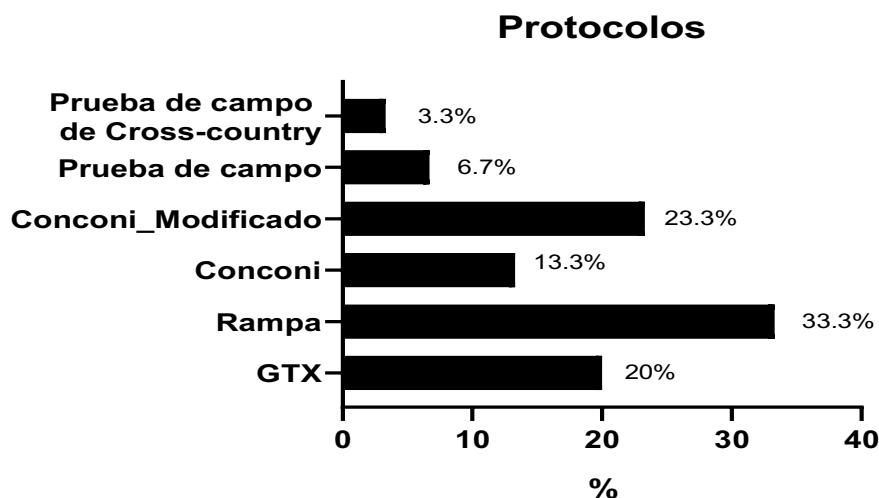


Figura 4. Protocolos utilizados para evaluar el punto de deflexión de la frecuencia cardíaca en atletas. GTX, prueba de esfuerzo máximo con diseño escalonado.

Entre los artículos incluidos en el presente trabajo, la inspección visual de la curva de frecuencia cardíaca fue el procedimiento de análisis más utilizado para identificar el HRDP en atletas (N=12). Respecto a los modelos computacionales, los análisis más utilizados fueron (i) la regresión lineal (N=8), (ii) la regresión logística (N=2), (iii) la función polinómica (N=3), y el método D-Max (N=3) (Figura 5).

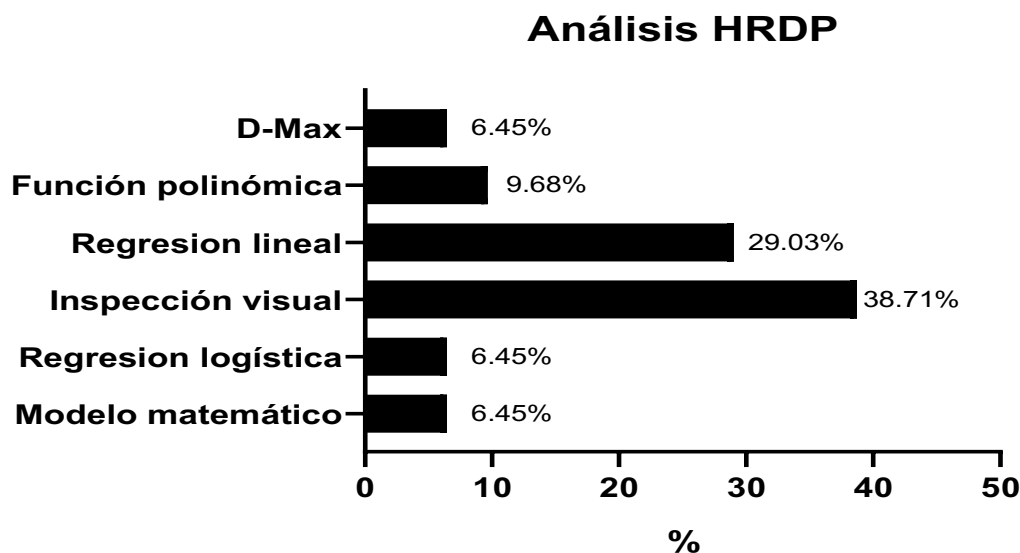


Figura 5. Procedimiento de análisis, utilizados para determinar el punto de deflexión de la frecuencia cardíaca

Reproducibilidad de los protocolos

En la figura 6 se presenta la validez o sensibilidad de los protocolos para identificar el HRDP en atletas. De todos los protocolos evaluados, el test modificado de Conconi y las pruebas de Rampa mostraron la mayor sensibilidad y validez para la identificación de dicho parámetro, permitiendo la detección del HRDP en al menos 50% de los atletas evaluados. Por otro lado, las pruebas de esfuerzo en cicloergómetro y en tapiz rodante, mostraron la menor sensibilidad para la detección del HRDP, con rangos de 25% a 100%.

