Selected Papers from Impact

# Cuantificación de la Carga de Entrenamiento de Ejercicios de Alta Intensidad: Discrepancias entre Métodos Originales y Alternativos

## Training Load Quantification of High Intensity Exercises: Discrepancies Between Original and Alternative Methods

François-Denis Desgorces[1,2], Jean-Christophe Hourcade[1,3], Romain Dubois[4], Jean-François Toussaint[1,2,5] y Philippe Noirez[1,2]

[1]*Institut de Recherche bioMédicale et d'Épidemiologie du Sport, Institut National du Sport de l'Expertise et de la Performance, Paris, France, Université de Paris, Équipe d'accueil, Paris, France*
[2]*Université de Paris, Équipe d'accueil, Paris, France*
[3]*Académie Conseil en Préparation Athlétique (ACPA Performance), Gradignan, France*
[4]*Mouvement, Équilibre, Performance, Santé, Équipe d'Accueil, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Tarbes, France*
[5]*Centre d'Investigations en Médecine du Sport, Hôpital Hôtel-Dieu, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, Paris, France*

## RESUMEN

El propósito de este estudio fue cuantificar las cargas de entrenamiento (TL) de las sesiones de alta intensidad a través de métodos originales (TRIMP; RPE de sesión; Trabajo-Resistencia-Recuperación) y sus alternativas actualizadas (TRIMPacumulativo; RPEsólo; WER nuevo). Se solicitó a diez atletas de resistencia que realizaran cinco sesiones hasta el agotamiento. Sesión 1 compuesta por un rendimiento máximo de 800m y cuatro sesiones intermitentes realizadas a la velocidad de 800m, tres sesiones con 400m de duración de intervalo y relaciones de trabajo:pausa de 2:1, 1:1 y 1:2 y una con intervalos de 200m y 1:1. La TL total se cuantificó desde el inicio de las sesiones hasta el período de enfriamiento y se calculó una TL intermedia (TL800) cuando se acumulaban 800 m de carrera dentro de las sesiones. Al final de las sesiones se informó un RPE alto y similar (tamaño del efecto, η2 = 0.12), mientras que, en la distancia intermedia de 800 m, cuanto mayores distancias de intervalos y relaciones trabajo:pausa, mayor era el RPE (η2 = 0.88). Nuestros resultados muestran marcadas diferencias en la TL total de las sesiones entre los métodos originales (por ej., TL más baja para las sesiones de 800 m y más alta para las sesiones de 200 m-1:1) y métodos alternativos (RPEsólo y WER nuevo; TL similar para cada sesión). En la TL800 aparecen diferencias notables entre TRIMP y otros métodos que están correlacionados negativamente. Todas las TL informan correlaciones leves a moderadas entre los métodos originales y sus alternativos, los métodos originales están fuertemente correlacionados entre sí, como se observa en los métodos alternativos. Las diferencias en la cuantificación de la TL entre los métodos originales y alternativos subrayan que no son intercambiables. Debido a la gran influencia del volumen de ejercicio, los métodos originales mejoran notablemente la TL de las sesiones con volúmenes de ejercicio más altos, aunque estas presentaron distancias de intervalo y relaciones de trabajo-pausa más fáciles. Los métodos alternativos basados en el nivel de agotamiento (WER nuevo) y el esfuerzo (RPEsólo) proporcionaron un nuevo y prometedor punto de vista de la cuantificación de la TL, donde el agotamiento determina la TL más alta sea cual sea el ejercicio. Esto queda por probar con poblaciones más extendidas sometidas a rangos más amplios de ejercicios.

**Palabras Clave:** cuantificar, carga, alta intensidad, discrepancia, métodos

## ABSTRACT

The purpose of this study was to quantify training loads (TL) of high intensity sessions through original methods (TRIMP; session-RPE; Work-Endurance-Recovery) and their updated alternatives (TRIMPcumulative; RPEalone; New-WER). Ten endurance athletes were requested to perform five sessions until exhaustion. Session 1 composed by a 800m maximal performance and four intermittent sessions performed at the 800m velocity, three sessions with 400m of interval length and work:recovery ratios of 2:1, 1:1 and 1:2 and one with 200m intervals and 1:1. Total TL were quantified from the sessions' beginning to the cool-down period and an intermediate TL (TL800) was calculated when 800m running was accumulated within the sessions. At the end of the sessions high and similar RPE were reported (effect size, $\eta 2 = 0.12$), while, at the intermediate 800m distance, the higher interval distances and work:recovery ratios the higher the RPE ($\eta 2 = 0.88$). Our results show marked differences in sessions' total TL between original (e.g., lowest TL for the 800m and highest for the 200m-1:1 sessions) and alternative methods (RPEalone and New-WER; similar TL for each session). Differences appear in TL800 notably between TRIMP and other methods which are negatively correlated. All TL report light to moderate correlations between original methods and their alternatives, original methods are strongly correlated together, as observed for alternative methods. Differences in TL quantification between original and alternative methods underline that they are not interchangeable. Because of high exercise volume influence, original methods markedly enhance TL of sessions with higher exercise volumes although these presented the easiest interval distances and work-recovery ratios. Alternative methods based on exhaustion level (New-WER) and exertion (RPEalone) provided a new and promising point of view of TL quantification where exhaustion determines the highest TL whatever the exercise. This remains to be tested with more extended populations submitted to wider ranges of exercises.



**Keywords:** quantification, load, high intensity, discrepancy, methods


## INTRODUCCIÓN

Hace cuarenta y cinco años, analizando las relaciones entre entrenamiento y rendimiento, Banister y cols. (1975) definieron la "carga de entrenamiento" (TL) como el parámetro clave para medir alguna "dosis" de ejercicio o esfuerzo inducido por el entrenamiento [1]. Sobre la base de su trabajo original y de varios artículos publicados posteriormente, asumimos que la TL es la tensión fisiológica inducida por el ejercicio que resulta de la combinación de las influencias de la intensidad, el volumen y la densidad del ejercicio [2-4]. La mayoría de los métodos originales de cuantificación de la TL multiplican el volumen del ejercicio por un indicador de la intensidad del ejercicio.

Los principales parámetros de ejercicio para los programas de entrenamiento son los siguientes: *i)* intensidad; *ii)* volumen (distancia de un sólo intervalo y distancia total acumulada); *iii)* densidad causada por la duración del período de recuperación (frecuentemente expresada a través de la relación trabajo:pausa) y, a veces, por la intensidad del tiempo de pausa [5]. Estos parámetros son interdependientes. Cualquier cambio de los parámetros puede tener alguna incidencia en la tensión fisiológica con la condición de que los demás parámetros permanezcan constantes. En el contexto de una descripción precisa del entrenamiento y de un análisis comparativo de los efectos del ejercicio, el método utilizado para evaluar la TL debería permitir una cuantificación precisa de todos los ejercicios independientemente de los parámetros. Sin embargo, algunos autores consideran que los ejercicios con volúmenes más altos deberían resultar en una TL más alta en función de su efecto principal esperado sobre el rendimiento. Desafortunadamente, este enfoque lleva a predefinir algunas de las TL de los ejercicios antes del análisis de la relación dosis-respuesta. Postulamos que la TL debería seguir siendo una medida de la dosis de ejercicio sin considerar sus efectos esperados.

