

Distribución de intensidad de entrenamiento polarizada versus umbral en el rendimiento de deportes de resistencia: Revisión sistemática y meta-análisis de estudios controlados y aleatorizados.

Michael Rosenblat¹, Andrew Perrotta², Bill Vicenzino³

¹*Department of Exercise Science, Faculty of Kinesiology & Physical Education, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada.*

²*Department of Experimental Medicine, Faculty of Medicine, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada.*

³*School of Health and Rehabilitation Sciences, Faculty of Health and Behavioural Sciences, University of Queensland, Brisbane, Queensland, Australia.*

RESUMEN

El objetivo de esta revisión fue realizar una búsqueda sistemática en la literatura para identificar y analizar los datos de estudios controlados y aleatorizados que hayan comparado los efectos de un modelo de entrenamiento polarizado (POL) versus un modelo de entrenamiento umbral (THR) en las mediciones de rendimiento deportivo en atletas de resistencia. Esta revisión sistemática y meta-análisis fue registrada en PROSPERO (CRD42016050942). La búsqueda bibliográfica se realizó el 6 de noviembre de 2016 e incluyó SPORTDiscus (1800- presente), CINAHL Completa (1981-presente) y la categoría texto completo o *full text* en Medline (1946-presente). Para que los estudios fueran seleccionados debían incluir: asignación aleatoria, atletas entrenados en resistencia con más de 2 años de experiencia en entrenamiento con un $VO_{2\text{máx./pico}} > 50 \text{ ml} \times \text{kg} \text{ min}^{-1}$, un grupo de entrenamiento polarizado (POL), un grupo de entrenamiento umbral (THR), con mediciones ya sea internas (por ejemplo, $VO_{2\text{máx}}$) o externas (por ejemplo, prueba contrarreloj) del rendimiento en deportes de resistencia. Las bases de datos SPORTDiscus, Medline y CINAHL arrojaron un total de 329 resultados. Cuatro estudios cumplieron los criterios de inclusión para el análisis cualitativo y tres para el meta-análisis. Dos de los cuatro estudios incluidos en la revisión obtuvieron un puntaje de 4/10 en la Escala PEDro y dos obtuvieron un puntaje de 5/10. Con respecto a las variables de medición, tres estudios incluyeron rendimiento en pruebas contrarreloj, tres incluyeron $VO_{2\text{máx}}$ o $VO_{2\text{pico}}$, dos estudios midieron el tiempo hasta el agotamiento y un estudio incluyó la economía del ejercicio. No fue posible reunir datos suficientes para realizar un meta-análisis sobre el rendimiento en pruebas contrarreloj. Los resultados combinados permitieron observar un efecto moderado ($ES = -0,66$; IC del 95%: $-1,17$ a $-0,15$) en favor del grupo POL por encima del grupo THR. Estos resultados sugieren que el modelo de entrenamiento POL permitiría obtener un mayor aumento en el rendimiento de deportes de resistencia que el modelo de entrenamiento THR.

INTRODUCCION

Hay una serie de variables que deben ser consideradas cuando se diseña un programa de entrenamiento con ejercicios para mejorar el rendimiento en deportes de resistencia. Algunas de estas variables son: frecuencia de entrenamiento, duración del entrenamiento y la intensidad del entrenamiento (5). Investigaciones previas han identificado la intensidad del entrenamiento como una variable esencial que puede ser manejada para alterar de manera positiva o negativa los marcadores de rendimiento (27). La intensidad del entrenamiento se puede cuantificar utilizando diferentes mediciones entre las que se incluyen la frecuencia cardíaca (1), la concentración de lactato sanguíneo (3), la velocidad en el consumo de oxígeno máximo ($VO_{2\text{máx}}$) (4) y el índice de esfuerzo percibido (8). La literatura previa sugiere que frecuentemente los atletas utilizan escalas estandarizadas que agrupan estas mediciones en un rango de valores para proporcionar una descripción de diferentes zonas de entrenamiento (36). Sin embargo, estos métodos podrían no explicar adecuadamente las diferencias fisiológicas específicas de los atletas, incluyendo aquellas referidas a la potencia o velocidad que se puede mantener en determinados umbrales (36).

Sobre la base de las diferencias observadas en la respuesta fisiológica frente a una fracción dada del VO_{2max} , los profesionales han dividido la intensidad de entrenamiento en tres o más zonas separadas por umbrales fisiológicos, como el umbral de lactato, los umbrales ventilatorios (VT), el umbral de compensación respiratoria y la potencia crítica (38). Este enfoque mejora la especificidad para la programación, ya que los umbrales fisiológicos de cada atleta pueden ser alcanzados en un porcentaje diferente de su VO_{2max} (36). Un enfoque común es dividir la intensidad en tres zonas: una zona de baja intensidad por debajo del primer umbral ventilatorio; una zona de intensidad moderada que se produce entre el primer y el segundo umbral ventilatorio y una zona de alta intensidad que se ubica por encima del segundo umbral ventilatorio (25).

Se ha demostrado que el entrenamiento de alta intensidad produce mayores mejoras en los marcadores de rendimiento de deportes de resistencia, entre los que se incluye el VO_{2max} , el rendimiento en pruebas contrarreloj, la economía del ejercicio y el tiempo hasta el agotamiento en atletas entrenados en resistencia (15, 37). Sin embargo, un elevado volumen de entrenamiento de alta intensidad puede producir una recuperación inadecuada lo que tendría efectos indeseables tales como la disminución en el rendimiento de carrera y en la frecuencia cardíaca durante el ejercicio, alteraciones en el sueño, mayor percepción de fatiga y un aumento en la incidencia de infecciones del tracto respiratorio (13, 24). Para equilibrar los efectos positivos y negativos del entrenamiento de alta intensidad, podría ser necesario considerar la distribución y la frecuencia del entrenamiento de alta intensidad al momento de diseñar un programa de entrenamiento de resistencia adecuado.

Varios estudios de cohortes prospectivos han revelado la forma en los atletas de resistencia suelen distribuir las diferentes zonas de entrenamiento dentro de sus programas de entrenamiento. Estos atletas (esquiadores de fondo, remeros, corredores de pista, corredores de fondo, maratonistas y atletas de Ironman) generalmente siguieron un programa en el que aproximadamente el 75-85% del volumen total de entrenamiento se realizó en la zona de baja intensidad, 5- 10% en la zona de intensidad moderada y 15-20% en la zona de alta intensidad (9, 29, 31, 38, 41, 43). Esta estructura del entrenamiento se definió como modelo de distribución de intensidad del entrenamiento polarizado (POL) tal como lo propone Stephen Seiler (38). Un modelo umbral (THR), o modelo de entrenamiento más tradicional, se diferencia del modelo POL en que un porcentaje significativo del entrenamiento (35% a 55%) se realiza en la zona de intensidad moderada y un porcentaje menor de entrenamiento (45% a 55%) se realiza en la zona de intensidad baja (38).