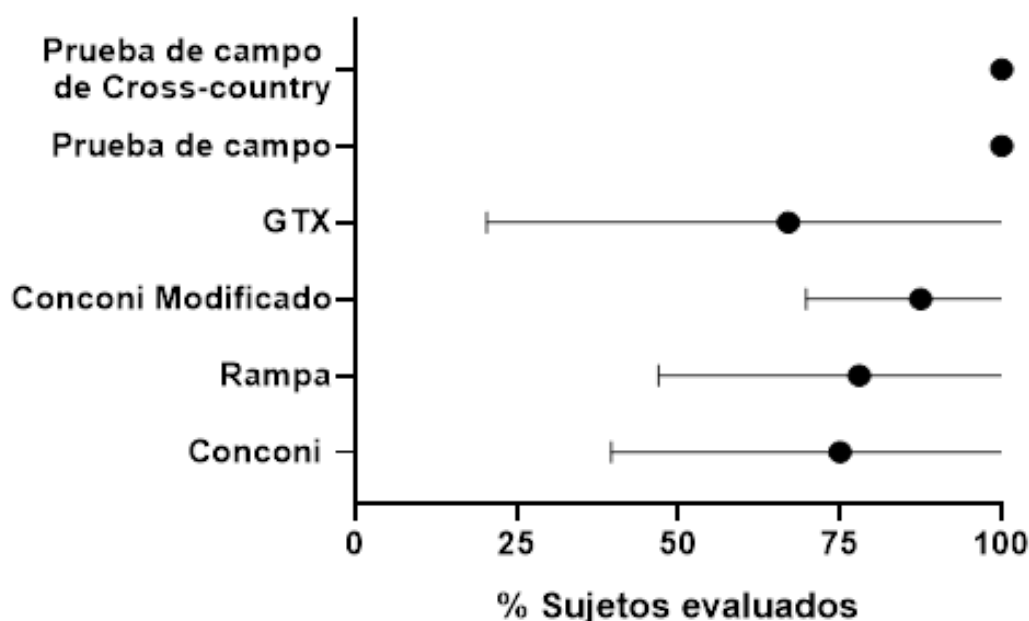


Figura 6. Validez o sensibilidad de los protocolos basados en la detección del punto de deflexión de la frecuencia cardíaca.

Sólo la prueba original de Conconi, mostró una buena reproducibilidad en corredores de larga distancia, observándose una diferencia de medias equivalente a ~ 1 lat/min, y una fuerte correlación entre el HRDP evaluado en ambas pruebas de ejercicio ($r = 0.89$, $p < 0.01$). Para el resto de los protocolos, no se encontraron análisis de reproducibilidad.

DISCUSIÓN

En la presente revisión sistemática, se describen los protocolos de ejercicio y procedimientos de análisis previamente utilizados para identificar el HRDP en atletas, observándose que, para algunos de estos, no existe buena sensibilidad y validez. Particularmente, al utilizar una prueba de esfuerzo máximo sobre una caminadora o cicloergómetro, la identificación del HRDP puede variar desde el 25% al 100% de los participantes. Por otro lado, el test modificado de Conconi y las pruebas de Rampa mostraron la mayor sensibilidad y validez para la identificación de dicho parámetro, permitiendo la detección del HRDP en al menos 50% de los atletas evaluados. Cabe señalar que, algunos protocolos (ej.

pruebas de campo corriendo en pista o la prueba de campo de Cross-country) se aplicaron solo en una investigación. Por lo tanto, su validez y sensibilidad para detectar el HRDP requiere futuros estudios que puedan replicar estos resultados.