Con base en su estudio comparativo de los métodos de cuantificación de la TL, algunos autores sugirieron que ningún método puede calificar como un "estándar de oro" en la actualidad [4,6]. El método de impulso de entrenamiento (TRIMP), propuesto por Banister y cols. se basa en registros de frecuencia cardíaca (FC) para la evaluación de la intensidad. Es ampliamente aceptado como el método histórico que generó conciencia sobre la necesidad de cuantificar el entrenamiento y monitorear a los atletas de una manera nueva [1,4]. Aunque el TRIMP se considera una herramienta valiosa para cuantificar los ejercicios continuos y prolongados, algunos autores señalaron que el uso de la FC media podría no reflejar la demanda fisiológica de los ejercicios intermitentes, apoyando así la idea de adaptaciones de métodos originales [7,8]. Los registros de FC pueden resultar poco prácticos en un contexto de entrenamiento. Teniendo en cuenta las relaciones entre la calificación del esfuerzo percibido (RPE) y de la FC, algunos autores sugirieron el uso de RPE en lugar de FC para evaluar la intensidad de la sesión para la cuantificación de la TL [9]. El método de RPE-sesión (S-RPE) de multiplicar la duración de la sesión por el RPE se propuso hace veinticinco años y, desde entonces, ha sido ampliamente utilizado por

científicos y entrenadores [10,11]. Sin embargo, varios autores sugirieron que el RPE en sí mismo puede proporcionar una evaluación precisa de la TL que no requiere ninguna multiplicación por la duración del ejercicio [6,12]. Esta idea fue reforzada por estudios que describen la notable influencia de la duración del ejercicio sobre el RPE [13,14]. Sobre la base de las relaciones "trabajo acumulado:límite de trabajo" y "trabajo:pausa", se ha desarrollado el método de recuperación de la resistencia al trabajo (WER) para mejorar la precisión de la cuantificación de la TL de los ejercicios intermitentes con respecto al TRIMP y al S-RPE [3]. Aunque el WER se ha adoptado y utilizado para programas de entrenamiento de deportes de combate y juegos de pelota [15,16], Hourcade y cols. (2018) han informado variaciones no deseadas en la TL a través de WER cuando se cambió la distribución de la intensidad dentro de las sesiones [17]. Este estudio sugirió que el WER debería basarse en el límite de resistencia alcanzable de cada sesión de ejercicio. La evaluación de ese límite debe estar alineada con la estructura de la sesión (por ejemplo, distancia de intervalo, relación trabajo:pausa...).

Por lo tanto, algunos metodólogos han argumentado que los métodos originales deben mejorarse en un intento por definir otros alternativos. No obstante, la elección de cualquiera de los métodos de cuantificación parece basarse en su facilidad de uso más que en su capacidad para evaluar la “dosis de esfuerzo” [4,10]. La capacidad métrica utilizada con diferentes métodos para proporcionar una TL equiparada para ejercicios variados es un asunto de importancia en las ciencias del deporte, aunque este tema puede requerir un análisis más detallado.

Este estudio estableció sesiones realizadas hasta el agotamiento: una sesión de rendimiento de 800 m y cuatro sesiones de alta intensidad que varían en la distancia de intervalo y las relaciones trabajo-pausa realizadas a la misma velocidad específica de 800 m. Nuestro principal objetivo fue analizar la TL de las sesiones que han sido cuantificada mediante métodos tanto originales como alternativos. Luego se discutieron las posibles discrepancias en las cuantificaciones de la TL y sus orígenes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sujetos

Participaron en el estudio diez corredores masculinos recreativos de media y larga distancia (19.2±1.2 años; altura y peso 178.1±4.9 cm y 67.9±7.5 kg, respectivamente). Según su nivel de rendimiento durante el período del estudio, se consideró que los sujetos se encontraban en buenas condiciones físicas y mentales y se declaró que no estaban bajo ningún tratamiento con medicamentos. Todos los sujetos estaban entrenando de 6 a 10 horas por semana en los dos últimos años de nuestro estudio. Su entrenamiento constaba de un mínimo de una sesión de intervalos de alta intensidad y dos sesiones de carrera de larga distancia. El tiempo restante de su programa de entrenamiento era asignado a correr u otras actividades deportivas. El período de estudio duró tres semanas y permitió realizar cinco sesiones de ejercicio. Este estudio siguió las guías de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética de las Ciencias del Deporte de Francia. Todos los sujetos proporcionaron su consentimiento informado por escrito antes de su inclusión.

### Diseño

Cada sesión se realizó a las 10.00 horas en una pista de atletismo al aire libre. Se prestó especial atención a la temperatura constante del aire y las condiciones ambientales (respectivamente, 14.6±2.1°C y 47.9±3.3). El protocolo de estudio aumentaba el número de sesiones extenuantes a alta intensidad, cambiando así los hábitos de entrenamiento de los sujetos. Se pidió a los sujetos que llegaran a cada sesión en un estado de reposo, y suspendieran su entrenamiento regular al menos 24 horas antes de cada sesión y evitaran ejercicios agotadores en el período de estudio.

Cada sesión comenzaba con el mismo calentamiento estandarizado de 20 minutos y terminaba con un período de enfriamiento estandarizado. El calentamiento era una carrera de 10 minutos a velocidad baja-moderada, seguida de una serie de ejercicios específicos de 4 minutos (ejercicios atléticos, equilibrio, fortalecimiento) y tres carreras de 100 m a la velocidad específica de 800 m (intercaladas por una recuperación de 1 minuto después de cada carrera). La vuelta a la calma consistía de un período de recuperación pasiva de 4 minutos seguido de una carrera de 6 minutos dentro de 60-65% de la zona de FCmáx. Cada sesión terminaba después de esa rutina de enfriamiento.

El objetivo de la primera sesión era realizar una carrera máxima de 800 m. Luego, los sujetos fueron asignados aleatoriamente para completar cuatro sesiones de intervalo en un orden aleatorio, con un período mínimo de tres días entre cada sesión (3.5±0.6 días). Como en una carrera máxima de 800 m, cada sesión de intervalo se realizó hasta el agotamiento. Aquí, el agotamiento designa la incapacidad de un sujeto para mantener la velocidad esperada durante dos intervalos de 100 m seguidos. El rendimiento de 800 m se utilizó para determinar la velocidad específica que los sujetos tenían que mantener durante las sesiones de intervalo. Al hacerlo, la intensidad del ejercicio se mantenía sin cambios

durante todo el estudio. Durante las carreras de 400 m, la velocidad individual se determinó mediante un *beep* del reloj del corredor en cada intervalo de 100 m (50 m en carreras de 200 m). Para cada participante, se realizó una sesión de intervalo de 200 m con una relación trabajo-pausa de 1:1 (según un índice de duración). A continuación, se realizaron tres sesiones de intervalos de 400 m con proporciones de 2:1, 1:1, 1:2. Los tiempos de recuperación debían ser pasivos, ya que implicaban caminatas lentas y posiciones estáticas. Para ilustrar esto, la figura 1 muestra cómo se llevaron a cabo las sesiones de 800 m y 400 m-1:2.