Las revisiones actuales (20, 36, 40) centradas en la capacidad que tienen los modelos de entrenamiento POL y THR para modificar el rendimiento de deportes de resistencia han propuesto que el modelo POL podría producir mejores adaptaciones al entrenamiento. Sin embargo, aún no contamos con análisis cuantitativos que hayan analizado la magnitud de la varianza en las variables de rendimiento de la resistencia cuando se utiliza cada modelo de entrenamiento. Por lo tanto, los objetivos de esta revisión fueron: 1) realizar una revisión sistemática de estudios aleatorizados y controlados que hayan analizado los modelos de entrenamiento POL y THR y 2) examinar cuantitativamente el efecto de utilizar un modelo de entrenamiento THR o POL para mejorar las variables de rendimiento de resistencia en atletas de resistencia entrenados utilizando un meta-análisis.

2-METODOS

2.1. Protocolo e inscripción

Esta revisión sistemática fue registrada en PROSPERO CRD42016050942) y cumple con lo establecido en el protocolo de pautas de *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRSIMA) (28).

2.2 Criterios de elegibilidad

2.2.1 Criterios de inclusión

Para ser seleccionados los estudios debían incluir: asignación aleatoria, atletas entrenados en resistencia con más de 2 años de experiencia de entrenamiento y $VO_{2\text{ máx./pico}} > 50 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$, un grupo POL, un grupo THR, evaluados ya sea por variables de rendimiento en deportes de resistencia internas (por ejemplo, $VO_{2\text{ máx}}$) o externas (p. ej. pruebas contrarreloj).

2.2.2 Criterios de exclusión

No se incluyeron en la revisión aquellos estudios cuyos participantes no estaban entrenados o tenían alguna patología.

2.3 Fuentes de información.

Se realizó una búsqueda electrónica que incluyó todos los años de publicación (hasta el 6 de noviembre de 2016). Para minimizar el sesgo de selección y realizar una búsqueda exhaustiva, se utilizaron tres bases de datos para realizar la búsqueda bibliográfica; estas fueron SPORTDiscus (1800-presente), CINAHL Completa (1981 - presente) y Medline con texto completo (full text) (1946 - presente).

2.4 Búsqueda

2.4.1 Terminología buscada

Se utilizaron las siguientes palabras (incluidos todos los campos): distribución de intensidad de entrenamiento O entrenamiento polarizado O entrenamiento polarizado O entrenamiento umbral.

2.4.2 Límites de búsqueda

Ninguno.

2.5 Selección de los estudios

Los títulos y resúmenes de los resultados de búsqueda se evaluaron de forma independiente para determinar su idoneidad. Si los títulos o los resúmenes cumplían con los criterios de elegibilidad o si existía incertidumbre se procedía a descargar el texto completo (*full text*). Se realizó un registro con el motivo de exclusión de los artículos

2.6 Proceso de recopilación de datos

Se creó un formulario de recolección de datos utilizando la plantilla del formulario de extracción y evaluación de datos de Cochrane. Un autor fue responsable de recopilar los datos y un segundo autor verificó los datos extraídos. Se discutieron los desacuerdos entre los dos autores, y en los casos en que los dos autores no pudieran llegar a un acuerdo, se consultó la opinión de un tercero.

2.7 Datos

A partir de los estudios incluidos en la revisión se extrajeron los siguientes datos: metodología del estudio (diseño del estudio, duración), características de los participantes (edad, sexo, talla, peso, $VO_{2\text{ máx./pico}}$ relativo y absoluto, experiencia, deporte); Intervención y descripción de la comparación (tipo de ejercicio, distribución de intensidad de entrenamiento, periodización, zona de intensidad, carga de trabajo), variables de medición.

2.8 Riesgo de sesgo en los estudios

Dos revisores utilizaron la escala PEDro para evaluar la validez interna de los estudios incluidos en la revisión. La escala PEDro es una escala ordinal de 10 puntos que se utiliza para determinar componentes metodológicos específicos que incluyen: asignación al azar, ocultación de la asignación, comparación con los valores determinados inicialmente (línea de base), cegamiento de los participantes, cegamiento de los terapeutas, cegamiento de los evaluadores, seguimiento adecuado, análisis por intención de tratar, comparaciones entre grupo, estimaciones puntuales y variabilidad (21). La elegibilidad de los participantes también es un componente de la escala PEDro, sin embargo, no está contemplada en la puntuación final de 10 puntos.

2.9 Resumen de variables de medición

La principal variable de medición evaluada en esta revisión fue el rendimiento en pruebas contrarreloj. Las variables secundarias fueron el tiempo hasta el agotamiento, la economía del ejercicio, el $VO_{2\text{máx}}$ ($L \times \text{min}^{-1}$) y el $VO_{2\text{pico}}$ ($L \times \text{min}^{-1}$).

2.10 Síntesis de los resultados.

Los datos de los grupos se informaron en forma de media y desviación estándar, mientras que los datos agrupados se informaron en forma de diferencia de medias estandarizada con sus correspondientes intervalos de confianza del 95%. Para establecer un tamaño del efecto (g de Hedges ajustado) se calculó la diferencia de medias estandarizada, ajustada para explicar el sesgo asociado al pequeño tamaño de la muestra (14). Los valores de tamaño de efecto de 0,2, 0,6 y 1,2 fueron considerados tamaños de efecto pequeño, moderado y grande, respectivamente (17).

Para obtener datos que no habían sido publicados en los estudios se contactó a los autores de los estudios incluidos (por ejemplo, datos pre y post-test). Los datos que estaban expresados utilizando el error estándar de la media fueron convertidos en desviación estándar. En los casos en que fuera posible, las comparaciones entre grupos se realizaron utilizando la diferencia entre medias con el error estándar expresado con el intervalo de confianza del 95 por ciento.

Los resultados de los estudios individuales fueron combinados con el software Review Manager 5.3 con un modelo de meta-análisis de efectos aleatorios. Este método considera la variabilidad tanto dentro como entre los estudios y se utilizó para acomodar las diferencias en las intervenciones en los estudios individuales (22). Un efecto que favorece al grupo POL se muestra como un valor positivo y un efecto que favorece al grupo THR se muestra como un valor negativo.

Se analizó la consistencia del meta-análisis para determinar la variabilidad debida al azar. Se utilizó la prueba de chi-cuadrado (Cochrane Q) para evaluar el nivel de heterogeneidad. Se utilizó el estadístico I² para determinar el porcentaje de la variación total en el efecto estimado en los estudios.