A la fecha, pocas investigaciones han comparado directamente la validez y sensibilidad de estos protocolos. Por ejemplo, Vachon et al., (25), reportaron que el test de Conconi muestra una mayor sensibilidad para identificar el HRDP en corredores de larga distancia en comparación con un test de rampa en caminadora. Por otro lado, Vucetic et al., (7) concluyeron que una prueba de esfuerzo máximo en caminadora y un protocolo de Rampa eran igual de sensibles para determinar el HRDP en corredores. También Laursen et al., (29) reportaron que el test de rampa en caminadora y cicloergómetro son igual de sensible para determinar el HRDP en triatletas de sexo masculino. Se requieren entonces, futuras investigaciones que comparen directamente todos los protocolos empleados para detectar el HRDP con el objetivo de estandarizar y optimizar el análisis de dicho parámetro fisiológico en distintas poblaciones.

Respecto a la reproducibilidad de los protocolos, sólo el test original de Conconi mostró una buena reproducibilidad en corredores de larga distancia, observándose una diferencia de medias equivalente a ~ 1 lat/min, y una fuerte correlación entre el HRDP evaluado en ambas pruebas de ejercicio ($r = 0.89$, $p < 0.01$). La reproducibilidad de este protocolo en poblaciones donde ha mostrado una buena sensibilidad (ej., corredores o ciclistas) requiere futuros análisis. Igualmente, se requieren futuras investigaciones que evalúen la reproducibilidad del resto de los protocolos aquí descritos.

En cuanto a los procedimientos de análisis empleados para determinar el HRDP, el más utilizado fue la inspección visual ha sido ampliamente utilizada en alrededor 12 estudios mencionados en esta revisión sistemática. En cambio, el menos utilizado se puede mencionar que fueron los análisis de regresión logística donde aplican modelos estadísticos para predecir la probabilidad de alcanzar el HRDP. Únicamente Da Silva et al., (38) han comparado directamente los valores del HRDP obtenidos por una regresión polinómica y una regresión exponencial, observando una baja correlación entre el valor del HRDP definido por ambos procedimientos de análisis ($r = 0.27$). Se requiere de futuras investigaciones para analizar si el método de análisis determina la sensibilidad de algún protocolo de ejercicio para identificar el HRDP en atletas.

Entre los diferentes procedimientos de análisis podemos decir que la inspección visual es intuitiva y no requiere de cálculos complejos. Sin embargo, depende de la subjetividad del observador y puede variar según la experiencia de los analistas, lo que puede implicar diferentes valores del HRDP. Esto no sucede con los modelos computacionales puesto que consideran modelos estadísticos para predecir la probabilidad del HRDP. En última instancia, la elección entre la intuición de la inspección visual y la lógica de los modelos computacionales depende del contexto y los objetivos del estudio. Ambos enfoques tienen sus ventajas y limitaciones, por lo que los investigadores deben considerar cuidadosamente cuál método aplicar en su análisis del HRDP.

Verificar si las características del protocolo de ejercicio y los métodos análisis empleados para determinar el HRDP influyen su relación con el AnT es igualmente importante, ya que ambos factores pueden sesgar el comportamiento de la frecuencia cardíaca y/o concentración de lactato. Asimismo, es necesario validar la conexión entre el HRDP y el AnT desde la perspectiva fisiológica, ya que la teoría inicial de Conconi et al., (10), proponiendo al AnT como un desencadenante del HRDP por el efecto Bohr (acumulación de lactato—acidosis en sangre—protonación de hemoglobina—mayor disociación de oxígeno hemoglobina), fue descartada por estudios posteriores, donde el HRDP se planteó como el desencadenante del AnT, debido a el límite de eficiencia cardiovascular que reduce la perfusión muscular de O₂, potenciando el metabolismo anaeróbico (44,45).

