

Selected Papers from Impact

El Entrenamiento Funcional de Alta Intensidad Guiado por la Variabilidad Individualizada de la Frecuencia Cardíaca da como Resultado Mejoras en la Salud y el Estado Físico Similares a las del Entrenamiento Predeterminado con Menos Esfuerzo

High-Intensity Functional Training Guided by Individualized Heart Rate Variability Results in Similar Health and Fitness Improvements as Predetermined Training with Less Effort

Justin A. DeBlauw¹, Nicholas B. Drake², Brady K. Kurtz¹, Derek A. Crawford³, Michael J. Carper¹, Amanda Wakeman³ y Katie M. Heinrich¹

¹Department of Kinesiology, Kansas State University, Manhattan, KS 66506, USA

²Department of Health, Human Performance, and Recreation, Pittsburg State University, Manhattan, KS 66506, USA

³School of Nutrition, Kinesiology, and Psychological Science, University of Central Missouri, Warrensburg, MO 64093, USA

RESUMEN

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) puede ser útil para prescribir programas de ejercicios de entrenamiento funcional de alta intensidad (HIFT). Este estudio tuvo como objetivo comparar los efectos del HIFT predeterminado y guiado por la HRV sobre la función cardiovascular, la composición corporal y el rendimiento. Métodos: adultos recreacionalmente activos ($n = 55$) fueron asignados aleatoriamente a grupos de HIFT predeterminados ($n = 29$, edad = 24.1 ± 4.1 años) o HIFT guiados por HRV ($n = 26$, edad = 23.7 ± 4.5). Ambos grupos completaron 11 semanas de registros diarios de HRV, 6 semanas de HIFT (5 días•semana⁻¹) y evaluaciones de la composición corporal y la condición física antes y después de la prueba. Se utilizaron cambios significativos en la HRV en reposo para modular (es decir, reducir) la intensidad del ejercicio de los participantes guiados por la HRV. Se utilizaron modelos lineales mixtos con ajuste post hoc de Bonferroni para el análisis. Resultados: Todos los participantes mejoraron significativamente la frecuencia cardíaca en reposo, la masa magra, la masa grasa, la fuerza y la capacidad de trabajo. Sin embargo, no se observaron diferencias

significativas entre los grupos para la función cardiovascular, la composición corporal o los cambios en el estado físico. El grupo guiado por HRV pasó significativamente menos días de entrenamiento a alta intensidad (diferencia media = -13.56 ± 0.83 días; $p < 0.001$). Conclusión: el HIFT guiado por HRV produjo mejoras similares en la función cardiovascular, la composición corporal y el estado físico que el HIFT predeterminado, a pesar de menos días a alta intensidad. La HRV se muestra prometedora para prescribir una intensidad de ejercicio individualizada durante el entrenamiento HIFT.

Palabras Clave: sistema nervioso autónomo, intensidad de ejercicio, prescripción de entrenamiento

ABSTRACT

Heart rate variability (HRV) may be useful for prescribing high-intensity functional training (HIFT) exercise programs. This study aimed to compare effects of HRV-guided and predetermined HIFT on cardiovascular function, body composition, and performance. Methods: Recreationally-active adults ($n = 55$) were randomly assigned to predetermined HIFT ($n = 29$, age = 24.1 ± 4.1 years) or HRV-guided HIFT ($n = 26$, age = 23.7 ± 4.5) groups. Both groups completed 11 weeks of daily HRV recordings, 6 weeks of HIFT ($5 \text{ d} \cdot \text{week}^{-1}$), and pre- and post-test body composition and fitness assessments. Meaningful changes in resting HRV were used to modulate (i.e., reduce) HRV-guided participants' exercise intensity. Linear mixed models were used with Bonferroni post hoc adjustment for analysis. Results: All participants significantly improved resting heart rate, lean mass, fat mass, strength, and work capacity. However, no significant between-groups differences were observed for cardiovascular function, body composition, or fitness changes. The HRV-guided group spent significantly fewer training days at high intensity (mean difference = -13.56 ± 0.83 days; $p < 0.001$). Conclusion: HRV-guided HIFT produced similar improvements in cardiovascular function, body composition, and fitness as predetermined HIFT, despite fewer days at high intensity. HRV shows promise for prescribing individualized exercise intensity during HIFT.

Keywords: autonomic nervous system, exercise intensity, training prescriptio

INTRODUCCIÓN

Los programas de entrenamiento con ejercicios que se basan en un volumen e intensidad predeterminados a menudo dan como resultado resultados de aptitud física heterogéneos entre los individuos [1]. Para maximizar el potencial del entrenamiento, emplear un programa de entrenamiento individualizado es la estrategia aplicada más práctica [2]. Un factor importante para individualizar el entrenamiento y reducir el riesgo de mala adaptación es la capacidad de monitorear de manera efectiva las respuestas a los factores estresantes del entrenamiento [3]. El estrés del entrenamiento se describe a menudo como la variable de entrada que se manipula para provocar una respuesta fisiológica deseada y se clasifica como carga externa (por ejemplo, velocidad, repeticiones) o interna (por ejemplo, frecuencia cardíaca, lactato) [4, 5].

Una herramienta prometedora y no invasiva para controlar la carga interna y optimizar los resultados del entrenamiento es la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV, *Heart Rate variability*) [6,7]. La HRV se evalúa midiendo los intervalos de tiempo entre latidos cardíacos sucesivos, ya que un aumento o disminución de estos intervalos refleja cambios en la regulación autónom cardíaca [8]. La HRV es una herramienta válida para evaluar la variación individual en la adaptación, la fatiga y el sobreentrenamiento durante los programas de entrenamiento [7,9,10]. Las mediciones diarias de la HRV se utilizan a menudo para ajustar las prescripciones del entrenamiento para actividades de resistencia como correr [9,11], esquí de fondo [12] y ciclismo [6,10]. Los programas de entrenamiento de la resistencia que utilizan la individualización guiada por la HRV, mejoran el VO_2pico , la potencia máxima en los corredores [11] y el rendimiento en la prueba contrarreloj de 40 minutos en los ciclistas [10]. Además, la frecuencia del entrenamiento de resistencia se puede aumentar cuando se usa la HRV para determinar los intervalos de recuperación [13].

Si bien estos hallazgos son prometedores, su enfoque en los regímenes de entrenamiento de resistencia de una sola modalidad no refleja la complejidad del entrenamiento deportivo de alto nivel o las tendencias actuales en los programas de ejercicio. El entrenamiento funcional de alta intensidad (HIFT, *High-intensity functional training*), una de las '10 principales tendencias de acondicionamiento físico' en el 2018, se compone de ejercicios funcionales, aeróbicos y de fortalecimiento muscular multiarticulares realizados con un esfuerzo o intensidad relativamente altos [14]. El HIFT combina componentes de ejercicios aeróbicos, de levantamiento de pesas y de peso corporal en sesiones de entrenamiento

con patrones constantemente variables en múltiples dominios de tiempo, creando un estímulo único prácticamente todos los días [15]. Esta singularidad del HIFT crea dificultades al intentar cuantificar las cargas de entrenamiento con marcadores externos [15,16]. Sin embargo, el HIFT se modifica de forma inherente individualmente, ya que los ejercicios, los niveles de intensidad y/o los dominios de tiempo se pueden adaptar según sea necesario para cada individuo [17]. Por lo tanto, los programas de HIFT están en una situación ideal para beneficiarse de la implementación de prescripciones de entrenamiento guiadas por la HRV.