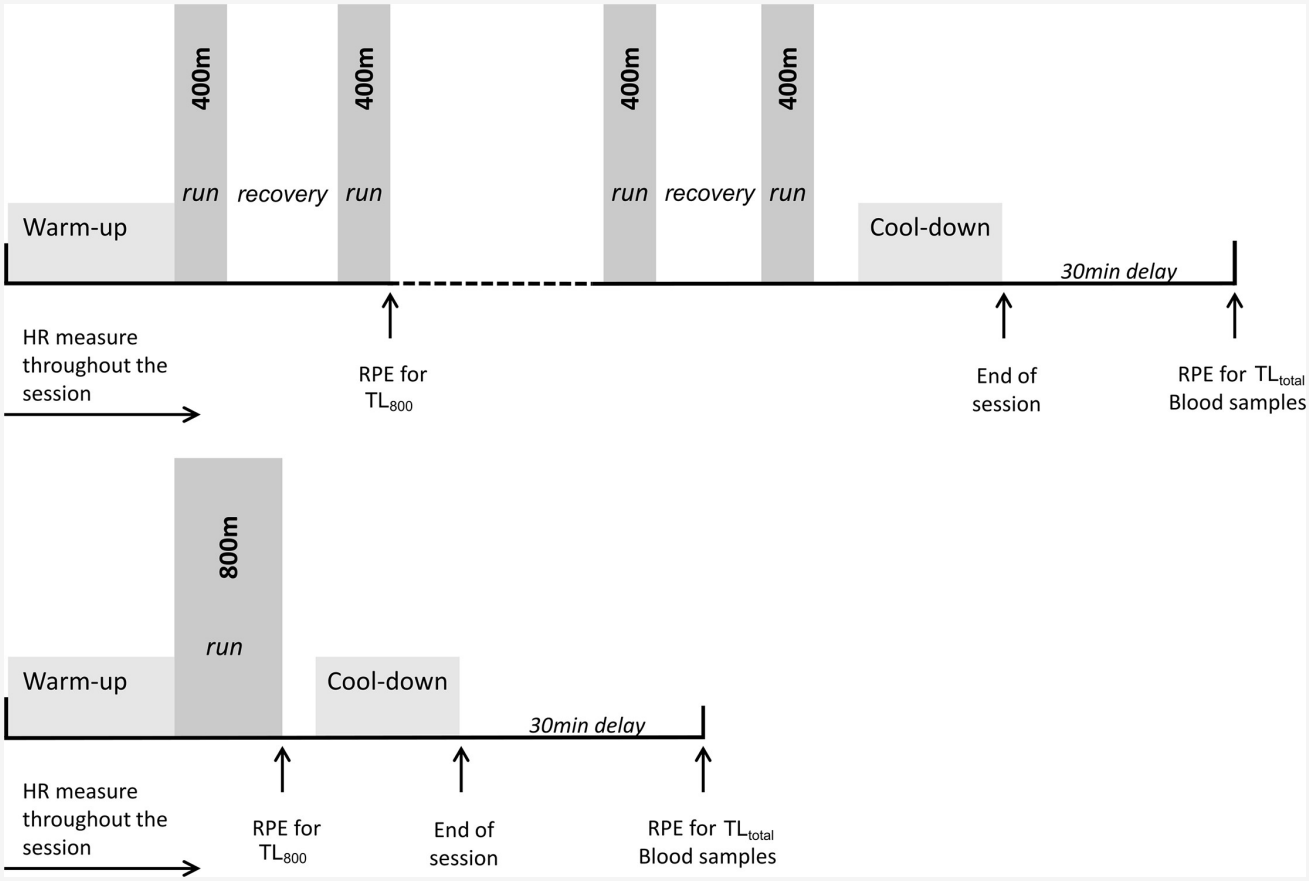



***Figura 1.*** *Protocolo de sesiones de 800m y 400m-1:2.*
*Las sesiones estaban compuestas por calentamiento y vuelta a la calma y por un rendimiento de 800 m o por intervalos de 400 m con períodos de recuperación (dos veces más largos que la duración del trabajo) realizados hasta el agotamiento.*
*https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237027.g001*

**Cuantificación de la carga de entrenamiento**

La TL se cuantificó utilizando tres métodos originales (TRIMP, S-RPE y WER) y sus respectivos métodos actualizados: TRIMP acumulativo (TRIMPc), RPE sólo (RPEsólo) y el nuevo método WER (NeWER). Se calculó la TLtotal para toda la sesión (desde el calentamiento hasta la vuelta a la calma). Para el propósito de este estudio, se calculó una TL intermedia (TL800) para todas las sesiones desde el calentamiento hasta la finalización de 800 m de carrera a la velocidad de rendimiento de 800 m
TRIMP fue determinada por Banister y cols. (1975), como "Ecuación 1":
TRIMP = TD x FCr x 0:64 x e(1:92 x FCr)
TD en la Ec. 1 se refiere a la duración del entrenamiento de la sesión de entrenamiento efectiva expresada en minutos. FCr es la FC de reserva determinada a partir de la ecuación 2:

$$FCr = \frac{(FCts - FCb)}{FCmáx - FCb}$$

FCts en Ecuación 2 designa la FC promedio de la sesión de entrenamiento. FCmáx y FCb son la FC máxima y basal, respectivamente.

Se eligió TRIMPc como método actualizado del TRIMP porque permitía mejorar la cuantificación de ejercicios intermitentes, requiriendo menos adaptaciones que con otros métodos alternativos de TRIMP [8,18]. En resumen, la TL parcial para los intervalos de ejercicio y los períodos de recuperación se calcularon sobre la base del método TRIMP (TRIMPc es la suma de todas las TL parciales) [8].

La TL también se cuantificó utilizando el método S-RPE propuesto por Foster y cols. [19]. La evaluación del RPE de los atletas se multiplicó por la duración total (en minutos) de su sesión de entrenamiento. Como alternativa, el RPE básico (RPEsólo) también se consideró un método válido de evaluación de la TL [10,12].
La TL también se calculó usando el método WER como se describió previamente usando la Ecuación 3 [3]:

$$TL = \left( \frac{\text{trabajo acumulado}}{\text{FinalLim}} \right) + \ln \left( 1 + \frac{\text{Duración de trabajo acumulado}}{\text{Duración de recuperación acumulada}} \right)$$

El trabajo acumulado para cualquier sesión de ejercicio determinada representaba la cantidad total de trabajo que se había completado a la intensidad solicitada, mientras que el Finlim era el límite de resistencia a dicha intensidad. Aunque indujeron un nivel bajo de TL, los períodos de calentamiento y enfriamiento también se cuantificaron y se agregaron a la TL del ejercicio asignado. Se desarrolló un análisis de regresión exponencial de los rendimientos de carrera individuales (800 m, 1500 m y 10000 m o 21000 m) para estimar el límite de resistencia correspondiente a los niveles de intensidad de calentamiento y enfriamiento. Los tiempos de recuperación pasiva durante los períodos de enfriamiento y calentamiento no se pudieron cuantificar.

El NeWER cuantificó la TL de las sesiones utilizando la relación entre la duración acumulada del ejercicio de la sesión y la duración máxima individual en la construcción del ejercicio considerado. El NeWER se expresa como porcentaje de agotamiento de la sesión considerada. En un 400 m-1: 1, por ejemplo, un tiempo de carrera de cuatro minutos puede representar el 50% de la secuencia máxima de ejecución (ocho minutos). Se utilizó el mismo método para calcular la TL para los períodos de calentamiento y enfriamiento. Estos tres valores de TL se agregaron a todo la TL del ejercicio. En resumen, se aplicó un método de mejor ajuste utilizando modelos exponenciales a la FC del ejercicio y a las duraciones máximas del ejercicio que se registraron durante las sesiones de 400 m-2:1, 400 m-1:1 y 200 m-1:1. Esto se hizo para determinar la duración máxima en los niveles de FC registrados durante los períodos de calentamiento y enfriamiento.

**Mediciones**

La FC se midió y se registró cada 5 segundos con transmisores de FC codificados individualmente para evitar interferencias (Polar RS 400, Polar Electro, Kempele, Finlandia) durante cada sesión. La FC más alta alcanzada durante las sesiones de ejercicio o el rendimiento de 800 m se definió como la FCmáx individual. En la primera semana del estudio, se midió la FCb en decúbito supino durante un período de 3 minutos cada mañana durante tres días. El menor de los tres valores se eligió entonces como la FCb individual. Como se mencionó anteriormente, la FC media de las sesiones y el tiempo total transcurrido en la zona del 95 al 100% de la FCmáx se registraron para definir el objetivo de las sesiones que solicitan el consumo de oxígeno [20,21].