2.11 Riesgo de sesgo en todos los estudios

La relación entre el tamaño del efecto y el tamaño de la muestra se determinó visualmente mediante un gráfico en embudo. La prueba de Egger se utilizó para evaluar cuantitativamente el sesgo asociado al tamaño de muestra pequeño.

2.12. Análisis adicional

No se realizó ningún análisis adicional.

3. RESULTADOS

3.1. Selección de los estudios

Se realizó una búsqueda bibliográfica el 6 de noviembre de 2016. Las bases de datos SPORTDiscus, Medline y CINAHL arrojaron un total de 329 resultados. Tras la eliminación de 48 duplicados, se seleccionaron 281 títulos y resúmenes. Para el análisis de elegibilidad se seleccionaron 6 artículos completos. Cuatro estudios cumplieron con los criterios de inclusión para el análisis cualitativo y tres estudios se utilizaron en el meta-análisis (Figura 1).

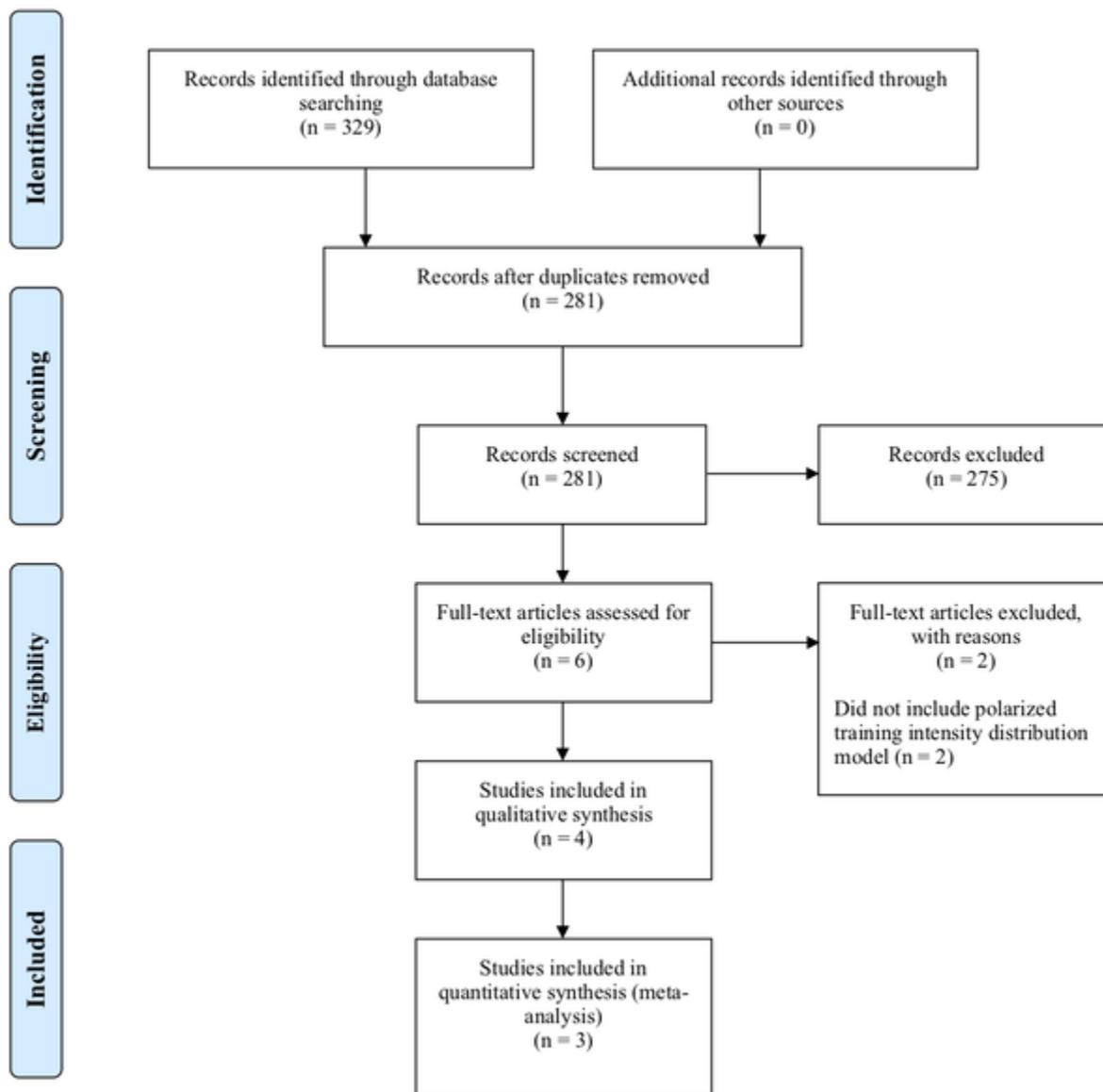


Figura 1: Diagrama de flujo PRISMA

3.2 Características de los estudios

Los cuatro estudios incluidos en la revisión fueron estudios controlados y aleatorizados con una duración que iba de 6 semanas a 5 meses (10, 30, 32, 39). Los participantes fueron asignados a un grupo de intervención POL o a un grupo de comparación. Todos los estudios incluyeron un grupo THR (10, 30, 32, 39). Un estudio incluyó además un grupo que realizó entrenamiento interválico de alta intensidad y un grupo de entrenamiento de alto volumen de baja intensidad (10). Dos de los estudios incluyeron corredores (10, 30), un estudio incluyó ciclistas (32) y un estudio fue realizado con ciclistas, esquiadores de fondo, corredores de media o larga distancia y triatletas (39). Todos los estudios utilizaron variables de medición del rendimiento internas y externas. Las variables de medición externas incluyeron una prueba contrarreloj de carrera de 10 km, una prueba contrarreloj de ciclismo de 40 km, tiempo hasta el agotamiento y economía del ejercicio. Las mediciones internas incluyeron VO_{2max} y VO_{2pico} absolutos y relativos (Tabla 1).