Hasta donde sabemos, ningún estudio ha investigado la eficacia de los programas de ejercicio de HIFT guiados por la HRV diaria. El propósito de la investigación actual fue determinar los efectos del entrenamiento de HIFT guiado por HRV en comparación con el entrenamiento de HIFT predeterminado sobre la función cardiovascular, la composición corporal y los resultados de rendimiento en participantes recreativos. Planteamos la hipótesis de que el HIFT guiado por la HRV (es decir, prescribir el volumen de entrenamiento y la intensidad del HIFT en respuesta al estado diario de la HRV) daría como resultado un volumen de entrenamiento reducido a alta intensidad y mejores resultados de la condición física en comparación con el entrenamiento de HIFT predeterminado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental

Este estudio fue una intervención de ensayo controlado aleatorio prospectivo de dos sitios de 11 semanas, diseñado para determinar la eficacia de la HRV como medio para modular el HIFT. Los participantes fueron asignados aleatoriamente en cada sitio a un grupo experimental (guiado por HRV) o de control (predeterminado), con grupos equilibrados por sexo. Después de la asignación, ambos grupos completaron 14 días de mediciones de la HRV en reposo, que sirvieron como valores de referencia. Después del período de referencia, los participantes continuaron tomando lecturas matutinas de la HRV y comenzaron la intervención del ejercicio que consistió en dos bloques de entrenamiento de tres semanas intercalados con semanas de prueba antes y después de la intervención; se utilizó una semana de punto intermedio para recalibrar las métricas de la HRV. La Tabla 1 ilustra el cronograma del estudio. Durante las semanas de entrenamiento, los participantes completaron sesiones de HIFT de 60 minutos en cinco días consecutivos (de lunes a viernes) seguidos de dos días de recuperación (sábado y domingo). Se pidió a los sujetos que participaran en un total de 30 sesiones de entrenamiento con múltiples tiempos de entrenamiento disponibles durante la intervención del ejercicio para mantener una proporción adecuada de participantes por investigador y acomodar los horarios. El grupo guiado por la HRV tenía la intensidad y el volumen del ejercicio modulados en función de sus valores de HRV matutinos, mientras que el grupo predeterminado completó el entrenamiento según lo prescrito. Las medidas de rendimiento se evaluaron con los participantes que asistieron a dos sesiones de laboratorio durante las semanas de prueba, con 48 hs de descanso en el medio.

Tabla 1. Cronograma del estudio desde el inicio hasta el testeo posterior.

Study Duration 11 Weeks						
Weeks 1–2	Random Assignment	Week 3	Weeks 4–6	Week 7	Weeks 8–10	Week 11
Baseline HRV & randomization	HRV-guided Predetermined	Pre-testing VO ₂ max, strength & body composition	HRV-modulated training Predetermined training	Mid-point recalibration of HRV SWC windows	HRV-modulated training Predetermined training	Post-testing VO ₂ max, strength & body composition

Participantes

Para este estudio se reclutó a cincuenta y cinco hombres y mujeres con actividades recreativas de entre 18 y 35 años. En la Tabla 2 se presentan las características iniciales de los participantes, clasificados por grupo y sexo para este estudio. Todos los participantes no informaron limitaciones físicas o de salud para el ejercicio vigoroso, según lo determinado por un cuestionario de antecedentes médicos y un cuestionario de entrenamiento para la actividad física [18]. Además, ningún participante indicó una condición de salud o medicación que alteraría los ritmos cardíacos. Se obtuvo el consentimiento

informado por escrito de todos los participantes antes del comienzo del estudio. El estudio se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki, y dos juntas de revisión institucional de la universidad aprobaron todos los procedimientos (IRB # 9131).

Tabla 2. Descripción de los participantes por grupo y sexo.

	Men (HRV-Guided) (n = 12)	Men (Predetermined) (n = 14)	Female (HRV-Guided) (n = 12)	Female (Predetermined) (n = 17)
Age (years)	25.0 ± 5.1	23.3 ± 2.8	22.4 ± 3.4	24.6 ± 4.8
Weight (kg)	83.4 ± 10.8	89.8 ± 15.5	72.5 ± 21.9	71.8 ± 9.6
Height (cm)	181 ± 8	182 ± 6	164 ± 5	165 ± 4

Procedimientos

Variabilidad del ritmo cardíaco

Todos los participantes tomaron lecturas diarias de HRV por la mañana utilizando una aplicación de teléfono inteligente disponible comercialmente para iOS y Android (Ámsterdam, Países Bajos; consulte <http://www.hrv4training.com/> (1 de junio de 2021)). El software HRV4Training utiliza fotopletimografía para determinar la variabilidad en los intervalos R-R a partir de datos continuos de frecuencia cardíaca [19,20]. Para mantener la confiabilidad de la HRV, se indicó a los participantes que usaran la aplicación por la mañana al despertar, después de la excreción de la vejiga urinaria y en reposo durante cinco minutos. Para realizar las lecturas, los participantes colocaron su dedo índice sobre la cámara del teléfono inteligente durante un minuto mientras estaban en posición supina [21]. La aplicación HRV4Training tiene una metodología incorporada para el filtrado de señales, procesamiento, interpolación, corrección de artefactos y detección de picos R-R que se puede encontrar en la referencia para el desarrollo de la aplicación [19]. Para la monitorización diaria de la recuperación individual (es decir, el equilibrio simpato-vagal) se midió la HRV como la raíz cuadrada media de las diferencias sucesivas (RMSSD). Debido a la falta de normalidad, la RMSSD se transformó utilizando el logaritmo natural (LnRMSSD), que luego se multiplicó por dos para que LnRMSSD (HRVdiaria) pudiera verse en una escala de aproximadamente uno a diez para facilitar la interpretación y reflejar la visualización de la aplicación [22].

Frecuencia cardíaca en reposo

La frecuencia cardíaca en reposo de los participantes (rHR) se recopiló diariamente simultáneamente con las lecturas matutinas de la HRV mediante fotopletimografía a través de la aplicación HRV4Training para teléfonos inteligentes.

Coefficiente de varianza de la variabilidad de la frecuencia cardíaca

El coeficiente de variación del participante en la HRV (CV de la HRV), la cantidad de variabilidad diaria en las puntuaciones de la HRV, se recopiló simultáneamente con las lecturas matutinas de la HRV mediante fotopletimografía a través de la aplicación HRV4Training [23].

Composición corporal

Se midió la composición corporal de todos los participantes antes y después de la prueba. La altura de los participantes se midió al 0.1 cm más cercano con un estadiómetro Charder (Modelo HM 200P; Ciudad de Taichung, Taiwán) en ambos sitios. El peso se midió al 0.1 kg más cercano a través de un Tanita (Tanita TBF-140, Tokio, Japón) en el sitio 1 y una escala de impedancia bioeléctrica Tanita TBF310 (Arlington Heights, IL, EE. UU.) en el sitio 2. El porcentaje de grasa corporal (% BF), la masa grasa (FM) y la masa magra (LM) se midieron utilizando una radiografía de energía dual (DEXA; Discovery A QDR, Hologic, Inc., Marlborough, MA, EE. UU.) en el sitio 1 y una escala de impedancia bioeléctrica Tanita TBF310 en el sitio 2.