Se extrajeron muestras de sangre capilar de la pulpa de un dedo dentro de los 3 minutos siguientes a cada sesión de entrenamiento para analizarlas con el nuevo analizador Lactate pro II (Arkray, Kyoto, Japón).

El RPE se obtuvo utilizando la escala de ratio de categoría modificada (CR-10) de Foster y cols. [19]. Dos semanas antes del estudio, se les enseñó a los sujetos cómo usar la escala CR-10 durante sus sesiones de entrenamiento. Las evaluaciones de RPE durante las sesiones se realizaron preguntando a los participantes "¿Cuánto esfuerzo está sintiendo ahora?" mostrándoles la escala CR-10 con ayudas verbales (desde reposo: 0, hasta ejercicio máximo: 10). De acuerdo con el método de cuantificación de S-RPE, la TLtotal se basó en el RPE que fue registrado 30 minutos después de finalizar cada sesión, incluida la sesión de rendimiento máximo de 800 m. Sin embargo, para calcular la TL800, el RPE también fue registrado después de que se acumulaban 800 m durante el período de recuperación, ya que toda la sesión aún no había terminado y justo después de realizar 800 m.

**Análisis estadístico**

El análisis estadístico se realizó utilizando el software R (versión 3.6.2) (R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria). Después de evaluar la homogeneidad de la varianza con una prueba de Levene, la TL y las medidas de cada sesión (FC, lactato en sangre, volúmenes de ejercicio) se compararon utilizando el enfoque de modelos mixtos lineales (paquete *nlme*), que es un ANOVA de una vía con medidas repetidas (TL × sesión) y (respuesta × sesión). La normalidad de los datos se evaluó gráficamente (ver Fig. S1). Siempre que se detectó alguna diferencia estadística, los análisis *post-hoc* de Bonferroni ajustados sólo se realizaron con pruebas simultáneas para hipótesis lineales generales (paquete *Emmeans*). Cuando se encontró que las varianzas eran heterogéneas, se utilizó un análisis de varianza de bloques aleatorios no

paramétrico específico: la prueba de Friedman. Luego se realizaron análisis *post-hoc* con la prueba Wilcoxon-Nemenyi-McDonald-Thompson (paquetes de *coin* y *multcomp*) utilizando el código de Tal Galili, publicado en r-statistics.com (https://www.r-statistics.com/2010/02/post-hoc-analysis-for-friedmans-test-r-code). En ambos casos, se calcularon los tamaños del efecto de la prueba de Friedman y el ANOVA unidireccional. Las correlaciones entre la TL (cuantificaciones TLtotal y TL800), o entre la TL y los parámetros evaluados se analizaron utilizando la correlación de momentos de Pearson. También se calcularon los intervalos de confianza para los coeficientes de correlación de Pearson (paquete psicométrico). Se calcularon las desviaciones medias y estándar (media ±SD) para cada parámetro y la significación estadística se estableció en $p < 0.05$.

**Resultados**

El rendimiento medio en 800 m fue de 129.6±6.7 seg (22.3 km·h-1). La FCmáx y la FCb de los sujetos fueron respectivamente 196±4.6 y 44.8±6.2 lpm. El calentamiento estandarizado de 20 min condujo a una FC media de 135.2±5.2 lpm sin ninguna diferencia entre las sesiones ($p = 0.9$) como para la FC de la vuelta a la calma o enfriamiento (128.8±5.9 lpm, $p = 0.6$).

La Tabla 1 informa la duración total de las sesiones, las medidas de FC, las concentraciones de lactato en sangre y la percepción del esfuerzo al final de las sesiones y después de que se hayan acumulado 800 m. La percepción del esfuerzo y la distancia de carrera en el enfriamiento no difirieron entre las sesiones (ANOVA respectivamente, $p = 0.2$ y $p = 0.07$). La FC media de las sesiones presentó pocas discrepancias, pero fue mayor en las sesiones de 200m-1:1 que en las sesiones de 800m y 400m-2:1 ($p < 0.01$). En el agotamiento, la FC media del ejercicio, el tiempo empleado en la zona de FC del 95-100% y el lactato sanguíneo, difirieron para cada sesión ($p < 0.05$ en cada parámetro).

***Tabla 1.*** *Registros de la duración del ejercicio, frecuencia cardíaca (FC), concentraciones de lactato en sangre, distancia recorrida en la carrera de 6 minutos durante el período de enfriamiento y registros del esfuerzo percibido (CR-10); i) al final de las sesiones realizadas hasta el agotamiento (ver parte superior de la tabla); y ii) cuando se acumularon 800 m de recorrido (ver parte inferior de la tabla).*

| *Records at exhaustion* | 400m-2:1 | | 400m-1:1 | | 400m-1:2 | | 200m-1:1 | | 800-m | | *Variance* | $\eta^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Session total duration (min) | 33.7 | ± 0.6$^a$ | 37.3 | ± 1.0$^b$ | 45.8 | ± 1.9$^c$ | 44.5 | ± 1.3$^c$ | 32.2 | ± 0.2$^a$ | *p = 0.0003* | *0.97* |
| Exercise total distance (m) | 920 | ± 123$^a$ | 1360 | ± 183$^b$ | 1950 | ± 184$^c$ | 2690 | ± 197$^d$ | 800 | ± 0$^e$ | *p<0.0001* | *0.99* |
| Session mean HR (bpm) | 138.8 | ± 4.1$^a$ | 142.1 | ± 4.5$^b$ | 142.4 | ± 4.0$^b$ | 144.9 | ± 4.7$^b$ | 135.8 | ± 3.9$^a$ | *p<0.0001* | *0.53* |
| Exercise mean HR (bpm) | 182.7 | ± 6.1$^a$ | 177.7 | ± 3.9$^a$ | 166.4 | ± 4.0$^b$ | 180.7 | ± 4.8$^a$ | 190.5 | ± 4.6$^c$ | *p<0.001* | *0.65* |
| Time in 95–100% HR zone (s) | 126.4 | ± 12.3$^a$ | 209.2 | ± 25.4$^b$ | 324.6 | ± 49.5$^c$ | 501.2 | ± 77.1$^d$ | 114.8 | ± 5.9$^e$ | *p<0.0001* | *0.98* |
| Blood lactate (mmol.l-1) | 18.2 | ± 2.6$^a$ | 15.2 | ± 2.1$^b$ | 11.6 | ± 2.3$^c$ | 13.6 | ± 2.4$^d$ | 18.1 | ± 2.4$^a$ | *p<0.0001* | *0.58* |
| Distance run in cool down (m) | 1102 | ± 40 | 1157 | ± 38 | 1131 | ± 43 | 1109 | ± 39 | 1124 | ± 45 | *p = 0.07* | *0.18* |
| CR-10 after 30 min | 9.30 | ± 0.5 | 9.70 | ± 0.5 | 8.90 | ± 1.1 | 9.30 | ± 0.9 | 9.50 | ± 0.5 | *p = 0.21* | *0.12* |
| *Records stopped at 800-m of run* | | | | | | | | | | | | |
| Session duration (min) | 23.2 | ± 0.2$^a$ | 24.3 | ± 0.2$^a$ | 26.5 | ± 0.3$^b$ | 24.3 | ± 0.2$^a$ | 22.2 | ± 0.1$^c$ | *p = 0.01* | *0.40* |
| Session mean HR (bpm) | 141.5 | ± 5.0 | 142.3 | ± 5.1 | 141.3 | ± 4.9 | 142.5 | ± 5.2 | 138.7 | ± 4.8 | *p = 0.05* | *0.05* |
| Exercise mean HR (bpm) | 181.2 | ± 3.7$^a$ | 175.1 | ± 4.8$^b$ | 160.3 | ± 4.3$^c$ | 176.7 | ± 5.9$^b$ | 190.5 | ± 4.6$^d$ | *p<0.0001* | *0.83* |
| Time in 95–100% HR zone (s) | 123.7 | ± 15.7$^a$ | 126.2 | ± 15.5$^a$ | 114.7 | ± 17.6$^a$ | 143.8 | ± 16.7$^b$ | 114.8 | ± 5.9$^a$ | *p = 0.005* | *0.36* |
| CR-10 at 800-m | 8.90 | ± 0.7$^a$ | 6.40 | ± 1.2$^b$ | 5.30 | ± 0.9$^c$ | 4.60 | ± 1.0$^c$ | 9.50 | ± 0.5$^a$ | *p<0.0001* | *0.88* |