Estudio	Diseño del estudio	Características de los participantes	Grupo	Intervención TID% (Z1, Z2, Z3), carga de trabajo (TRIMP/ semana \pm SD)	Resultados
Esteve-Lanao 2007	Estudio controlado y aleatorizado (5 meses)	Corredores masculinos sub-elite competitivos (n = 20), edad = 27 \pm 2 años, peso = 64 \pm 1,1 kg, talla = 174,6 \pm 1,9 cm, VO_{2max} (mL \times kg-1 \times min-1) = 69,5 \pm 6,0 , experiencia > 5 años	POL (n = 10)	TID = 80, 10, 10; carga de trabajo = 452 \pm 23	Tiempo (s) de carrera de 10,4 km, $VO_{2m\acute{a}x}$. (mL \times kg-1 \times min-1)
			THR (n = 10)	TID = 65, 25, 10; carga de trabajo = 460 \pm 26	
Muñoz 2014	Estudio controlado y aleatorizado (10 semanas)	Corredores recreativos (n = 32), edad = 34 \pm 28 años, peso = 69,2 \pm 9,7 kg, talla =175 \pm 6 cm, VO_{2max} (mL \times kg- 1 \times min-1)= 63 \pm 7,9, experiencia > 5,5 años	POL (n = 16)	TID = 75, 5, 20; carga de trabajo = 330 \pm 67	Tiempo de carrera de 10 km (min), $VO_{2m\acute{a}x}$. (mL \times kg-1 \times min-1)
			THR (n = 16)	TID = 45, 35, 20; carga de trabajo = 370 \pm 98	
Neal 2013	Aleatorizado, cruzado, intrasujetos (6 semanas)	Ciclistas varones bien entrenados y competitivos (n=12), edad= 37 \pm 6 años, peso= 76,8 \pm 6,6 kg, altura = 178 \pm 6 cm, VO_{2max} (mL \times kg-1 \times min-1) = NA, experiencia > 4 años	POL (n=6)	TID = 80, 0, 20; carga de trabajo = 517 \pm 90	Tiempo de ciclismo de 40 km (s), 95% de capacidad de ejercicio PPO
			THR (n=6)	TID = 57, 43, 0; carga de trabajo = 633 \pm 119	
Stöggl 2014	Estudio controlado aleatorizado (9 semanas)	Atletas de resistencia competitivos (48), edad=31 \pm 6 años, peso = 73,8 \pm 9 kg, talla = 180 \pm 8 cm, VO_{2pico} (mL \times kg-1 \times min-1)=62,6 \pm 7,1, experiencia > 8 años	POL (n=12)	TID = 68, 6, 26; carga de trabajo = N / A	VO_{2pico} (L \times min-1), $VO_{2submax}$ (% VO_{2pico}), $VO_{2submax}$ (mL \times kg-1 \times min-1), test en rampas
			THR (n=12)	TID = 46, 54, 0; carga de trabajo = N / A	

Consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}); no disponible (NA); consumo de oxígeno pico (VO_{2pico}); producción de potencia pico (PPO); entrenamiento polarizado (POL); tiempo hasta el agotamiento (TTE); entrenamiento umbral (THR); impulso de entrenamiento (TRIMP); distribución de intensidad de entrenamiento (TID); zona de entrenamiento 1 (Z1); zona de entrenamiento 2 (Z2), zona de entrenamiento 3 (Z3)

Tabla 1: Características de los estudios

3.3 Riesgo de sesgo en los estudios

Dos de los cuatro estudios incluidos en la revisión obtuvieron una puntuación de 4/10 en la escala PEDro, y dos obtuvieron una calificación de 5/10 (Tabla 2).

Estudio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Puntuación
Esteve-Lanao 2007	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Muñoz 2014	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	4
Neal 2013	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	4
Stöggl 2014	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	5

(1) Criterios de elegibilidad, (2) Asignación aleatoria, (3) Ocultamiento de la asignación, (4) Comparación con los valores de la línea de base, (5) Cegamiento de los participantes, (6) Cegamiento de los terapeutas, (7) Cegamiento de los Evaluadores, (8) Seguimiento adecuado, (9) Análisis de la intención de tratar, (10) Comparación entre grupos, (11) Estimaciones puntuales y variabilidad. La elegibilidad no está incluida en la puntuación final de 10 puntos

Tabla 2: Riesgo de sesgo en cada uno de los estudios

3.4 Resultados de estudios individuales.

Entre todos los estudios se contabilizó un total de 112 participantes. Antes de la recolección de los datos iniciales (línea de base) todos los participantes fueron asignados al azar a sus respectivos grupos (10, 30, 32, 39). Los autores solo incluyeron los datos iniciales de base y de seguimiento de aquellos participantes que pudieron completar los programas de intervención (98 participantes) (10, 30, 32, 39). Todos los autores de los estudios recibieron correos electrónicos en los cuales se les solicitaban los datos individuales y grupales que no habían sido publicados en sus respectivas publicaciones. Tres de los cuatro autores respondieron al correo electrónico (10, 30, 39), dos de los cuales aportaron datos adicionales (30, 39). Solo los datos de uno de los autores fueron incorporados a la tabla de resultados (Tabla 3) (30).

Estudio	Medición	Grupo	n	Pre (min±SD)	Post (min± SD)	Diferencia intra-grupo (min±SD)	Diferencia entre grupos (min±SD)
Esteve-Lanao 2007	carrera de 10,4 km	POL	6	37,5 ± 2,1	34,9 ± n/a	-2,6 ± 0,53	-0,60 (-0,74, -0,46)
		THR	6	37,9 ± 2,1	35,9 ± n/a	-2,0 ± 0,29	
Muñoz 2014	Carrera de 10 km	POL	15	39,3 ± 4,9	37,3 ± 4,7	-2,0 ± 1,5	-0,60 (-0,78, -0,42)
		THR	15	39,4 ± 3,9	38,0 ± 4,4	-1,4 ± 1,2	
Neal 2013	Ciclismo de 40	POL	11	-	-	-2,3 ± 2,2	-1,90 (-2,4, -1,4)

	km						
		THR	11	-	-	-0,40 ± 2,9	

Entrenamiento polarizado (POL); desviación estándar (SD); entrenamiento de umbral (THR); tiempo hasta el agotamiento (TTE); contrarreloj (TT)

Tabla 3: Resultados de las pruebas contrarreloj.

Tres estudios consideraron como variable de medición al rendimiento en prueba contrarreloj (10, 30, 32), y en todos los casos se observó una diferencia significativa entre el grupo POL y el grupo THR en el rendimiento de la prueba contrarreloj, favoreciendo al grupo POL (Tabla 3). Tres estudios incluyeron VO_{2max} / VO_{2pico} (10, 30, 39), dos de los cuales no incluyeron los resultados posteriores a la intervención (10, 30). El único estudio que incluyó resultados de seguimiento observó una diferencia significativa entre los grupos POL y THR, que favorecía al grupo POL (Tabla 3). Neal et al y Stöggl et realizaron una comparación entre los grupos POL y THR del tiempo hasta el agotamiento (32, 39). Ambos estudios observaron un mayor aumento en el tiempo hasta el agotamiento en el grupo POL (32). Solo el estudio de Stöggl et al incluyó la economía del ejercicio y observó que el modelo POL era mejor que el modelo THR (39).