Según nuestra revisión de literatura, la mayoría de las investigaciones enfocadas en el análisis del HRDP, involucran atletas de resistencia de sexo masculino (ej., ciclistas, remeros, tenistas o triatletas), requiriéndose también de futuros estudios, que evalúen la validez y confiabilidad de los protocolos aquí descritos en atletas de sexo femenino y deportes de conjunto. Futuros análisis en atletas máster también serían necesarios, ya que la prevalencia del HRDP aumenta con la edad, independientemente del grado de acondicionamiento físico (13).

CONCLUSIÓN

En esta revisión de literatura, se presenta la primera compilación de protocolos y procedimientos de análisis empleados para determinar el HRDP en atletas. Nuestro análisis muestra que, el HRDP se ha evaluado principalmente en atletas de resistencia de sexo masculino, observándose que, el test modificado de Conconi, los protocolos de rampa y las pruebas de esfuerzo máximo en cicloergómetro o caminadora son los métodos experimentales más utilizados. Las pruebas de campo o pista de atletismo han demostrado ser protocolos efectivos para identificar el HRDP en atletas. Sin embargo, solo el test original de Conconi ha mostrado una buena reproducibilidad para evaluar el HRDP en corredores de larga distancia. La reproducibilidad del resto de protocolos requiere aun de futuras investigaciones.

REFERENCIAS

1. Petek, Bradley J et al. "Cardiopulmonary Exercise Testing in Athletes: Expect the Unexpected." *Current treatment options in cardiovascular medicine* vol. 23,7 (2021): 49. doi:10.1007/s11936-021-00928-z.
2. Chávez-Guevara, Isaac A et al. "Difficult but not impossible: paving the way to standardization in the assessment of exercise physiology thresholds." *The Journal of physiology* vol. 602,19 (2024): 5107-5108. doi:10.1113/JP287380.
3. Poole, David C et al. "The anaerobic threshold: 50+ years of controversy." *The Journal of physiology* vol. 599,3 (2021): 737-767. doi:10.1113/JP279963

4. Faude, Oliver et al. "Lactate threshold concepts: how valid are they?." *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* vol. 39,6 (2009): 469-90. doi:10.2165/00007256-200939060-00003.
5. MacIntosh, Brian R et al. "What Is Moderate to Vigorous Exercise Intensity?." *Frontiers in physiology* vol. 12 682233. 22 Sep. 2021, doi:10.3389/fphys.2021.682233.
6. Binder, Ronald K et al. "Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing." *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation: official journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology* vol. 15,6 (2008): 726-34. doi:10.1097/HJR.0b013e328304fed4.
7. Vucetić V, Sentija D, Sporis G, Trajković N, Milanović Z. Comparison of ventilation threshold and heart rate deflection point in fast and standard treadmill test protocols. *Acta Clin Croat.* 2014;53(2):190–203.
8. Yuen WK, Schreiner SR, Hoover DL, Loudon JK, Billinger SA. Does the Friel Anaerobic Threshold Test Accurately Detect Heart Rate Deflection in Trained Cyclists. *International journal of exercise science.* 2011;4(3):164–75.
9. Bodner ME, Rhodes EC. A review of the concept of the heart rate deflection point. *Sports Med* [Internet]. 2000;30(1):31–46. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-200030010-00004>.
10. Conconi F, Ferrari M, Ziglio PG, Droghetti P, Codeca L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J Appl Physiol* [Internet]. 1982;52(4):869–73. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1152/jappl.1982.52.4.869>.
11. Conconi F, Grazzi G, Casoni I, Guglielmini C, Borsetto C, Ballarin E, et al. The Conconi test: methodology after 12 years of application. *Int J Sports Med* [Internet]. 1996;17(7):509–19. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1055/s-2007-972887>.
12. Jones AM, Doust JH. Lack of reliability in Conconi's heart rate deflection point. *Int J Sports Med* [Internet]. 1995;16(8):541–4. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1055/s-2007-973051>.
13. Birnbaumer P, Dostal T, Cipryan L, Hofmann P. Pattern of the heart rate performance curve in maximal graded treadmill running from 1100 healthy 18-65 Years old men and women: the 4HAIE study. *Front Physiol.* 2023;14:1178913. Published 2023 May 30. doi:10.3389/fphys.2023.1178913.
14. Buchheit M, Solano R, Millet GP. Heart-rate deflection point and the second heart-rate variability threshold during running exercise in trained boys. *Pediatr*

Exerc Sci [Internet]. 2007;19(2):192–204. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1123/pes.19.2.192>.