Capacidad aeróbica

La capacidad aeróbica se determinó como el consumo máximo de oxígeno (VO₂máx) mediante el protocolo de prueba en

cinta rodante de Bruce [24]. El sitio 1 utilizó una ecuación de regresión predictiva basada en el tiempo hasta el agotamiento [25] para determinar la capacidad aeróbica; el error estándar de la estimación para los masculinos fue de ± 3.55 mL/kg/min y ± 2.70 mL/kg/min para las femeninas. El sitio 2 completó el protocolo de prueba en cinta rodante de Bruce, seguido de una validación del consumo máximo de oxígeno para garantizar que no hubiera un aumento adicional en el consumo de oxígeno con el aumento de la carga de trabajo [26]. Las fracciones de gas expirado se evaluaron mediante el registro de datos respiro a respiro y las mediciones se analizaron a intervalos de 15 seg (ParvoMedics TrueOne 2400 Metabolic, Salt Lake City, UT, EE. UU.). La calibración del gas y del flujo del carro metabólico se calibraron antes de cada sesión de prueba usando una jeringa de 3 L y siguiendo las instrucciones del fabricante. La frecuencia cardíaca se registró de forma continua utilizando un monitor de frecuencia cardíaca con correa para el pecho Polar H7 (Polar Electro OY, Kempele, Finlandia).

Capacidad de trabajo físico

La capacidad de trabajo físico se midió a través de un entrenamiento de 10 minutos en el que los participantes completaron la mayor cantidad posible de rondas de los siguientes ejercicios: 12 sentadillas 'globet' (20 kg de pesas rusas para hombres, 12 kg de pesas rusas para mujeres), 12 burpees y 24 calorías en un ergómetro de remo. (Modelo D, Monitor PM5, Concept 2 Inc., Morrisville, VM, EE. UU.).

Fuerza muscular

La fuerza máxima se determinó mediante el protocolo de una repetición máxima (1RM) para la sentadilla con barra atrás, el press sobre cabeza con barra (OH) y el peso muerto con barra en kilogramos [27], de acuerdo con la metodología de investigación anterior [15]. Las sumas totales individuales de 1RM para sentadilla trasera, press OH y peso muerto se designaron como el CrossFit Total (CFT) de cada participante [28]. Cada levantamiento fue supervisado y verificado por profesionales del ejercicio certificados, que también eran asistentes de la investigación, y los tiempos de descanso de los participantes se controlaron con un mínimo de tres minutos y un máximo de cinco minutos entre los intentos máximos [29].

Programa de entrenamiento de ejercicios de alta intensidad

El programa de ejercicio de alta intensidad empleado en este estudio fue HIFT, que utiliza una popular plantilla de HIFT basada en la comunidad [30]. Todas las sesiones de entrenamiento se realizaron en interiores como ejercicio grupal y fueron supervisadas por un asistente de investigación con un certificado de CrossFit® Nivel 1. Las sesiones de entrenamiento para el sitio 1 se llevaron a cabo en una instalación comunitaria de HIFT, mientras que las sesiones para el sitio 2 se llevaron a cabo dentro del Laboratorio de Entrenamiento de Intensidad Funcional en la Universidad Estatal de Kansas. El protocolo de entrenamiento para este programa ha sido descrito previamente por Crawford y cols. [15], y los detalles específicos de la estructura y los componentes de cada sesión de entrenamiento diario se pueden encontrar en la Tabla A1. Todas las sesiones de entrenamiento duraron aproximadamente 1 hora y consistieron en un calentamiento dirigido por un instructor, un período de preparación motriz, un entrenamiento diario y una vuelta a la calma. Se programaron un total de 30 sesiones de entrenamiento y se requirió una tasa de adherencia del 80% para la inclusión de los participantes en el análisis de los datos. Los participantes permanecieron en condiciones de vida libre y se les pidió que no participaran en ningún entrenamiento de ejercicio adicional fuera del estudio.

Modulación para el programa de entrenamiento con ejercicios de alta intensidad

Se utilizó un período de referencia de 14 días para establecer los valores de HRV de referencia individuales. Se calcularon los promedios móviles individuales de siete días ($\text{Ln rMMSD}_{7\text{día}}$) para determinar y realizar un seguimiento de los cambios en la HRV en reposo en respuesta al entrenamiento. Se utilizó el $\text{Ln rMMSD}_{7\text{día}}$ ya que se ha demostrado que es superior para predecir el estrés del entrenamiento en lugar de los valores de HRV de un sólo día [7]. Las ventanas de cambio más mínimo que valga la pena (SWC) se establecieron para monitorear cambios significativos con respecto a la HRV de referencia. Investigaciones anteriores han establecido las SWC en la HRV en reposo como una desviación estándar de ± 0.5 de la media de Ln rMSSD de un individuo [2,7,11,31]. Para este estudio, se calcularon dos ventanas de cambio de SWC como ± 0.5 desviación estándar (SWC1) y ± 1 desviación estándar (SWC2) de la media de Ln rMMSD del individuo, con el fin de modular el estrés del entrenamiento durante la intervención de ejercicio.

A cada participante guiado por la HRV se le prescribió un volumen e intensidad de entrenamiento reducidos cuando su promedio de siete días de HRV diaria ($\text{HRV}_{7\text{días}}$ indexado por $\text{Ln rMMSD}_{7\text{días}}$) difería significativamente de los valores iniciales de tal manera que cayeran dentro de una ventana del SWC [32]. Cuando el $\text{Ln rMMSD}_{7\text{día}}$ de un participante estaba dentro del SWC1, no se prescribieron modificaciones del entrenamiento. Si el $\text{Ln rMMSD}_{7\text{día}}$ del participante caía entre SWC1 y SWC2, su entrenamiento programado se reducía un 25% en volumen (es decir, repeticiones) y carga externa (es decir, peso absoluto). Si el $\text{Ln rMMSD}_{7\text{día}}$ del participante excedió el SWC2, completaron una sesión de recuperación activa de baja intensidad (es decir, $> 50\%$ de la FC reposo) (por ej., actividades de caminata y estiramiento ligero) durante una duración fija de 20 min. En la Tabla A2 se proporciona una descripción detallada de la sesión de entrenamiento ligera

y modificada. Los valores de HRV obtenidos durante el período basal se utilizaron para el primer bloque de entrenamiento. Después de las pruebas previas a la intervención y tres semanas de entrenamiento (15 sesiones de entrenamiento), las medias de la HRV y ambas ventanas de monitoreo del SWC, se recalcularon para el segundo período de entrenamiento, ya que hallazgos anteriores han demostrado cómo los cambios en la condición física pueden alterar la HRV en reposo [33,34,35], y la dosis de completar 15 sesiones de HIFT debería ser suficiente para provocar mejoras en el estado físico [16,36,37]. El grupo predeterminado completó todas las sesiones de entrenamiento sin modulación de intensidad. El sitio 1 evaluó la carga de entrenamiento de Edward para evaluar la eficacia del entrenamiento modulado, que está disponible en investigaciones previamente publicadas [32].

Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando el lenguaje y el entorno informático estadístico R [38] a través de la interfaz gráfica de usuario de Jamovi [39]. Se verificó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la inspección visual de los correspondientes gráficos Q-Q de residuos. Las relaciones entre los datos de efectos fijos (es decir, grupo y punto de tiempo) y métricas de resultados (es decir, cardiovascular, composición corporal y rendimiento) se evaluaron utilizando modelos lineales de efectos mixtos a través del módulo GAMLj de Análisis general para modelos lineales [40]. Los participantes individuales se ingresaron como factores aleatorios dentro de los modelos y la masa corporal magra se utilizó como una covariable, debido a correlaciones significativas identificadas con las métricas de los resultados. Se utilizó un nivel alfa de 0.05 para todas las inferencias estadísticas. Las evaluaciones *post hoc* se ajustaron mediante la corrección de Bonferroni. Se calcularon los tamaños del efecto (ES) para los cambios dentro y entre los grupos. Los ES se clasificaron como 0.2 "pequeños", 0.5 "medianos" y +0.8 "grandes" [41].