3.5. Síntesis de resultados.

Solo hubo datos suficientes para completar un análisis cuantitativo sobre el rendimiento de la prueba contrarreloj. En la sección discusión realizaremos análisis cualitativo de los marcadores de rendimiento, entre los que se incluyen el VO_2 máx/pico, el tiempo hasta el agotamiento, la economía del ejercicio y las pruebas contrarreloj. Se incluyeron tres estudios clínicos aleatorios en el meta-análisis (10, 30, 32). Se observó un efecto moderado a favor del grupo POL sobre el grupo THR (ES = -0,66; IC del 95%: -1,17 a -0,15) (Figura 2).

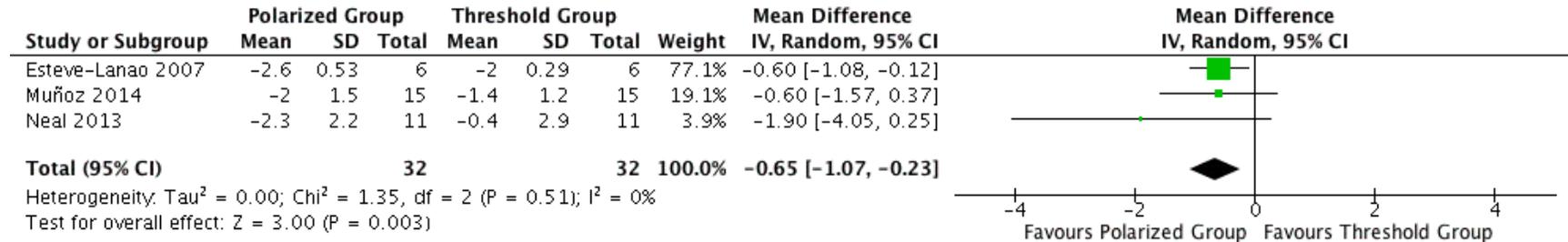


Figura 2: Diagrama de Forrest de resultados de prueba contrarreloj

3.6 Riesgo de sesgo entre los estudios

En referencia a los estudios incluidos en el meta-análisis, el gráfico en embudo de la diferencia estándar en la media frente al error estándar reveló que no hay evidencia de sesgo de publicación ($p=0,52$) (Figura 3).

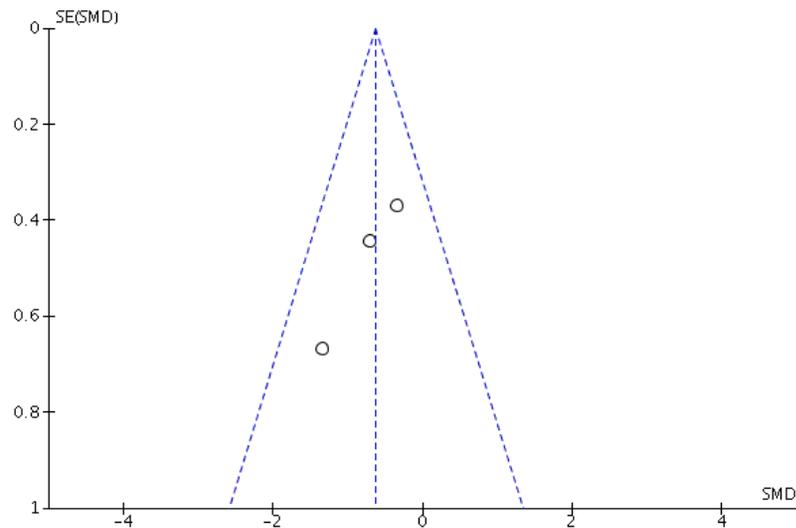


Figura 3: Gráfico en embudo de los resultados de las pruebas contrarreloj

3.7 Análisis adicional

No se realizó ningún análisis adicional

4. DISCUSIÓN

4.1 Resumen de la evidencia

4.1.1 Pruebas contrarreloj.

Los resultados agrupados demuestran una mejora significativamente mayor en el rendimiento de las pruebas contrarreloj en el grupo POL en comparación con el grupo THR (Figura 2). En una prueba de rendimiento contrarreloj el atleta debe realizar una cantidad determinada de trabajo o recorrer una determinada distancia en el menor tiempo posible (18). Se ha demostrado que los resultados de las pruebas contrarreloj tienen una correlación significativa con el rendimiento en ciclismo ($R= 0,98$, $p<0,05$) y el rendimiento en carreras ($R= 0,95$, $p<0,05$) (33, 34). Contamos con una cantidad suficiente de datos para realizar un meta-análisis sobre el rendimiento en prueba contrarreloj.

La principal diferencia entre un modelo POL y un modelo THR fue el porcentaje de tiempo transcurrido en las tres zonas de entrenamiento. En particular, el modelo POL contempla aproximadamente de 75% al 85% del entrenamiento total en la zona de baja intensidad, mientras que un modelo THR solo contempla 35% al 55% del entrenamiento en la zona de baja intensidad. Un estudio de cohorte prospectivo realizado por Esteve-Lanao et al observó una relación positiva entre el tiempo de entrenamiento en la zona de baja intensidad durante un macrociclo de 6 meses y el rendimiento en carreras de larga distancia a campo traviesa en corredores de élite (9). Muñoz et al observaron una relación similar entre el tiempo de entrenamiento empleado en la zona de baja intensidad y el rendimiento en Ironman (29). Sin embargo, Muñoz et al. también observaron que los atletas de Ironman destinaron aproximadamente el 58% del tiempo total de carrera en la zona de intensidad moderada (29).

Un estudio en particular intentó vincular adaptaciones periféricas específicas con el rendimiento en las pruebas contrarreloj. Neal et al realizaron una comparación en los cambios en los transportadores de lactato (MCT1 y MCT4) entre grupos POL y THR para determinar si la distribución de intensidad afectaba el tipo de fibra muscular (32). El transportador MCT1 se encuentra en las fibras musculares oxidativas de tipo I (contracción lenta), mientras que MCT4 solo se encuentra en las fibras de contracción rápida de tipo II (32). Podríamos suponer que un elevado volumen de entrenamiento de baja intensidad produciría un aumento de MCT1 debido a la especificidad del modelo de entrenamiento. Sin embargo, los resultados del estudio no revelaron un cambio en los transportadores específicos del tipo I (32). La ausencia de cambios en el tipo de fibra oxidativa podría deberse a la corta duración de la intervención (6 semanas). Investigaciones previas demostraron que podrían ser necesarios hasta 5 meses para aumentar la densidad de las fibras musculares de tipo I (12),

4.1.2 VO₂max/pico

El consenso actual define al VO₂max como la tasa máxima de oxígeno que puede consumir, transportar y utilizar un individuo (2). Se define por una meseta en el consumo de oxígeno (cambios en VO₂ ≤ 150 ml x min⁻¹) o por una tasa de intercambio respiratorio superior a 1,15 (42). Se ha sugerido que si estos valores fisiológicos no se alcanzan entre las dos últimas etapas del trabajo, los resultados de la prueba representarían un VO₂pico (19). VO₂max/pico es una medición que se utiliza frecuentemente para evaluar la potencia aeróbica (6) y está altamente correlacionada con el rendimiento en carreras de 10 km (R= -0,95, p<0,05) y de maratón (R= -0,96, p<0,05). (11).