*Resultados del análisis de la varianza de los parámetros del ANOVA y la prueba de Friedman y tamaño del efecto calculado (η2). Los resultados con letras cursivas diferentes (a, b, c, d, e) son significativamente diferentes (p <0.05; test unidireccional de Anova y de Tukey).*

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237027.t001

Después de la única acumulación de 800 m, las discrepancias de las sesiones parecieron aumentar para la FC media del ejercicio ($p = 0.01$), y los 200m-1:1 presentaron un mayor tiempo de permanencia en la zona de FC 95-100% en comparación con otras sesiones ($p < 0.05$). También se registraron mayores RPE en los 800 m y 400 m-2:1 en comparación con las otras sesiones ($p < 0.001$).

La figura 2 describe la TLtotal según sesiones y métodos. En la mayoría de los casos, las cuantificaciones por métodos originales parecen similares. El TRIMPc también parece cuantificar la TL de la misma forma que TRIMP, S-RPE y WER. Las TLs para 400 m-2:1 fueron inferiores a 400 m-1:1 en TRIMP y TRIMPc (ambos, $p < 0.001$) pero no en S-RPE y WER (respectivamente, $p = 0.1$ y $p = 0.1$). El TRIMP y el TRIMPc informaron la TL más alta para la sesión de 200m-1:1, mientras que este resultado no difirió en S-RPE y WER (respectivamente, $p = 0.9$ y $p = 0.06$). La TLtotal para cada sesión

extenuante se equiparó al utilizar RPEsólo y el NeWER (respectivamente, ANOVA con p = 0.2 y p = 0.5).

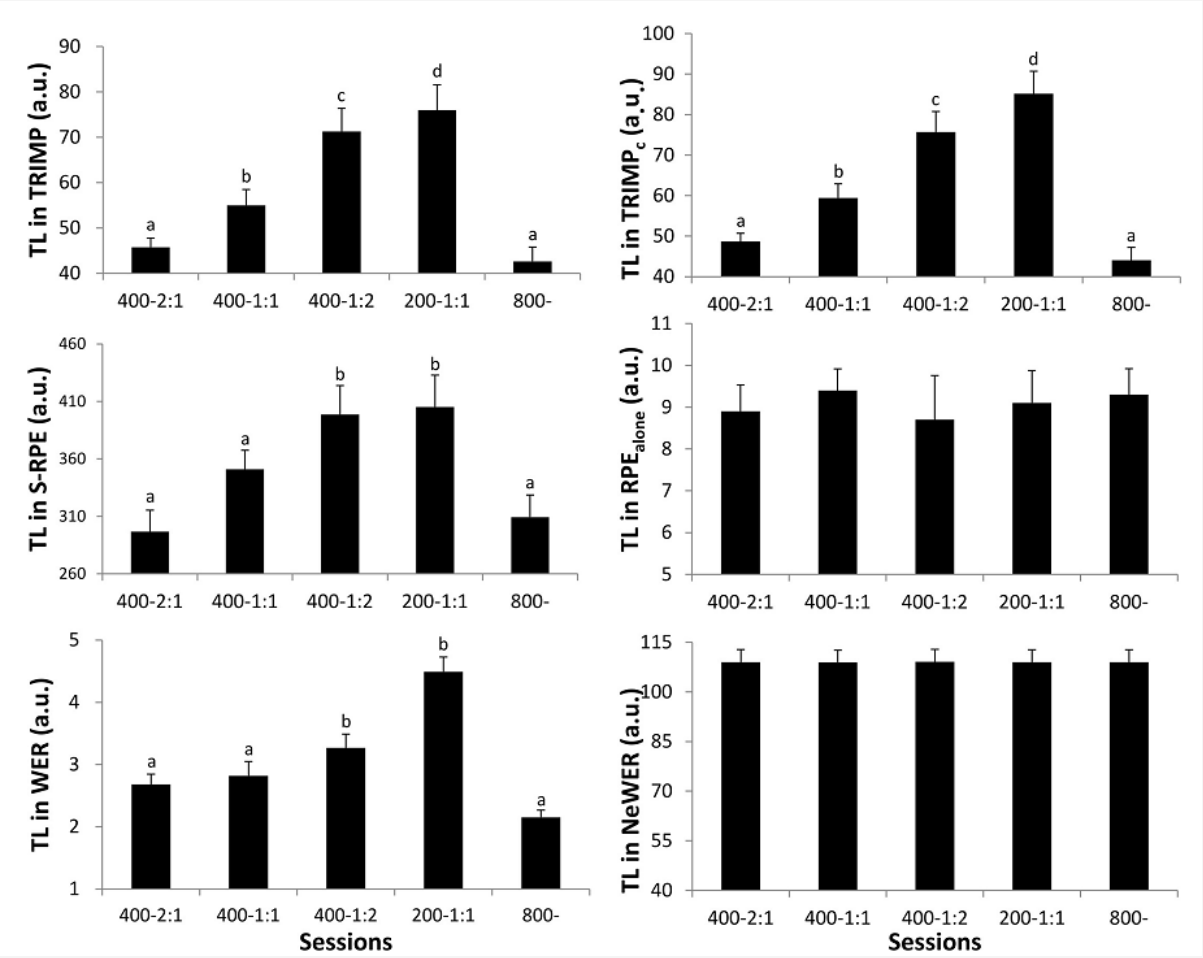



***Figura 2.*** *Cargas de entrenamiento calculadas para todas las sesiones usando los métodos TRIMP y TRIMP acumulativo, Sesión-RPE y RPE sólo, recuperación de trabajo de resistencia (Work Endurance Recovery, WER) y WER nuevo.Sesiones compuestas por periodos de calentamiento y enfriamiento (vuelta a la calma) y un rendimiento de 800 m (800-), o de intervalos de 400 o 200 m (respectivamente 400 y 200 m) con relaciones trabajo:pausa de 1:1, 2:1 y 1:2. En esta figura, los resultados con diferentes letras cursivas (a, b, c, d, e) son significativamente diferentes entre sí (p <0.05; test unidireccional-Anova y Tukey) y aquellos con la misma letra no lo son. Los datos se presentan como media ±SD.*
*https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237027.g002*

La figura 3 describe los resultados de la TL800 de todos los métodos. Sin embargo, el TRIMP, a diferencia de otros métodos, informó una TL más alta en 400 m-1:1, 1:2 y 200 m-1:1 en comparación con los de 400 m-2:1 y 800 m.