Resultados

Los valores iniciales y posteriores a la prueba para cada grupo de entrenamiento se muestran en la Tabla 3. El entrenamiento guiado por la HRV dio como resultado cambios similares en la función cardiovascular, la composición corporal y el rendimiento que el entrenamiento predeterminado (Tabla 3 y Figura 1). Los mayores cambios porcentuales fueron para el % de BF predeterminado (disminución del 15.7%) y la FM (disminución del 15.1%), y la sentadilla guiada por la HRV (aumento del 14.2%) y el peso muerto (aumento del 12.6%). El grupo guiado por HRV completó significativamente menos días a alta intensidad (DHI) que el grupo predeterminado, como se muestra en la Tabla 4. Los participantes mostraron una alta adherencia al entrenamiento y monitoreo diario de la HRV (Tabla 4).

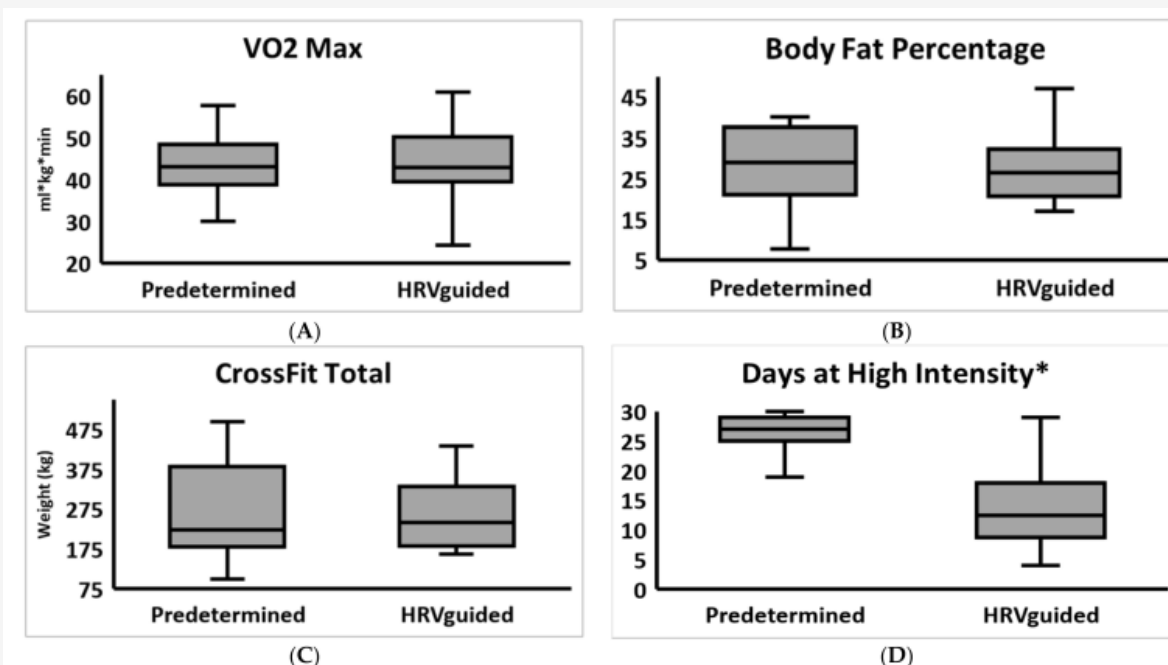


Figura 1. Cambios en las métricas de los resultados primarios (A) VO2máx, (B) porcentaje de grasa corporal, (C) CrossFit total y (D) días en alta intensidad ordenados por grupo. * Indica una diferencia estadísticamente significativa.

Tabla 3. Comparaciones dentro y entre grupos de cambios previos y posteriores a la prueba en los resultados clave.

	HRV-Guided				Predetermined				Between Group
	Pre	Post	% Change	ES	Pre	Post	% Change	ES	ES
Cardiovascular function									
Resting heart rate (bpm)	73.6 ± 9.8	69.3 ± 9.0	-5.84	0.46	74.6 ± 14.6	72.7 ± 11.4	-2.55	0.15	0.33
Heart rate variability (ms)	8.4 ± 1.1	8.6 ± 1.1	2.38	0.14	8.7 ± 1.2	8.7 ± 1.2	0	0.01	0.09
CV of HRV (ms)	10.1 ± 3.9	9.0 ± 3.8	-10.89	0.28	8.7 ± 3.3	9.5 ± 3.1	9.20	-0.24	0.14
Body composition									
Body fat %	31.8 ± 11.1	29.2 ± 9.7	-8.18	0.63 *	31.8 ± 8.3	26.8 ± 8.1	-15.73	0.61 *	0.27
Lean mass (kg)	54.5 ± 13.5	54.8 ± 13.3	0.55	0.02	52.6 ± 11.2	54.0 ± 11.5	2.66	-0.12	0.06
Fat mass (kg)	23.9 ± 8.8	23.5 ± 8.7	-1.67	0.05	23.9 ± 8.8	20.3 ± 8.5	-15.06	0.42	0.37
Fitness outcomes									
VO ₂ max (mL * kg * min)	42.1 ± 6.8	43.0 ± 7.5	2.14	0.13	44.4 ± 6.4	44.2 ± 8.0	-0.45	0.03	0.15
Work capacity (reps)	131 ± 36	147 ± 35	12.21	0.45	127 ± 24	145 ± 26	14.17	-0.70 *	0.06
Squat (kg)	90.2 ± 44.5	103 ± 45.0	14.19	0.29	87.6 ± 33.2	99.1 ± 31.5	13.13	-0.36	0.10
Press (kg)	41.6 ± 18.9	45.3 ± 21.4	8.89	0.18	41.5 ± 16.2	45.5 ± 16.4	9.64	-0.25	0.01
Deadlift (kg)	103 ± 46	116 ± 47	12.62	0.27	107 ± 34	121 ± 47	13.08	-0.34	0.11
CrossFit total (kg)	232 ± 109	259 ± 108	11.63	0.25	237 ± 82	266 ± 85	12.24	-0.35	0.07

Values are presented as mean ± SD. * moderate effect size. VO₂max, maximal oxygen consumptions; ES, effect size.

Tabla 4. Métricas de intervención del estudio por grupo.

	HRV-Guided		Predetermined		Between Group
	Mean	95% CI	Mean	95% CI	ES
Days at high intensity (days)	12.9 ± 5.6	11.7; 14.1	26.5 ± 2.6	25.4; 14.1	3.12 **
Training adherence (days completed)	86.8 ± 9.5	84.3; 89.0	89.8 ± 7.6	87.5; 92.0	0.35
HRV compliance (% days recorded)	95.1 ± 4.8	93.8; 96.7	94.6 ± 5.9	92.9; 95.6	0.09

Values are presented as mean ± SD. ** large effect size. CI, confidence interval; ES, effect size.

Efectos sobre la función cardiovascular

Se observó un efecto principal significativo para el tiempo para la FC ($F = 4,89$; diferencia media = -3.25 ± 1.47 lpm; IC del 95% = $-6.14, -0.37$; $p = 0.035$) observándose una reducción en la FC en reposo en ambas condiciones de antes y después de la prueba. No se observaron otros efectos principales sobre la función cardiovascular.