Tres de los estudios midieron los efectos de POL y THR en el VO₂max /pico (10, 30, 39). No fue posible realizar un meta-análisis debido a que los resultados post-intervención solo fueron proporcionados en el estudio por Stöggl et al (39). En los resultados de este estudio se observó una diferencia significativa en el VO₂pico que favorecía al grupo POL sobre THR (MD = 0,60 L x min⁻¹; IC del 95%: 0,19, 1,0) (39).

Estudio	Medición	Grupo	n	Pre (min±SD)	Post (min±SD)	Diferencia intra-grupo (min±SD)	Diferencia entre grupos (min±SD)
Esteve-Lanao 2007	VO ₂ max (mL×kg ⁻¹ ×min ⁻¹)	POL	6	68,6 ± 5,9	-	-	-
		THR	6	70,3 ± 9,7	-	-	-
Muñoz 2014	VO ₂ max (mL×kg ⁻¹ ×min ⁻¹)	POL	15	61,0 ± 8,4	-	-	-
		THR	15	64,1 ± 7,3	-	-	-
Stöggl 2014	VO ₂ pico (L × min ⁻¹)	POL	12	4,4 ± 1,0	4,9 ± 1,1	0,50 ± 0,40	0,60 (0,19, 1,0)
		THR	8	4,4 ± 0,8	4,3 ± 0,2	-0,10 ± 0,30	

Entrenamiento polarizado (POL); desviación estándar (SD); entrenamiento de umbral (THR); tiempo hasta el agotamiento (TTE); contrarreloj (TT)

Tabla 4: Resultados de VO₂max/pico

Como se mencionó previamente, las mediciones de la carga de trabajo como VO₂max/pico no explican las diferencias fisiológicas individuales (36). Lucia et al sugirieron que el porcentaje de VO₂max en el que se alcanzan el primer y el segundo umbral ventilatorio podría ser un mejor estimador del rendimiento de la carrera que el VO₂max como una variable independiente (26). Un estudio realizado por Coyle et al comparó el rendimiento en pruebas contrarreloj de ciclismo de 40 km en ciclistas entrenados que tenían el mismo valor de VO₂max (~ 69 ml ×kg⁻¹ × min⁻¹) pero diferentes VT (7). Los resultados del estudio demostraron que el rendimiento de la prueba contrarreloj en ciclistas con umbrales ventilatorios (VT) relativos

más altos fue un 10% más rápido que los ciclistas con VT relativos más bajos (7). Si bien el $VO_{2max/pico}$ puede estar relacionado con el rendimiento en deportes de resistencia (6, 11), la proximidad de VT2 con el VO_{2max} parece ser una mejor medida del rendimiento en deportes de resistencia.

Hay adaptaciones de entrenamiento que aún no han sido investigadas con respecto al metabolismo y a los cambios en los umbrales fisiológicos que se producen mediante un modelo de entrenamiento POL. Hetlelid et al demostraron que los corredores bien entrenados alcanzan umbrales ventilatorios (VT1 y VT2) en un mayor porcentaje de VO_{2max} en comparación con los corredores entrenados recreativamente (16). El estudio también reveló que los atletas bien entrenados tienen la capacidad de metabolizar aproximadamente tres veces la cantidad de ácidos grasos durante una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad en comparación con los corredores entrenados recreativamente (16). Dado que los atletas de resistencia altamente entrenados tienden a seguir un modelo de entrenamiento POL (9, 29, 31, 38), podría existir algún vínculo entre un modelo POL y la capacidad de los atletas de resistencia altamente entrenados para metabolizar los ácidos grasos a mayor velocidad (16). Estudios adicionales que investiguen los efectos del entrenamiento POL sobre las adaptaciones al metabolismo de las grasas y sobre los umbrales ventilatorios podrían aportar nuevos datos sobre los mecanismos asociados al mejor rendimiento a ritmo de carrera en intensidad moderada.

4.1.3 Tiempo hasta el agotamiento

El tiempo hasta el agotamiento se considera una prueba de circuito abierto que puede tener menos validez externa que las pruebas de circuito cerrado (p. ej., Prueba contrarreloj de 40 km), porque podría no ser un indicador realista del rendimiento deportivo (18). Hopkins et al enfatizan que los atletas pueden finalizar la prueba a causa de sentimientos de aburrimiento y falta de motivación, y no por motivos asociados a la fatiga relacionada con el ejercicio (18).

Estudio	Medición	Grupo	n	Pre (min±SD)	Post (min±SD)	Diferencia intra-grupo (min±SD)	Diferencia entre grupos (min±SD)
Neal 2013	95% PPO (% ± SD)	POL	11	-	-	85,0 ± 43,0	48,0 (40,2, 55,8)
		THR	11	-	-	37,0 ± 45,0	
Stöggl 2014	Prueba de rampa	POL	12	-	-	17,4 ± 16,1	8,6 (5,9, 11,3)
		THR	8	-	-	8,8 ± 8,6	

Producción de potencia máxima (PPO); entrenamiento polarizado (POL); desviación estándar (SD); entrenamiento de umbral (THR); tiempo hasta el agotamiento (TTE)
 Tabla 5: Resultados del tiempo hasta el agotamiento.

Dos estudios evaluaron los efectos de los modelos de entrenamiento POL y THR sobre el tiempo hasta el agotamiento (32, 39). Neal et al examinaron el tiempo hasta el agotamiento haciendo que los participantes pedalearan a 95% de su PPO predeterminada (32) y Stöggl et al utilizaron el tiempo total alcanzado en un test incremental en rampas de carrera o ciclismo (39). Los resultados de ambos estudios revelaron que el modelo POL permite obtener una mejora significativamente mayor en el tiempo hasta el agotamiento que el modelo THR (Tabla 3). Debido a las diferencias metodológicas utilizadas para evaluar el tiempo hasta el agotamiento, no fue posible realizar un meta-análisis.