15. Guimarães MP, Campos YAC, Souza HLR, Da Silva SF. Is There a Concordance between the Lactate Threshold and the Heart Rate Deflection Point during a Progressive Field Test in Moderately Trained Distance Runners? JEPonline 2017;20(5): 60-68.

16. Page, Matthew J et al. “The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews.” BMJ (Clinical research ed.) vol. 372 n71. 29 Mar. 2021, doi:10.1136/bmj.n71.

17. Cohen, C., & Muehl, G. (1977). Human circadian rhythms in resting and exercise pulse rates.. Ergonomics, 20 5, 475-9. <https://doi.org/10.1080/00140137708931656>.

18. Kara M, Gökbel H, Bediz C, Ergene N, Uçok K, Uysal H. Determination of the heart rate deflection point by the Dmax method. J Sports Med Phys Fitness. 1996;36(1):31–4.

19. Bourgois J, Coorevits P, Danneels L, Witvrouw E, Cambier D, Vrijens J. Validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold concepts during cycling. J Strength Cond Res [Internet]. 2004;18(3):498–503. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/00124278-200408000-00018>.

20. Doston CO, Humphrey JH. Exercise physiology: current selected research external validity of the conconi's heart rate anaerobic threshold as compared to the lactate threshold. 1988;3.

21. Petit MA, Nelson CM, Rhodes EC. Comparison of a mathematical model to predict 10-km performance from the Conconi test and ventilatory threshold measurements. Can J Appl Physiol [Internet]. 1997;22(6):562–72. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1139/h97-036>.

22. Bourgois J, Vrijens J. The Conconi test: a controversial concept for the determination of the anaerobic threshold in young rowers. Int J Sports Med [Internet]. 1998;19(8):553–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1055/s-2007-971959>.

23. Schmid A, Huonker M, Aramendi JF, Klüppel E, Barturen JM, Grathwohl D, et al. Heart rate deflection compared to 4 mmol x l(-1) lactate threshold during incremental exercise and to lactate during steady-state exercise on an arm-cranking ergometer in paraplegic athletes. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. 1998;78(2):177–82.

24. Lucía A, Carvajal A, Boraita A, Serratosa L, Hoyos J, Chicharro JL. Heart dimensions may influence the occurrence of the heart rate deflection point in highly trained cyclists. Br J Sports Med [Internet]. 1999;33(6):387–92. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.33.6.387>.

25. Vachon JA, Bassett DR Jr, Clarke S. Validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold during running. *J Appl Physiol* [Internet]. 1999;87(1):452–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1152/jappl.1999.87.1.452>.
26. Bodner ME, Rhodes EC, Martin AD, Coutts KD. The relationship of the heart rate deflection point to the ventilatory threshold in trained cyclists. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2002;16(4):573–80. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/00124278-200211000-00014>.
27. Carey, Daniel G et al. “Intra- and inter-observer reliability in selection of the heart rate deflection point during incremental exercise: comparison to a computer-generated deflection point.” *Journal of sports science & medicine* vol. 1,4 115-21. 1 Dec. 2002.
28. Lucía A, Hoyos J, Santalla A, Pérez M, Carvajal A, Chicharro JL. Lactic acidosis, potassium, and the heart rate deflection point in professional road cyclists. *Br J Sports Med* [Internet]. 2002;36 (2):113–7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.36.2.113>.
29. Laursen PB, Knez WL, Shing CM, Langill RH, Rhodes EC, Jenkins DG. Relationship between laboratory-measured variables and heart rate during an ultra-endurance triathlon. *J Sports Sci* [Internet]. 2005;23(10):1111–20. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/02640410400023209>.
30. Hofmann P, Pokan R, von Duvillard SP, Seibert FJ, Zweiker R, Schmid P. Heart rate performance curve during incremental cycle ergometer exercise in healthy young male subjects. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 1997;29(6):762–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/00005768-199706000-00005>
31. Sentija D, Vucetic V, Markovic G. Validity of the modified Conconi running test. *Int J Sports Med* [Internet]. 2007;28(12):1006–11. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1055/s-2007-965071>.
32. Grazzi G, Mazzoni G, Casoni I, Uliari S, Collini G, Heide L van der, et al. Identification of a JOURNAL/jscr/04.03/00124278-200807000-00013/OV0312_4/v/2021-02-09T093601Z/r/image-png o2 deflection point coinciding with the heart rate deflection point and ventilatory threshold in cycling. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2008;22(4):1116–23. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/jsc.0b013e318173936c>.
33. Fabre N, Passelergue P, Bouvard M, Perrey S. Comparison of heart rate deflection and ventilatory threshold during a field cross-country roller-skiing test. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2008;22(6):1977–84. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181874ae9>.
34. Cabo JV, Martinez-Cambor P, Del Valle M. Validity of the modified conconi test for determining ventilatory threshold during on-water rowing. *J Sports Sci Med*. 2011;10(4):616-623. Published 2011 Dec 1.