Efectos sobre la composición corporal

Se observaron efectos principales significativos para el tiempo para la LM ($F = 16,43$; diferencia media = 1.19 ± 0.29 kg; IC del 95% = $0.61, 1.77$; $p < 0.001$) y la FM ($F = 4,39$; diferencia media = -0.62 ± 0.3 kg; IC del 95% = $-1.12, -0.36$; $p = 0.045$), y todos los individuos mejoraron la LM y la FM en la post-prueba. No se observaron otros efectos principales sobre la composición corporal.

Efectos sobre los resultados del desempeño

Se observaron efectos principales significativos para el tiempo para la capacidad de trabajo ($F = 14,92$; diferencia media = 16.87 ± 4.37 ; IC del 95% = 8.31, 25.44; $p < 0.001$), sentadilla ($F = 29,16$; diferencia media = 7.98 ± 1.48 kg; 95 % CI = $-5.08, 10.87$; $p < 0.001$), Press OH ($F = 10.52$; diferencia media = 2.62 ± 0.81 kg; 95% CI = 1.04, 4.20, $p < 0.003$), peso muerto ($F = 22.09$; diferencia media = 10.37 ± 2.21 kg; IC del 95% = 6.05, 14.70; $p < 0.001$) y CFT ($F = 20,68$; diferencia media = 21.79 ± 4.18 kg; IC del 95% = 13.61, 29.88; $p < 0.001$) donde ambos grupos mejoraron en la post-prueba. No se observaron otros efectos principales sobre los resultados del desempeño.

Efectos sobre las métricas de intervención

Se observó un efecto principal significativo para el grupo para el DHI ($F = 270,46$; diferencia media = -13.56 ± 0.83 días; IC del 95% = $-15.20, -11.99$; $p < 0.001$) con el grupo guiado por la HRV que entrenó menos DHI. La adherencia al entrenamiento de las 30 sesiones de entrenamiento prescritas para el grupo predeterminado fue de 26.3 a 27.6 sesiones y para el grupo guiado por HRV fue de 25.3 a 26.7 sesiones.

Discusión

Este estudio evaluó los efectos de un HIFT predeterminado y uno guiado por HRV en los resultados de salud y estado físico en participantes recreativos activos. Nuestros resultados apoyan nuestra primera hipótesis, ya que la prescripción guiada por HRV resultó en menos DHI en comparación con una prescripción predeterminada. Esto se demuestra cuando el grupo guiado por HRV completa 17 de 30 días como días de entrenamiento modulados de menor intensidad. Nuestra segunda hipótesis de que la prescripción guiada por la HRV provocaría mayores mejoras en los resultados de aptitud física que el grupo predeterminado no fue respaldada por los datos. Esto es evidente por la falta de diferencias significativas entre los grupos para los cambios en todas las medidas de fitness del resultado primario. En conjunto, estos hallazgos son de interés, ya que demuestran que el entrenamiento guiado por la HRV produce mejoras similares en los resultados de aptitud física mientras se realizan menos sesiones de entrenamiento a alta intensidad en comparación con una prescripción predeterminada.

Nuestro hallazgo de que el entrenamiento guiado por HRV no resultó en mayores cambios en la capacidad aeróbica o de trabajo que el entrenamiento predeterminado en un programa de HIFT de 9 semanas fue similar a investigaciones previas de ejercicios aeróbicos donde el grupo guiado por HRV mostró aumentos en la capacidad aeróbica sin diferencias significativas entre los grupos [6,10,11]. Además, no se observó un tamaño de efecto pequeño o moderado entre los grupos, como informaron previamente Vesterninen y cols. [42] y Nuutila y cols. [43], respectivamente. Este hallazgo no es atípico ya que Hautala y cols. [44] han demostrado que las adaptaciones de la capacidad aeróbica no son universales y pueden estar impulsadas por factores intrínsecos que predisponen a los individuos a adaptaciones favorables basadas en el modo de entrenamiento.

No observamos diferencias significativas entre los grupos en cuanto a mejoras en sentadillas máximas, press OH, peso muerto y CrossFit total. La falta de diferencias grupales observadas es similar a los hallazgos de De Oliveira y cols. [13] sobre la fuerza máxima en hombres jóvenes entrenados con sobrecarga que se someten a un entrenamiento guiado por la HRV. Sin embargo, De Oliveria y cols. [13] usaron la HRV para aumentar la frecuencia del entrenamiento, mientras que usamos la HRV para modular la intensidad del entrenamiento. Nuestros hallazgos amplían los de De Oliveria y cols. [13] y sugieren que la HRV es una herramienta práctica para individualizar la prescripción de la frecuencia e intensidad del entrenamiento. Esto mejora la capacidad del practicante/entrenador para determinar cuándo y cuánto estrés aplicar en el entrenamiento.

Nuestros participantes mostraron un aumento en la fuerza general después de la participación del HIFT independientemente del grupo. El hallazgo de que el HIFT es una estructura de programa válida para mejorar la fuerza está respaldado por los hallazgos de Heinrich y cols. [45] y Buckley y cols. [46] en el que los participantes de HIFT mostraron aumentos en el 1RM de press de banco, sentadilla trasera, press OH y peso muerto. Es posible que los cambios observados en la fuerza fueran el resultado de que nuestros participantes fueran clasificados como "novatos", o como resultado de un paradigma de entrenamiento efectivo. Para determinar la causa, las investigaciones futuras deben aplicar esta intervención en diferentes clasificaciones de experiencia de los participantes de HIFT. Estos hallazgos demuestran que HIFT 5 días/semana-1 es una metodología eficaz para mejorar la fuerza muscular.

La FC de reposo matutina disminuyó significativamente para los grupos guiados por HRV y predeterminados desde antes y después de la prueba, mientras que no se observaron cambios significativos en la HRV o en el CV de la HRV. Nuestros hallazgos entran en conflicto con los de Kliszczewicz y cols. [47] que no observaron mejoras en la FC de reposo después de 15 semanas de HIFT, aunque tampoco encontraron cambios en la HRV. La falta de cambio observado en la HRV puede ser una función de la naturaleza del HIFT, como Schneider y cols. [48] observaron una disminución y ningún cambio en la HRV después de un microciclo de entrenamiento de la fuerza y entrenamiento en intervalos de alta intensidad, respectivamente. Aunque no fueron significativos, se encontraron cambios; observamos una tendencia de aumento de la HRV que sugiere un

aumento de la actividad parasimpática. Anteriormente, se ha demostrado que los aumentos en la actividad parasimpática se asocian con características mejoradas del fitness, así como con una reducción de las perturbaciones homeostáticas en respuesta a factores estresantes posteriores [7, 49, 50].

Es de destacar que observamos mejoras similares en la condición física en ambos grupos a pesar de que el grupo guiado por HRV pasó significativamente menos tiempo entrenando a alta intensidad, es decir, 13 días menos. Esto es consistente con los hallazgos de Vesterinen y cols. [42] en el que los corredores de resistencia recreativos guiados por la HRV dedicaron menos tiempo a entrenar a intensidad moderada y alta. Dado que la respuesta de la HRV de un individuo o la capacidad de mantener el equilibrio homeostático puede variar debido al historial de entrenamiento, la modalidad de ejercicio y la intensidad del ejercicio, una prescripción de entrenamiento predeterminada puede subestimar o sobreestimar el tiempo de recuperación necesario requerido [13,51,52,53]. El uso de una prescripción de entrenamiento guiada por HRV puede ayudar a los profesionales/entrenadores a optimizar el tiempo de aplicación del estrés del entrenamiento.