4.1.4 Economía del ejercicio

La economía del ejercicio puede ser definida como la demanda de energía para una dada velocidad o producción de potencia (35) y se ha demostrado que está relacionada con el rendimiento en los deportes de resistencia (44). Solo el estudio de Stöggl et al examinó los efectos de POL y THR en la economía del ejercicio. Los autores observaron una diferencia significativa entre los grupos POL y THR en relación con el $VO_{2submax}$

(% VO₂pico) necesario para mantener una potencia de 200 watts durante una prueba de ciclismo sub máxima (39). También observaron una diferencia significativa entre los grupos POL y THR en VO_{2submax} (mL × kg⁻¹ × min⁻¹) que favoreció al grupo THR (MD = 2,50 mL × kg⁻¹ × min⁻¹; IC del 95%: 2,1, 2,9) (Tabla 3).

Estudio	Medición	Grupo	n	Pre (min±SD)	Post (min±SD)	Diferencia intra-grupo (min±SD)	Diferencia entre grupos (min±SD)
Stöggl 2014	VO _{2submax} (mL × kg ⁻¹ × min ⁻¹)	POL	12	38,2 ± 5,5	39,7 ± 5,0	1,5 ± 2,2	2,5 (2,1, 2,9)
		THR	8	34,7 ± 5,1	33,7 ± 4,4	-1,0 ± 2,4	

Economía del ejercicio (EE); entrenamiento polarizado (POL); desviación estándar (SD); entrenamiento de umbral (THR)

Tabla 6: Economía del ejercicio

Para diferenciar la influencia de los cambios antropométricos (por ejemplo, cambios en la masa corporal) y los cambios fisiológicos, se ha demostrado que la economía del ejercicio tiene una mejor aplicación cuando se mide utilizando la medición del VO₂ absoluto (L × min⁻¹) en lugar del VO₂ relativo (mL × kg⁻¹ × min⁻¹). Dado que estos valores no se aportaron en forma de valores absolutos, a partir de las adaptaciones fisiológicas es difícil concluir que el modelo THR es más efectivo que un modelo POL para mejorar la economía del ejercicio.

4.2 Limitaciones

Existen varias limitaciones que pueden afectar la calidad de la evidencia incluida en esta revisión. Solo cuatro estudios aleatorios cumplieron con los criterios de inclusión, y solo tres pudieron ser utilizados para el meta-análisis. Además, los resultados agrupados solo incluyeron un tamaño de muestra de 64 participantes. La cantidad limitada de estudios junto con el pequeño tamaño de la muestra hace que sea difícil afirmar definitivamente que el modelo POL puede producir mayores mejoras en el rendimiento de pruebas contrarreloj que el modelo THR.

Los problemas de diseño metodológico son evidentes ya que dos de los estudios obtuvieron un puntaje de 4/10 en la escala PEDro y otros dos alcanzaron un puntaje de 5/10 en la misma escala. Más específicamente, temas como la ausencia de cegamiento de los participantes, el cegamiento del asesor y la ocultación de la asignación están presentes en todos los estudios incluidos en la revisión. No se incluyó un análisis de intención de tratar en ninguno de los estudios, lo que posiblemente afectó la capacidad de controlar las variables de confusión. Las limitaciones en la metodología pueden afectar la validez interna de los estudios incluidos y aumentar el riesgo de sesgo.

Algunos de los estudios incluyeron resultados que se midieron al inicio del estudio, sin embargo, no proporcionaron los resultados post-intervención. Las variables de rendimiento incluidas en esta revisión se centraron solo en las medidas examinadas antes y después de la intervención. Además, hubo una estandarización limitada de las cargas de entrenamiento entre los grupos POL y THR. La falta de consistencia en los protocolos de entrenamiento puede afectar la fortaleza de los resultados del meta-análisis.

Si bien los aspectos de diseño son importantes a considerar cuando se aborda la validez de los resultados, también es necesario considerar la población de la cual se tomó la muestra. Existen pocos estudios aleatorios con atletas de resistencia altamente entrenados porque dichos estudios podrían alterar los programas de entrenamiento y afectar negativamente el rendimiento. Por lo tanto, aunque las limitaciones descritas pueden influir en la interpretación de los resultados, la escasez de estudios realizados con esta población debería agregar un valor significativo.

El entrenamiento POL ha sido discutido detalladamente en la literatura durante la última década. Se necesitan investigaciones adicionales que involucren un mayor enfoque metodológico para determinar con confianza los efectos de un modelo de entrenamiento POL en el rendimiento de resistencia. A medida que los atletas se preparan para las competencias, tienden a aumentar su carga de trabajo total manipulando la duración y la intensidad del entrenamiento (23). Por lo tanto, los futuros planteos deberían abordar cómo la distribución de la intensidad de entrenamiento antes del período de puesta a punto puede influir en el rendimiento del evento durante una temporada de carreras. Debido a la desconexión entre un modelo de entrenamiento POL y el principio de especificidad, los estudios adicionales deberían investigar el vínculo entre las adaptaciones fisiológicas y metabólicas que se producen después de un modelo de entrenamiento POL y del rendimiento en ritmo de carrera.

4.3 CONCLUSIONES

El entrenamiento aeróbico de alta intensidad es un componente fundamental del programa de ejercicios para mejorar el rendimiento en deportes de resistencia (15, 37). Sin embargo, una alta frecuencia de entrenamiento de alta intensidad puede producir disminuciones significativas en el rendimiento deportivo (24). Los hallazgos de este meta-análisis indican que un modelo de entrenamiento POL puede producir una mejora significativamente mayor que un modelo de entrenamiento THR en el rendimiento de resistencia. Las limitaciones metodológicas de los estudios incluidos pueden afectar su validez externa; sin embargo, actualmente son el nivel más alto de evidencia disponible sobre el tema. Los entrenadores de deportes de resistencia deben reconocer que la distribución de la intensidad del entrenamiento puede afectar el rendimiento de deportes de resistencia y deberían considerar un modelo de entrenamiento POL al estructurar un programa de entrenamiento.

Se han publicado un total de cuatro estudios controlados aleatorizados sobre los efectos de un modelo de entrenamiento POL en el rendimiento de deportes de resistencia. Los resultados combinados de todos los estudios permiten observar un efecto moderado que indicaría que un modelo POL puede producir una mayor mejora en el rendimiento de pruebas contrarreloj que un modelo THR.