35. Marques-Neto SR, Maior AS, Maranhão Neto GA, Santos EL. Analysis of heart rate deflection points to predict the anaerobic threshold by a computerized method. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2012;26(7):1967–74. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e318234eb5d>.
36. Vitor B, Nascimento R, Osiecki PE, Redkva EB, Gomes FM, Salgueirosa LB, et al. Identification and Concordance of the Heart Rate Deflection Point and Heart Rate Variability Threshold Determined by Different Parameters in the 20 m Multistage Fitness Test. *Official Research Journal of the American Society of Exercise Physiologists*. 2012.
37. Baiget E, Fernández-Fernández J, Iglesias X, Rodríguez FA. Heart rate deflection point relates to second ventilatory threshold in a tennis test. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2015;29(3):765–71. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000000664>.
38. Silva D, Peserico CS, Machado FA. Relationship between heart rate deflection point determined by Dmax method and 10-km running performance in endurance recreationally- trained female runners. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2015.
39. Kjertakov M, Dalip M, Hristovski R, Epstein Y. Prediction of lactate threshold using the modified Conconi test in distance runners. *Physiol Int* [Internet]. 2016;103(2):262–70. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1556/036.103.2016.2.12>
40. Costa PL, Conde JHS, Silva JKF, Favaro, SVB, De Oliveira FR, Osiecki R. Relationship between Heart Rate Deflection Point and Ventilatory Threshold in Elite Mountain Runners. *JEPonline* 2017;20(4):184-191.
41. Etxegarai U, Insunza A, Larruskain J, Santos-Concejero J, Gil SM, Portillo E, et al. Prediction of performance by heart rate-derived parameters in recreational runners. *J Sports Sci* [Internet]. 2018;36(18):2129–37. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2018.1442185>.
42. Hnizdil J, Skopek M, Nosek M, Louka O, Musalek M, Heller J. The Conconi Test – Searching for the Deflection Point. *Physical Activity Review* [Internet]. 2019;7:160–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.16926/par.2019.07.19>.
43. De Lima P. Relationship between Heart Rate Deflection Point and Ventilatory Threshold in Elite Mountain Runners. *Journal of Exercise Physiology*. 2017.
44. Lepretre PM, Foster C, Koralsztein JP, Billat VL. Heart rate deflection point as a strategy to defend stroke volume during incremental exercise. *J Appl Physiol* (1985). 2005;98(5):1660-1665. doi:10.1152/jappphysiol.00837.2004.
45. Beck KC, Randolph LN, Bailey KR, Wood CM, Snyder EM, Johnson BD. Relationship between cardiac output and oxygen consumption during upright cycle exercise in healthy humans. *J Appl Physiol* (1985). 2006;101(5):1474-1480. doi:10.1152/jappphysiol.00224.2006.