Además, la composición corporal de los participantes mejoró en nuestros dos grupos de entrenamiento. Este hallazgo contrasta con los de Nuuttila y cols. [43] en el que no se observaron cambios en el peso corporal o el porcentaje de grasa después de 11 semanas de carrera guiada por la HRV. Los cambios que observamos pueden atribuirse a los altos niveles de grasa corporal de nuestros participantes en >22% versus <13% para los participantes de Nuuttila y cols. [43]. Cambios favorables en la composición corporal fueron encontrados por Feito y cols. [54] tanto en hombres como en mujeres, después de 16 semanas de HIIT. Al igual que en el estudio de Feito y cols. [54], nuestros participantes no realizaban actividad física dirigida específicamente a los cambios en la composición corporal antes del estudio, lo que permite un cambio significativo en la composición corporal antes y después de la prueba como medida del resultado de la intervención de entrenamiento.

Una limitación de este estudio es que las mediciones de la HRV fueron tomadas por los participantes en forma individual y no dentro de un laboratorio, lo que perjudica el proceso de estandarización. No podemos decir con certeza que todas las mediciones de la HRV se adherieron al protocolo durante todo el estudio. Se debe otorgar un grado de confianza inherente a los participantes para que se adhieran estrictamente a los protocolos de medición, y si bien esto aumenta la validez externa de nuestros hallazgos, puede haber afectado nuestra validez interna. No pudimos registrar y cuantificar la carga interna del participante (por ejemplo, FC de reposo) o la carga externa (por ejemplo, el volumen de entrenamiento total) durante cada sesión de entrenamiento como lo hicieron De Oliveira y cols. [13], para demostrar la diferencia en el trabajo total realizado por ambos grupos. La cuantificación del trabajo total completado por los participantes dentro de cada grupo proporcionaría un apoyo adicional a la carga de entrenamiento reducida completada por el grupo guiado por la HRV. Debido al diseño de dos sitios, se utilizaron diferentes medidas de composición corporal en cada sitio, lo que puede contribuir a una mayor variabilidad en esta métrica del resultado. Se indicó a los participantes que se abstuvieran de realizar cualquier ejercicio adicional fuera de la intervención, pero no pudimos garantizar que se cumplieran estas instrucciones durante todo el período del estudio. Finalmente, no pudimos determinar la contribución de la hipertrofia muscular a las ganancias de fuerza observadas, ya que no se evaluó el corte transversal del músculo.

Una fortaleza clave de nuestro estudio es que pudimos demostrar cómo una aplicación para teléfonos inteligentes disponible comercialmente, con un costo individual bajo, puede ser una herramienta eficaz para modular la prescripción individual de la intensidad del ejercicio. Además, demostramos una alta adherencia a los registros diarios de la HRV y los protocolos de ejercicio por parte de los participantes. Esto demuestra que las grabaciones diarias de la HRV son controlables para los participantes durante un período de 11 semanas. Nuestros participantes mostraron un alto nivel de cumplimiento del registro de la HRV (>90%) y adherencia al entrenamiento (>80%) durante la intervención de 11 semanas. Finalmente, este es el primer estudio que modula la prescripción del entrenamiento HIIT en función de la HRV individual.

Conclusiones

En conclusión, la modulación de la intensidad del ejercicio HIIT según el estado de la HRV individual, entre los participantes recreativos activos, dio como resultado mejoras del fitness similares a las del HIIT predeterminado para la capacidad aeróbica, la fuerza, las adaptaciones cardiovasculares y la composición corporal, a pesar de pasar menos días entrenando a alta intensidad. En la práctica, nuestros hallazgos sugieren que el uso de un promedio móvil de la HRV es una herramienta eficaz para modular la intensidad del entrenamiento diario, con un enfoque en la prescripción individual. Los entrenadores y profesionales pueden usar la HRV como una herramienta para individualizar de manera efectiva la prescripción de ejercicio para la participación del HIIT, aunque se necesita investigación adicional para examinar los efectos en participantes bien entrenados.

Financiamiento

Este trabajo fue apoyado por la fundación Mindlin (48-0771751) y la Oficina de Investigación de Pregrado de la Universidad Estatal de Kansas.

Declaración de la Junta de Revisión Institucional

El estudio se realizó de acuerdo con las pautas de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por las Juntas de Revisión Institucional de la Universidad Estatal de Kansas (IRB # 9131; 14 de marzo de 2018) y la Universidad Estatal de Pittsburg (26 de julio de 2017).

Declaración del consentimiento informado

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los sujetos involucrados en el estudio.

Declaración de disponibilidad de datos

Los datos presentados en este estudio están disponibles a pedido del autor correspondiente.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. Los patrocinadores no tuvieron ningún papel en el diseño del estudio; en la recopilación, análisis o interpretación de los datos; en la redacción del manuscrito o en la decisión de publicar los resultados.

Apéndice A

Cuadro A1. Descripción detallada de la intervención diaria de entrenamiento funcional de alta intensidad

	HRV-Guided		Predetermined		Between Group
	Mean	95% CI	Mean	95% CI	ES
Days at high intensity (days)	12.9 ± 5.6	11.7; 14.1	26.5 ± 2.6	25.4; 14.1	3.12 **
Training adherence (days completed)	86.8 ± 9.5	84.3; 89.0	89.8 ± 7.6	87.5; 92.0	0.35
HRV compliance (% days recorded)	95.1 ± 4.8	93.8; 96.7	94.6 ± 5.9	92.9; 95.6	0.09

Values are presented as mean ± SD. ** large effect size. CI, confidence interval; ES, effect size.

Cuadro A2. Descripción detallada del entrenamiento modificado y ligero.

Day	Structure	Structured Daily Workout
1	M	Two-mile Run (no time cap)
2	GW	[8 Push Press (135/95 lbs.) + 8 Pull-Ups] × 5 rounds for time
3	MGW	[12 Goblet Squats (45/25 lbs.) + 12 Burpees + 24 Calorie Row] AMRAP in 10 min
4	MG	[400-m Run + 25 Box Jumps (18/12")] × 3 rounds for time
5	W	Deadlift 5-5-5-5 working up to target 85% of 1RM
6	G	Kipping Pull-Up practice for 20 min
7	WM	[10 Thrusters (135/95 lbs.) + 100 Double Unders] × 4 rounds for time
8	GWM	[6 Handstand Push-Ups + 12 Deadlifts (185/135 lbs.) + 500 m Row] AMRAP in 12 min
9	GW	[15 Ring Rows + 20 Wall Balls (20/14 lbs.)] × 4 rounds for time
10	M	8 km Partner Row (no time cap)
11	W	Front Squat 1-1-1-1-1-1-1-1 working up to target a 1RM
12	MG	[400-m Run + 20 Push-Ups] × 5 rounds for time
13	WMG	[5 Cleans (135/95 lbs.) + 10 Pull-Ups + 15 Double Unders] AMRAP in 15 min
14	WM	[10/20-8/16-6/12-4/8-2/4 repetitions of Power Clean/Calorie Row] for time
15	G	Handstand Push-Up Practice for 20 min
16	W	Squat 3-3-3-3-3-3 working up to target 90% 1RM
17	MG	[800-m Run + 25 Sit-Ups] × 3 rounds for time
18	MGW	[50 Double Unders + 5 Box Jumps (18/12") + 15 Ball Slams (20/14 lbs.)] AMRAP in 15 min
19	GW	[6 Strict Pull-Ups + 6 Front Squats (50% Squat 1RM)] × 4 rounds for time
20	M	Two-mile Run (no time cap)
21	M	Tabata Double Unders × 2
22	GW	[Maximum repetitions Handstand Push-Ups + 6 Deadlifts (75% 1RM)] × 5 rounds for time
23	GWM	[20 Sit-Ups + 16 Dumbbell Clean and Jerk (45/20 lbs.)]
24	WM	[30 Kettlebell Swings (45/20 lbs.) + 400 m Run] × 5 rounds for time
25	G	Strict Pull-Up Practice (Loaded) for 25 min
26	G	Muscle Up Practice for 25 min
27	WM	[6 Squats (50% 1RM) + 50 Double Unders] × 4 rounds for time
28	WMG	[12 Goblet Squats (45/25 lbs.) + 12 Burpees + 24 Calorie Row] AMRAP in 10 min
29	MG	[400-m Run + 10 Handstand Push-Ups] × 5 rounds for time
30	W	Clean 1-1-1-1-1-1-1-1 working up to target 1RM