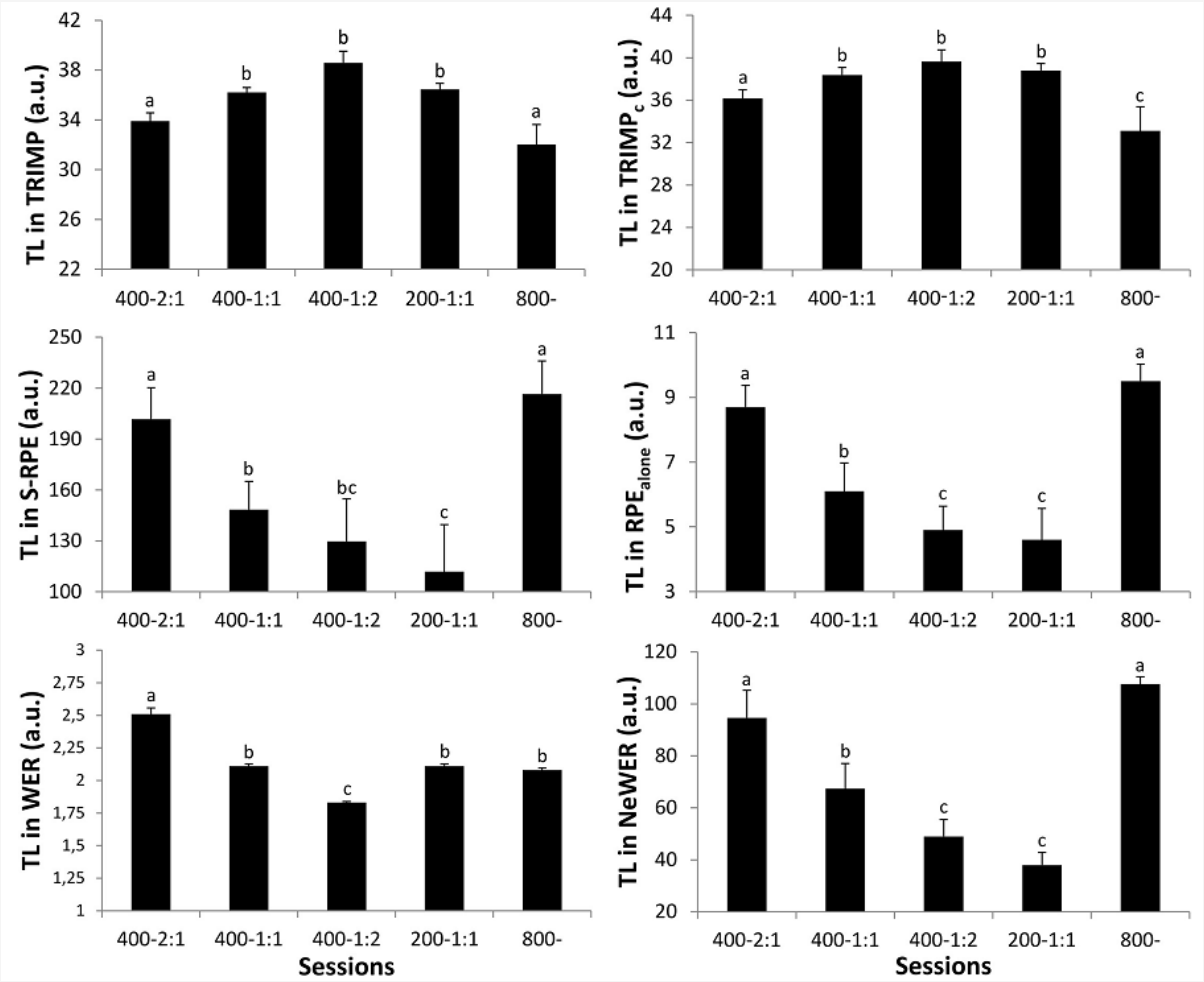



***Figura 3.*** *Cargas de entrenamiento calculadas para 800 m acumulados en las sesione susando los métodos TRIMP y TRIMP acumulativo, Sesión-RPE y RPE sólo, recuperación de trabajo de resistencia (Work Endurance Recovery, WER) y WER nuevo. Sesiones conformadas por periodos de calentamiento y enfriamiento y un rendimiento de 800 m (800-), o de intervalos de 400 o 200 metros (respectivamente 400 y 200-) con relaciones trabajo: recuperación de 1:1, 2:1 y 1:2. Los resultados con letras cursivas diferentes (a, b, c, d, e) son significativamente diferentes entre sí (p <0.05; test unidireccional de Anova y Tukey) y aquellos con la misma letra no lo son. Los datos se presentan como media ±SD.*
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237027.g003

La Tabla 2 informa las correlaciones calculadas entre los métodos para todos las TL (TLtotal y TL800). Altos niveles de correlación aparecen en los tres métodos originales (TRIMP, S-RPE, WER), así como en los métodos originales y en TRIMPc. Dos métodos alternativos (RPEsólo y NeWER) también están fuertemente correlacionados. El RPEsólo y el NeWER también se correlacionan con el S-RPE, pero no tan fuertemente como con los otros métodos originales. Cuando sólo se considera la TLtotal, las correlaciones de los métodos originales y del TRIMPc permanecen fuertes (media de r = 0.87±0.08) mientras que no se puede establecer una correlación significativa a partir de los métodos originales o alternativos, ni del RPEsólo y el NeWER (p> 0.05). Cuando sólo se consideran la TL800, el TRIMP y el TRIMPc se correlacionan negativamente con los otros métodos (media r = -0.69±0.17). El RPE sólo está fuertemente correlacionado con el NeWER y el S-RPE (respectivamente, r = 0.92 y r = 0.99). El método WER se correlaciona con el NeWER y el S-RPE (respectivamente, r = 0.52 y r = 0.50).

***Tabla 2.*** *Matriz de correlación de las cargas de entrenamiento para todas las sesiones (TL total y TL cuando se acumularon 800 m de carrera) utilizando 6 métodos de cuantificación (parte inferior de la matriz).Para conocer los intervalos de confianza de correlación, consulte la parte superior de la matriz.*

| *All* | $RPE_{alone}$ | WER | S-RPE | TRIMP | $TRIMP_c$ | NeWER |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $RPE_{alone}$ | - | 0.26–0.57 | 0.69–0.84 | 0.16–0.51 | 0.19–0.53 | 0.85–0.93 |
| WER | 0.43 | - | 0.69–0.85 | 0.83–0.92 | 0.87–0.94 | 0.33–0.63 |
| S-RPE | 0.78 | 0.76 | - | 0.76–0.88 | 0.77–0.89 | 0.70–0.85 |
| TRIMP | 0.34 | 0.89 | 0.82 | - | 0.98–1.0 | 0.27–0.59 |
| $TRIMP_c$ | 0.34 | 0.91 | 0.82 | 0.99 | - | 0.29–0.60 |
| NeWER | 0.90 | 0.50 | 0.80 | 0.44 | 0.44 | - |

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237027.t002

## Discusión

Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que intenta describir las marcadas diferencias entre los métodos de cuantificación originales y sus respectivas alternativas actualizadas. Los métodos de cuantificación de la TL tienen como objetivo describir la "dosis" de esfuerzo que puede utilizarse, para analizar posteriormente las relaciones entre la dosis y la respuesta a la dosis [10]. La cuantificación de la TL sólo debe medir la dosis del ejercicio, que debe ser igual para todas las construcciones de ejercicio, sin considerar el efecto de la dosis. Para una cuantificación precisa de la TL, se deben aclarar las causas de las discrepancias reales entre los métodos originales y los alternativos.