5. Financiamiento: Ninguno

6. REFERENCIAS

1. Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med.* 2003;33(7):517-538.
2. Bassett DR Jr, and Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Spors Exerc.* 2000;32(1):70-84.
3. Billat LV. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. Recommendations for long distance running. *Sports Med.* 1996;22(3):157-175.
4. Billat LV, Koralsztejn J-P. Significance of the velocity at VO₂max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med.* 1996;22(2):90-108.
5. Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Med.* 2013;43(5):313-338.
6. Costill DL. The relationship between selected physiological variables and distance running performance. *J Sports Med Phys Fitness.* 1967;7:61-66.
7. Coyle EF, Feltner ME, Kautz SA, Hamilton MT, Montain SJ, Baylor AM, Abraham LD, Petrek GW. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1991;23(1):93-107.

8. Dishman RK, Patton RW, Smith J, Weinberg R, Jackson A. Using perceived exertion to prescribe and monitor exercise training heart rate. *Int J Sports Med.* 1987;8:208-213.
9. Esteve-Lanao J, San Juan AF, Earnest CP, Foster C, Lucia A. How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(3):496-504.
10. Esteve-Lanao J, Foster C, Seiler S, and Lucia A. Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *J Strength Cond Res.* 2007; 21(3):943-949.
11. Foster C. VO₂max and training indices as determinants of competitive running performance. *J Sports Sci* 1:13-22, 1983.
12. Gollnick PD, Armstrong RB, Saltin B, Saubert CW 4th, Sembrowich WL, and Shepherd RE. Effect of training on enzyme activity and fibre composition of human skeletal muscle. *J Appl Physiol.* 1973;34:107-111.
13. Hausswirth C, Louis J, Aubry A, Bonnet G, Duffield R, Le Meur Y. Evidence of disturbed sleep and increased illness in overreached endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2014;46(5):1036-1045.
14. Hedges L, Olkin I. *Statistical methods for meta-analysis.* 1981; New York, NY: Academic Press.
15. Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, Simonsen T, Helgesen C, Hjorth N, Back R, and Hoff J. Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(4):665-671.
16. Hetlelid KJ, Plews DJ, Herold E, Laursen PB, Seiler S. Rethinking the role of fat oxidation: substrate utilisation during high-intensity interval training in well-trained and recreationally trained runners. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2015;1(1):e000047.
17. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(1):3-12.
18. Hopkins WG, Schabert EJ, and Hawley JA. Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med* 31(3):211-234, 2001.
19. Howley ET, Bassett DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27(9):1292-1301.
20. Hydren JR, and Cohen BS. Current scientific evidence for a polarized cardiovascular endurance training model. *J Strength Cond Res.* 2015;29(12):3523-3530.
21. Kamper SJ, Moseley AM, Herbert RD, Maher CG, Elkins M, Sherrington C. 15 years of tracking physiotherapy evidence on PEDro, where are we now? *Br J Sports Med.* 2015;49(14):907-909.
22. Lau J, Ioannidis JP, and Schmid CH. Summing up evidence: one answer is not always enough. *Lancet* 351:123-127, 1998.
23. Le Meur Y, Hausswirth C, Mujika I. Tapering for competition: A review. *Science Sports.* 2012;27(2):77-87.
24. Le Meur Y, Hausswirth C, Natta F, Couturier A, Bignet F, Vidal PP. A multidisciplinary approach to overreaching detection in endurance trained athletes. *J Appl Physiol.* 2013;114(3):411-420.
25. Lucía A, Hoyos J, Carvajal A, and Chicharro JL. Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. *J Sports Med.* 1999;20:167-172.
26. Lucia A, Pardo J, Durántez A, Hoyos J, Chicharro JL. Physiological differences between professional and elite road cyclists. *Int J Sports Med.* 1998;19(5):342-348.
27. Meeusen R, Duclos, M, Gleeson M, Rietjens G, Steinacker J, and Urhausen A. Prevention, diagnosis and treatment of overtraining syndrome: ECSS position statement 'task force'. *Eur J Sport Sci.* 2006;6(1):1-14.
28. Moher D, Shamseer L, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, Petticrew M, Shekelle P, Stewart LA, and PRISMA-P Group. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Rev.* 2015;4:1-9.
29. Muñoz I, Cejuela R, Seiler S, Larumbe E, and Esteve-Lanao J. Training-training intensity distribution during an ironman season: relationship with competition and performance. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(2):332-339.

30. Muñoz I, Seiler S, Bautista J, España J, Larumbe E, and Esteve-Lanao J. Does polarized training improve performance in recreational runners? *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(2):265-272.
31. Neal CM, Hunter AM, Galloway SD. A 6-month analysis of training-intensity distribution and physiological adaptation in Ironman triathletes. *J Sports Sci.* 2011;29(14):1515-1523.
32. Neal CM, Hunter AM, Brennan L, O'Sullivan A, Hamilton DL, DeVito G, and Galloway SD. Six weeks of polarized training-intensity distribution leads to greater physiological and performance adaptations than a threshold model in trained cyclists. *J Appl Physiol.* 2013;114(4):461-471.
33. Palmer GS, Dennis SC, Noakes TD, and Hawley JA. Assessment of the reproducibility of performance testing on an air-braked cycle ergometer. *Int J Sports Med.* 1996;17(4):293-298.
34. Russell RD, Redmann SM, Ravussin E, Hunter GR, and Larson-Meyer DE. Reproducibility of endurance performance on a treadmill using a preloaded time trial. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(4):717-723.
35. Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med.* 2004;34(7):465-485.
36. Seiler S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int J Sports Physiol Perform.* 2010;5:276-291.
37. Seiler S, Jøranson K, Olesen BV, and Hetlelid KJ. Adaptations to aerobic interval training: interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scand J Med Sci Sports.* 2013;23:74-83.
38. Seiler KS, and Kjerland GØ. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? *Scand J Med Sci Sports.* 2006;16(1):49-56.
39. Stöggl T, and Sperlich B. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold high-intensity, or high volume training. *Front Physiol.* 2014;5(33):1-9.
40. Stöggl T, and Sperlich B. The training-intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Front Physiol.* 2015;6(295):1-14.
41. Sylta O, Tønnessen E, and Seiler S. From heart-rate data to training quantification: a comparison of 3 methods of training-intensity analysis. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(1):100-107.
42. Taylor HL, Buskirk E, and Henschel A. Maximal oxygen intake as an objective measurement of cardiorespiratory performance. *J Appl Physiol.* 1955;8:73-80.
43. Tjelta LI, Enoksen, E. Training characteristics of male junior cross country and track runners on European top level. *Int J Sport Sci Coach.* 2010;5(2):193-200.
44. Weston AR, Mbambo Z, Myburgh KH. Running economy of African and Caucasian distance runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(6):1130-1134.

Version original:

Rosenblat M.A., Perrotta A.S. and Vicenzino B. Polarized vs. Threshold Training Intensity Distribution on Endurance Sport Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J. Strength Cond. Res.* 2018 May 30.
doi: 10.1519/JSC.0000000000002618