M = monostructural (i.e., a single cardiovascular exercise modality) exercise, G = gymnastics exercise, W = weightlifting exercise, and AMRAP = "as many rounds as possible". Daily workouts were scaled to match individual capabilities on an as-needed basis. All scaling options were in accordance with outlined CrossFit scaling practices as per Glassman (2016) (p. 75). Table is adapted from Crawford et al. (2019).

REFERENCIAS

- Bouchard, C.; Rankinen, T. (2001). Individual differences in response to regular physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2001, 33, S446-S451.
- 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. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2010, 42, 1355-1363.
- Halson, S.L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Med.* 2014, 44, 139-147.
- Impellizzeri, F.M.; Marcora, S.M.; Coutts, A.J. (2019). Internal and external training load: 15 years on. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2019, 14, 270-273.
- Bourdon, P.C.; Cardinale, M.; Murray, A.; Gastin, P.; Kellmann, M.; Varley, M.C.; Gabbett, T.J.; Coutts, A.J.; Burgess, D.J.; Gregson, W.; et al. (2017). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2017, 12, 161-170.
- Javaloyes, A.; Sarabia, J.M.; Lamberts, R.P.; Plews, D.; Moya-Ramon, M. (2020). Training Prescription Guided by Heart Rate Variability Vs. Block Periodization in Well-Trained Cyclists. *J. Strength Cond. Res.* 2020, 34, 1511-1518.
- Plews, D.J.; Laursen, P.B.; Kilding, A.E.; Buchheit, M. (2013). Evaluating training adaptation with heart-rate measures: A methodological comparison. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2013, 8, 688-691.
- Makivic, B.; Djordjevic, M.; Willis, M. (2013). Heart Rate Variability (HRV). as a Tool for Diagnostic and Monitoring Performance in Sport and Physical Activities. *J. Exerc. Physiol. Online* 2013, 16, 103-131.
- Vesterinen, V.; Nummela, A.; Heikura, I.; Laine, T.; Hynynen, E.; Botella, J.; Häkkinen, K. (2016). Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2016, 48, 1347-1354.
- Javaloyes, A.; Sarabia, J.M.; Lamberts, R.P.; Moya-Ramon, M. (2019). Training prescription guided by heart-rate variability in

- cycling. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2019, 14, 23–32.
11. Kiviniemi, A.M.; Hautala, A.J.; Kinnunen, H.; Tulppo, M.P. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2007, 101, 743–751.
 12. Schmitt, L.; Regnard, J.; Parmentier, A.L.; Mauny, F.; Mourot, L.; Millet, G.P. (2015). Typology of “Fatigue” by Heart Rate Variability Analysis in Elite Nordic-skiers. *Int. J. Sports Med.* 2015, 36, 999–1007.
 13. De Oliveira, R.M.; Ugrinowitsch, C.; Kingsley, J.D.; Da Silva, D.G.; Bittencourt, D.; Caruso, F.R.; Borghi-Silva, A.; Libardi, C.A. (2019). Effect of individualized resistance training prescription with heart rate variability on individual muscle hypertrophy and strength responses. *Eur. J. Sport Sci.* 2019, 19, 1092–1100.
 14. Feito, Y.; Heinrich, K.; Butcher, S.; Poston, W. (2018). High-Intensity Functional Training (HIFT). : *Definition and Research Implications for Improved Fitness.* *Sports* 2018, 6, 76.
 15. Crawford, D.A.; Drake, N.B.; Carper, M.J.; DeBlauw, J.A.; Heinrich, K.M. (2018). Are Changes in Physical Work Capacity Induced by High-Intensity Functional Training Related to Changes in Associated Physiologic Measures? *Sports* 2018, 6, 26.
 16. Crawford, D.A.; Drake, N.B.; Carper, M.J.; DeBlauw, J.A.; Heinrich, K.M. (2018). Validity, Reliability, and Application of the Session-RPE Method for Quantifying Training Loads during High Intensity Functional Training. *Sports* 2018, 6, 84.
 17. Heinrich, K.M.; Crawford, D.A.; Langford, C.R.; Kehler, A.; Andrews, V. (2021). High-Intensity Functional Training Shows Promise for Improving Physical Functioning and Activity in Community-Dwelling Older Adults: A Pilot Study. *J. Geriatr. Phys. Ther.* 2021, 44, 9–17.
 18. Thomas, S.; Reading, J.; Shephard, R.J. (1992). Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). . *Can. J. Sport Sci.* 1992, 17, 338–345.
 19. Plews, D.J.; Scott, B.; Altini, M.; Wood, M.; Kilding, A.E.; Laursen, P.B. (2017). Comparison of Heart-Rate-Variability Recording With Smartphone Photoplethysmography, Polar H7 Chest Strap, and Electrocardiography. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2017, 12, 1324–1328.
 20. Esco, M.R.; Flatt, A.A.; Nakamura, F.Y. (2017). Agreement between a Smartphone Pulse Sensor Application and Electrocardiography for Determining lnRMSSD. *J. Strength Cond. Res.* 2017, 31, 380–385.
 21. Esco, M.R.; Flatt, A.A. (2014). Ultra-short-term heart rate variability indexes at rest and post-exercise in athletes: Evaluating the agreement with accepted recommendations. *J. Sports Sci. Med.* 2014, 13, 535–541.
 22. Williams, S.; Booton, T.; Watson, M.; Rowland, D.; Altini, M. (2017). Heart rate variability is a moderating factor in the workload-injury relationship of competitive crossfitTM athletes. *J. Sports Sci. Med.* 2017, 16, 443–449.
 23. Altini, M. (2019). Coefficient of Variation (CV). : *What Is It and How Can You Use It? Available online: <https://www.hrv4training.com/blog/coefficient-of-variation-cv-what-is-it-and-how-can-you-use-it> (accessed on 1 June 2021)..*
 24. Bruce, R.A.; Kusumi, F.; Hosmer, D. (1973). Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am. Heart J.* 1973, 85, 546–562.
 25. Foster, C.; Jackson, A.S.; Pollock, M.L.; Taylor, M.M.; Hare, J.; Sennett, S.M.; Rod, J.L.; Sarwar, M.; Schmidt, D.H. (1984). Generalized equations for predicting functional capacity from treadmill performance. *Am. Heart J.* 1984, 107, 1229–1234.
 26. Poole, D.C.; Jones, A.M. (2017). Measurement of the maximum oxygen uptake Vo2max: Vo2peak is no longer acceptable. *J. Appl. Physiol.* 2017, 122, 997–1002.
 27. Butcher, S.; Neyedly, T.; Horvey, K.; Benko, C. (2015). Do physiological measures predict selected CrossFit® benchmark performance? Open Access J. *Sports Med.* 2015, 6, 241.
 28. Rippetoe, M. (2006). The CrossFit Total. Available online: <http://journal.crossfit.com/2006/12/the-crossfit-total-by-mark-rip.tpl.1/05/2018> (accessed on 1 May 2018)..
 29. Schoenfeld, B.J.; Pope, Z.K.; Benik, F.M.; Hester, G.M.; Sellers, J.; Nooner, J.L.; Schnaiter, J.A.; Bond-Williams, K.E.; Carter, A.S.; Ross, C.L.; et al. (2016). Longer intersets rest periods enhance muscle strength and hypertrophy in resistance-trained men. *J. Strength Cond. Res.* 2016, 30, 1805–1812.
 30. Glassman, G. The CrossFit Level 1 Training Guide. CrossFit J. (2016). 15–25. Available online: http://library.crossfit.com/free/pdf/CFJ_English_Level1_TrainingGuide.pdf (accessed on 11 October 2021)..
 31. Plews, D.J.; Laursen, P.B.; Kilding, A.E.; Buchheit, M. (2012). Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2012, 112, 3729–3741.
 32. Crawford, D.A.; Heinrich, K.M.; Drake, N.B.; DeBlauw, J.; Carper, M.J. (2020). Heart rate variability mediates motivation and fatigue throughout a high-intensity exercise program. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2020, 45, 193–202.
 33. Buchheit, M.; Chivot, A.; Parouty, J.; Mercier, D.; Al Haddad, H.; Laursen, P.B.; Ahmaidi, S. (2010). Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2010, 108, 1153–1167.
 34. Boutcher, S.H.; Park, Y.; Dunn, S.L.; Boutcher, Y.N. (2013). The relationship between cardiac autonomic function and maximal oxygen uptake response to high-intensity intermittent-exercise training. *J. Sports Sci.* 2013, 31, 1024–1029.
 35. Hynynen, E.; Vesterinen, V.; Rusko, H.; Nummela, A. (2010). Effects of moderate and heavy endurance exercise on nocturnal HRV. *Int. J. Sports Med.* 2010, 31, 428–432.
 36. Drake, N.; Smeed, J.; Carper, M.J.; Crawford, D.A. (2017). Effects of Short-Term CrossFit™ Training: A Magnitude-Based Approach. *J. Exerc. Physiol. Online* 2017, 20, 111–133.
 37. Heinrich, K.M.; Becker, C.; Carlisle, T.; Gilmore, K.; Hauser, J.; Frye, J.; Harms, C.A. (2015). High-intensity functional training improves functional movement and body composition among cancer survivors: A pilot study. *Eur. J. Cancer Care* 2015, 24, 812–817.
 38. R Core Team. R (2020). A Language and Environment for Statistical Computing. (Version 4.0). (Computer Software).. 2020. Available online: <https://cran.r-project.org> (accessed on 24 August 2020)..
 39. The Jamovi Project (2021). Jamovi. (Version 1.6). (Computer Software).. 2021. Available online: <https://www.jamovi.org> (accessed on 11 October 2021)..
 40. Gallucci, M. (2019). GAMLj: General Analyses for Linear Models. (Jamovi Module).. 2019. Available online: <https://gamlj.github.io/> (accessed on 11 October 2021)..

41. Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed. ; *Routledge: Hillsdale, NJ, USA, 1988; ISBN 978-0805802832*.
42. Vesterinen, V.; Hakkinen, K.; Laine, T.; Hynynen, E.; Mikkola, J.; Nummela, A. (2016). Predictors of individual adaptation to high-volume or high-intensity endurance training in recreational endurance runners. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2016, 26, 885-893.
43. Nuutila, O.P.; Nikander, A.; Polomoshnov, D.; Laukkanen, J.A.; Häkkinen, K. (2017). Effects of HRV-Guided vs. *Predetermined Block Training on Performance, HRV and Serum Hormones*. *Int. J. Sports Med.* 2017, 38, 909-920.
44. Hautala, A.J.; Kiviniemi, A.M.; Mäkikallio, T.H.; Kinnunen, H.; Nissilä, S.; Huikuri, H.V.; Tulppo, M.P. (2006). Individual differences in the responses to endurance and resistance training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2006, 96, 535-542.
45. Heinrich, K.M.; Spencer, V.; Fehl, N.; Poston, W.S.C. (2012). Mission essential fitness: Comparison of functional circuit training to traditional Army physical training for active duty military. *Mil. Med.* 2012, 177, 1125-1130.
46. Buckley, S.; Knapp, K.; Lackie, A.; Lewry, C.; Horvey, K.; Benko, C.; Trinh, J.; Butcher, S. (2015). Multimodal high-intensity interval training increases muscle function and metabolic performance in females. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2015, 40, 1157-1162.
47. Kliszczewicz, B.; Feito, Y.; Bycura, D.; Brown, D.; Price, B. (2016). Vagal Response To 15-Weeks of High- Intensity Functional Training: A Pilot Study. *J. Sport Hum. Perform.* 2016, 4, 1-10.
48. Schneider, C.; Wiewelhove, T.; Raeder, C.; Flatt, A.A.; Hoos, O.; Hottenrott, L.; Schumbera, O.; Kellmann, M.; Meyer, T.; Pfeiffer, M.; et al. (2019). Heart rate variability monitoring during strength and high-intensity interval training overload microcycles. *Front. Physiol.* 2019, 10, 582.
49. Borresen, J.; Lambert, M.I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise: Measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med.* 2008, 38, 633-646.
50. Kiviniemi, A.M.; Tulppo, M.P.; Hautala, A.J.; Vanninen, E.; Uusitalo, A.L.T. (2014). Altered relationship between R-R interval and R-R interval variability in endurance athletes with overtraining syndrome. *Scand. J. Med. Sci. Sport.* 2014, 24, 77-85.
51. Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Front. Physiol.* 2014, 5, 73.
52. Stanley, J.; Peake, J.M.; Buchheit, M. (2013). Cardiac Parasympathetic Reactivation Following Exercise: Implications for Training Prescription. *Sports Med.* 2013, 43, 1259-1277.
53. Schmitt, L.; Regnard, J.; Millet, G.P. (2015). Monitoring fatigue status with HRV measures in elite athletes: An avenue beyond RMSSD? *Front. Physiol.* 2015, 6, 2013-2015.
54. Feito, Y.; Hoffstetter, W.; Serafini, P.; Mangine, G.T. (2018). Changes in body composition, bone metabolism, strength, and skill-specific performance resulting from 16-weeks of HIFT. *PLoS ONE* 2018, 16, e0198324.

Cita Original

DeBlauw, J. A., Drake, N. B., Kurtz, B. K., Crawford, D. A., Carper, M. J., Wakeman, A., Heinrich, K. M. (2021).. High-intensity functional training guided by individualized heart rate variability results in similar health and fitness improvements as predetermined training with less effort. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 6(4), 102. <https://doi.org/10.3390/jfkm6040102>