Disminuciones en la distancia de intervalo y en los ratios de trabajo:pausa permiten aumentar la distancia total de ejercicio (800 en la sesión de 800 m vs 2690 m en la de 200 m-1:1). La sesión de 800 m, y en menor medida la de 400 m-2:1, dio como resultado los valores más altos de FC de ejercicio y concentraciones de lactato en sangre que se utilizan con frecuencia como parámetros fisiológicos de la intensidad del ejercicio [5,22]. Por el contrario, las sesiones con la distancia de intervalo de esfuerzo menor (200 m-1:1) o la relación trabajo:pausa (400 m-1:2) resultaron en tiempos más largos en la zona de 95-100% de la FC. Finalmente, la distancia recorrida en la carrera de 6 minutos del período de enfriamiento y el RPE no difirieron entre las sesiones, lo que hace imposible diferenciar la fatiga inducida por las sesiones [22].

Para las carreras acumuladas de 800 m, las discrepancias en las respuestas fisiológicas a lo largo de las sesiones se redujeron, aunque el RPE apareció más alto en las sesiones de 800 m y de 400 m-2:1. Cuanto mayor sea el intervalo de distancias y la relación trabajo:pausa, mayor será el RPE. La construcción de las sesiones de ejercicio fue diferente, al igual que los factores fisiológicos que inducen el agotamiento, aunque cada sesión podría inducir un estrés fisiológico específico y máximo.

La TLtotal mostró principalmente grandes diferencias entre TRIMPc, métodos originales y RPEsólo y NeWER. Con RPEsólo y NeWER, todas las sesiones realizadas hasta el agotamiento dieron como resultado medidas de la TL similares, mientras que para los métodos originales, las sesiones de 800 m y 400 m-2:1 dieron como resultado medidas de TL más bajas, que van del 48% (WER) al 76% (S-RPE) de los valores calculados para el 200m-1:1. La TLtotal de los métodos originales está fuertemente correlacionada pero no con los métodos alternativos. La TLtotal a partir de NeWER y RPEsólo no se correlacionaron debido a variaciones extremadamente bajas de la TL de NeWER (CV = 3,5%) que se originan a partir de cambios leves de la TL de los períodos estandarizados de calentamiento y enfriamiento.

Algunos resultados intrigantes aparecieron en la TL800. El TRIMP y el TRIMPc diferían notablemente de los otros métodos. Después de carreras acumuladas de 800 m, como mostraron los métodos TRIMP, el informe de TL800 más bajo fue en las sesiones de 800 m y 400 m-2:1, aunque el agotamiento se alcanzó casi o incluso por completo. Este resultado podría explicarse por el hecho de que la FC media, afectada en gran medida por los períodos de calentamiento, no difirió entre sesiones. Por lo tanto, la TL800 de TRIMP y TRIMPc aumentó con la duración del ejercicio, que variaría según los períodos de recuperación de las sesiones y con la condición de que la FC media de las sesiones permaneciera sin cambios. En otras palabras, cuanto más largo sea el tiempo de recuperación, mayor será la TL.

Las correlaciones negativas entre los métodos TRIMP y otros contradicen las correlaciones positivas informadas en estudios anteriores [4,10]. La TL800 en WER también fue sorprendente. La TL para la sesión de 800 m (donde se alcanzó el agotamiento) fue similar a la de las sesiones de 400 m-1:1 y 200 m-1:1 (respectivamente, agotamiento a los 1360 y 2690 m) y menor que en 400 m-2:1. Por el contrario, las fuertes correlaciones entre S-RPE y RPEsólo parecieron lógicas, ya que los dos métodos se basaron en el mismo valor de RPE y en la evolución limitada del volumen de sesión utilizado en S-RPE (que van desde 22.2±0,1 min a 26.5±0.3) . Aunque los métodos se correlacionaron de moderado a fuerte con respecto a la TL800, sus relaciones aún deben considerarse con cuidado.

Después de que se definieron todos los niveles de cuantificación, aparecieron fuertes correlaciones en los métodos originales (incluido el TRIMPc) así como en los métodos alternativos, mientras que se encontraron correlaciones bajas a moderadas al comparar los métodos alternativos con los originales. Sobre la base de las discrepancias observadas en la cuantificación de la TL y los niveles de correlación moderados, asumimos que los métodos originales y alternativos no podían ser intercambiables.

La oposición entre los métodos originales y alternativos podría explicarse por el impacto del volumen de ejercicio en la cuantificación (Ver apéndices S1 y S2, Fig. S2). Vale la pena señalar aquí que el volumen de ejercicio en los métodos originales se expresó en valores absolutos en lugar de en relación con su máximo. Posteriormente, se multiplicó la intensidad por el volumen. La construcción de métodos de esta manera podría ser válida siempre que los rangos de cambios de volumen se equipararan a rangos de la intensidad. Sin embargo, ese no fue el caso. Los valores más altos de la TL medidos para sesiones más largas sugirieron que el volumen de ejercicio tuvo un mayor impacto en la TL que la intensidad o densidad del ejercicio. Teniendo en cuenta la TL como un estrés fisiológico impuesto a los atletas, la TL más alta proporcionada por los métodos originales en sesiones más largas sugirió que tales sesiones inducían un mayor estrés fisiológico. Por el contrario, asumimos que el agotamiento podría ser un medio para detectar la tensión máxima independientemente de las sesiones. Además, llegamos a la conclusión de que ningún parámetro de ejercicio debe prevalecer sobre otros (por ej., Volumen > intensidad y densidad).

Además, la defensa de los métodos originales podría explicarse por el hecho de que se consideró que el volumen de ejercicio, que implica una adaptación fisiológica al ejercicio, tenía un papel importante que desempeñar en la cuantificación de la TL. Además, las sesiones más largas podrían requerir retrasos de recuperación más largos que podrían respaldar su TL más alta. Sin embargo, las respuestas al ejercicio y los retrasos en la recuperación fueron "efectos" de la dosis, que no deberían tener ningún impacto en la "medición" de la dosis.

En términos prácticos, las aplicaciones futuras deben considerar que los métodos originales y alternativos no pueden usarse de manera similar cuando los ejercicios difieren en volumen y densidad [10]. Teniendo en cuenta que la FC media de la sesión es un mal indicador de la alta intensidad en ejercicios de intervalos, el uso de los métodos TRIMP debe limitarse a ejercicios de resistencia de intensidad moderada. En nuestros resultados, el RPE se incrementó notablemente por la acumulación de carreras (RPE a 800 m vs final de las sesiones) y por un aumento de las relaciones trabajo:pausa como se observó después de las carreras acumuladas de 800 m. Esto demuestra el impacto de la duración y la densidad del ejercicio sobre los registros, lo que respalda el uso de RPEsólo para cuantificar la dosis del ejercicio. Al prescribir un programa de entrenamiento, los entrenadores y los científicos pueden predecir el RPE inducido por el ejercicio, o los atletas pueden dejar de hacer ejercicio una vez que se alcanza el valor de RPE esperado. En este último caso, el RPE no se puede registrar 30 minutos después del final de la sesión como se requiere en el método S-RPE. Además, el RPEsólo está diseñado para proporcionar la TL durante toda la sesión. Sin embargo, debe investigarse más a fondo su relevancia para cuantificar por separado cada ejercicio en una sesión determinada [23].

Aunque sus componentes difieren, el NeWER y el RPEsólo están fuertemente correlacionados. El NeWER es un método objetivo con el que la TL se puede predeterminar con precisión. El NeWER sugiere que la TL puede evaluarse por el nivel de agotamiento inducido por el ejercicio de acuerdo con el 'estrés fisiológico" que la TL debería describir. En base a la experiencia previa y/o bases de datos más formales, los entrenadores y los científicos deben determinar qué nivel de agotamiento quieren lograr con un ejercicio determinado. Estudios adicionales deberían ayudar a abordar este problema al proporcionar herramientas para predecir el agotamiento de acuerdo con los parámetros del ejercicio intermitente.

Como la TL sólo mide la dosis de ejercicio sin considerar su efecto esperado, los programas de entrenamiento no deben basarse únicamente en la TL, sino que deben basarse en parámetros y tipos de ejercicios adecuados. La eficacia del programa después de modificar la TL o los ejercicios debe probarse mediante los efectos sobre el rendimiento, la fatiga o los parámetros fisiológicos.

Obviamente, el presente estudio se basó en un tamaño de muestra pequeño y se realizó en un tipo de ejercicio único (intermitente) a un nivel de alta intensidad. Por lo tanto, nuestros resultados deben estar respaldados por estudios futuros que se centren en poblaciones más extensas y utilicen una gama más amplia de ejercicios.
Para concluir, aparecen diferencias significativas en la cuantificación de la TL entre los métodos originales y alternativos, destacando que no son intercambiables. Por el contrario, debido a su *modus operandi* y a la expresión del volumen de ejercicio en valores absolutos, los métodos originales pueden sobreestimar la TL en sesiones de larga duración. Al definir la TL como el estrés fisiológico impuesto a los atletas, se puede suponer que el agotamiento es la métrica predominante para determinar la tensión fisiológica más alta, sea cual sea el ejercicio, y que el agotamiento debe coincidir con la TL más alta posible. Por lo tanto, este estudio promueve principalmente el uso de métodos alternativos para la cuantificación de la TL que se basan en el agotamiento y el esfuerzo percibido.

**Información de apoyo**

S1 Fig. Ejemplos de diagramas de muestra y cuantiles teóricos para los resultados de cuantificación de entrenamiento.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237027.s001
S2 Fig. Contribución relativa de las variables originales enfrentadas a las cargas de entrenamiento calculadas realizadas por el componente principal de análisis.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237027.s002
Apéndice S1.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237027.s003
Apéndice S2.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237027.s004

**Agradecimientos**

Queremos agradecer a Philippe Bardy y Aurélie Brun por sus cuidadosas revisiones del artículo.

**Disponibilidad de datos:** Todos los datos relevantes están dentro del artículo y en sus archivos de información de respaldo.
**Financiamiento:** Los autores no recibieron financiamiento específico para este trabajo.
**Conflictos de intereses:** los autores han declarado que no existen conflictos de intereses.

## REFERENCIAS

1. Banister EW, Calvert TW, Savage M,V, Bach TM. (1975). A systems model of training for athletic performance. *Aust J Sports Med. 1975; 57–61.*
2. Taha T, Thomas SG. (2003). Systems modelling of the relationship between training and performance. *Sports Med Auckl NZ. 2003;33: 1061–1073.*
3. Desgorces F-D, Sénégas X, Garcia J, Decker L, Noirez P. (2007). Methods to quantify intermittent exercises. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab. 2007;32: 762–769. pmid:17622291*
4. Lambert MI, Borresen J. (2010). Measuring training load in sports. *Int J Sports Physiol Perform. 2010;5: 406–411. pmid:20861529*
5. Smith DJ. (2003). A framework for understanding the training process leading to elite performance. *Sports Med. 2003;33: 1103–1126. pmid:14719980*
6. esgorces FD, Noirez P. (2008). Quantifying continuous exercise using the ratio of work completed to endurance limit associated with exercise-induced delayed-onset muscle soreness. *Percept Mot Skills. 2008;106: 104–112. pmid:18459360*
7. Stagno KM, Thatcher R, van Someren KA. (2007). A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. *J Sports Sci. 2007;25: 629–634. pmid:17454529*
8. García-Ramos A, Feriche B, Calderón C, Iglesias X, Barrero A, Chaverri D, et al. (2015). Training load quantification in elite swimmers using a modified version of the training impulse method. *Eur J Sport Sci. 2015;15: 85–93. pmid:24942164*
9. Eston R. (2012). Use of ratings of perceived exertion in sports. *Int J Sports Physiol Perform. 2012;7: 175–182. pmid:22634967*
10. .Bourdon PC, Cardinale M, Murray A, Gastin P, Kellmann M, Varley MC, et al. (2017). Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *Int J Sports Physiol Perform. 2017;12: S2161–S2170. pmid:28463642*
11. Foster C, Hector LL, Welsh R, Schrager M, Green MA, Snyder AC. (1995). Effects of specific versus cross-training on running performance. *Eur J Appl Physiol. 1995;70: 367–372.*
12. Agostinho MF, Philippe AG, Marcolino GS, Pereira ER, Busso T, Candau RB, et al. (2015). Perceived training intensity and performance changes quantification in judo. *J Strength Cond Res. 2015;29: 1570–1577. pmid:25436630*
13. Noakes TD. (2004). Linear relationship between the perception of effort and the duration of constant load exercise that remains. *J Appl Physiol. 2004;96: 1571–1572; author reply 1572–1573. pmid:15016797*
14. Joseph T, Johnson B, Battista RA, Wright G, Dodge C, Porcari JP, et al. (2008). Perception of fatigue during simulated competition. *Med Sci Sports Exerc. 2008;40: 381–386. pmid:18202562*
15. Ben Belgith A, Ahmaidi S, Maille P, Noirez P, Desgorces FD. (2012). Quantification de la charge d'entraînement imposée au footballeur professionnel en phase de réhabilitation athlétique post-blessure. *Sci Sports. 2012;27: 169–174.*
16. Morales J, Franchini E, Garcia-Massó X, Solana-Tramunt M, Buscà B, González L-M. (2016). The Work Endurance Recovery Method for Quantifying Training Loads in Judo. *Int J Sports Physiol Perform. 2016;11: 913–919. pmid:26789106*
17. Hourcade J-C, Noirez P, Sidney M, Toussaint J-F, Desgorces F. (2018). Effects of intensity distribution changes on performance and on training loads quantification. *Biol Sport. 2018;35: 67–74. pmid:30237663*
18. Manzi V, Iellamo F, Impellizzeri F, D'Ottavio S, Castagna C. (2009). Relation between individualized training impulses and performance in distance runners. *Med Sci Sports Exerc. 2009;41: 2090–2096. pmid:19812506*
19. Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, et al. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res. 2001;15: 109–115. pmid:11708692*
20. Achten J, Jeukendrup AE. (2003). Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med. 2003;33: 517–538. pmid:12762827*
21. Tardieu-Berger M, Thevenet D, Zouhal H, Prioux J. (2004). Effects of active recovery between series on performance during an

intermittent exercise model in young endurance athletes. *Eur J Appl Physiol. 2004;93: 145–152. pmid:15549368*
22. Halson SL. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Med. 2014;44: 139–147. pmid:25200666*
23. Hourcade JC, Saulière G, Noirez P, Toussaint JF, Desgorces FD. (2017). Quatre mois de charge d'entraînement globale et par exercice chez le footballeur professionnel. *Sci Sports. 2017;32: 221–228*.

**Cita Original**

Desgorces F-D, Hourcade J-C, Dubois R, Toussaint J-F, Noirez P (2020) Training load quantification of high intensity exercises: Discrepancies between original and alternative methods. PLoS ONE 15(8): e0237027. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237027