Original Research

Periodización de HIT por Bloques versus Tradicional: Dos Caminos Diferentes hacia el Éxito para la Mejor Esquiadora de Cross-Country del Mundo

Block vs. Traditional Periodization of Hit: Two Different Paths to Success for the World's Best Cross-Country Skier

Guro Strøm Solli[1,2], Espen Tønnessen[3] y Øyvind Sandbakk[2]

[1]*Departamento de Ciencias del Deporte y Educación Física, Universidad del Norte, Bodø, Noruega*
[2]*Departamento de Neuromedicina y Ciencias del Movimiento, Centro de Investigación de Deportes de Élite, Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, Trondheim, Noruega*
[3]*Colegio Universitario Kristiania, Oslo, Noruega*

RESUMEN

En estudios a corto plazo, la periodización por bloques del entrenamiento de alta intensidad (HIT) ha demostrado ser una estrategia eficaz que mejora el rendimiento y los factores fisiológicos relacionados. Sin embargo, actualmente faltan estudios a largo plazo e investigaciones detalladas de la macro-, meso- y micro-periodización de los bloques de HIT en deportistas de resistencia de categoría mundial. En un estudio reciente, demostramos que la esquiadora de Cross-Country (XC) más exitosa del mundo utilizó dos modelos de periodización diferentes con éxito a lo largo de su carrera. Uno que incluye el uso extensivo de bloques de HIT (BP), y otro que utiliza un método tradicional (TRAD). En este estudio, comparamos la BP con la TRAD en dos temporadas exitosas comparables y proporcionamos una descripción detallada del uso anual de los bloques de HIT en la BP. La participante es la atleta olímpica de invierno más condecorada, con 8 medallas de oro olímpica, 18 títulos de campeona del mundo y 114 victorias en la copa del mundo. Los datos de entrenamiento se clasificaron por forma de entrenamiento (resistencia, fuerza y velocidad), intensidad [baja (LIT), moderada (MIT) y HIT] y modo (carrera, ciclismo y esquí/esquí sobre ruedas). No se encontraron diferencias significativas en la carga total de entrenamiento de resistencia entre la BP y la TRAD. Sin embargo, el volumen de entrenamiento en la BP fue menor en comparación con la TRAD (15 ± 6 frente a 18 ± 7 h/sem, p = 0,001), explicado principalmente por una menor LIT (13 ± 5 frente a 15 ± 5 h/sem, p = 0,004). También se realizó un menor volumen de MIT en la BP en comparación con la TRAD (13 frente a 38 sesiones/año), mientras que la cantidad de HIT fue mayor en la BP (157 frente a 77 sesiones/año). Mientras que la BP incluía grandes cantidades de HIT ya desde el primer período de preparación, seguido de una reducción hacia el período de competición, la TRAD tuvo un aumento progresivo de la HIT hacia el período de competición. En la BP, la atleta realizó siete bloques de HIT, variando de 7 a 11 días, cada uno incluyendo 8-13 sesiones de HIT. Este estudio proporciona nuevos conocimientos sobre la utilización exitosa de dos modelos de periodización diferentes en la mejor esquiadora de XC del mundo, e ilustra la macro-, meso- y micro-periodización de los bloques de HIT para aumentar la cantidad total de HIT.

Palabras Clave: Periodización, Bloques, HIT, Sky Croos Country

ABSTRACT

In short-term studies, block periodization of high-intensity training (HIT) has been shown to be an effective strategy that enhances performance and related physiological factors. However, long-term studies and detailed investigations of macro, meso, and micro-periodization of HIT blocks in world-class endurance athletes are currently lacking. In a recent study, we showed that the world's most successful cross-country (XC) skier used two different periodization models with success throughout her career. One including extensive use of HIT blocks, namely BP, and one using a traditional method namely TRAD. In this study, we compare BP with TRAD in two comparable successful seasons and provide a detailed description of the annual use of HIT blocks in BP. The participant is the most-decorated winter Olympian, with 8 Olympic gold medals, 18 world championship titles, and 114 world cup victories. Training data was categorized by training form (endurance, strength, and speed), intensity [low (LIT), moderate (MIT), and HIT], and mode (running, cycling, and skiing/roller skiing). No significant difference was found in the total endurance training load between BP and TRAD. However, training volume in BP was lower compared to TRAD (15 ± 6 vs. 18 ± 7 h/wk, P = 0.001), mainly explained by less LIT (13 ± 5 vs. 15 ± 5 h/wk, P = 0.004). Lower volume of MIT was also performed in BP compared to TRAD (13 vs. 38 sessions/year), whereas the amount of HIT was higher in BP (157 vs. 77 sessions/year). While BP included high amounts of HIT already from the first preparation period, followed by a reduction toward the competition period, TRAD had a progressive increase in HIT toward the competition period. In BP, the athlete performed seven HIT blocks, varying from 7 to 11 days, each including 8–13 HIT sessions. This study provides novel insights into successful utilization of two different periodization models in the worlds best XC skier, and illustrates the macro, meso and micro- periodization of HIT blocks to increase the overall amount of HIT.

Keywords: Periodization, Blocks, HIT, Ski Cross Country

INTRODUCCIÓN

El esquí de Cross-Country (XC) está considerado como uno de los deportes de resistencia más exigentes, con entrenamiento y competición que desafía cada paso de la cadena de transporte de oxígeno. Así, el entrenamiento de los esquiadores de XC se centra principalmente en la capacidad de resistencia aeróbica y el modelo de entrenamiento más común entre los esquiadores de XC incluye 700-850 h de entrenamiento de resistencia, distribuidas en un 90% de baja (LIT), 4-5% de moderada (MIT) y 5-8% de alta intensidad (HIT) (Sandbakk y Holmberg, 2017). Aunque las sesiones de HIT normalmente constituyen sólo una o tres de las sesiones de entrenamiento semanales de los esquiadores de XC y muchos otros atletas de resistencia, o ~20% del número total anual de sesiones (Seiler, 2010; Stöggl y Sperlich, 2015), son claves para obtener ganancias fisiológicas y de rendimiento (Laursen y Jenkins, 2002; Buchheit y Laursen, 2013a,b). De hecho, se argumenta que un mayor volumen y/o frecuencia de HIT sería beneficioso para el futuro desarrollo de los deportistas de resistencia de élite (Laursen, 2010).

Independientemente de la distribución general de la intensidad, la mayoría de los estudios informan que la periodización de HIT versus MIT y LIT en esquí-XC se logra mediante el modelo de periodización tradicional (Matwejew, 1975; Issurin, 2008; Tønnessen et al., 2014). La utilización de este modelo se caracteriza por un enfoque mixto en LIT, MIT y HIT en todos los períodos, pero con una progresión gradual desde un alto volumen de entrenamiento a una mayor intensidad de entrenamiento, un volumen reducido y un entrenamiento más específico a medida que se acerca el período de competición. Sin embargo, el modelo de periodización tradicional ha recibido críticas debido a las posibles adaptaciones fisiológicas conflictivas producidas por el entrenamiento mixto de muchos factores relacionados con el rendimiento simultáneamente. Como alternativa, se ha argumentado que una forma más efectiva de organizar el entrenamiento de resistencia es incluir bloques definidos de mayor enfoque en intensidades específicas (Issurin, 2008, 2010, 2016, 2018).

En este contexto, los bloques de estímulos de HIT altamente concentrados tienen como objetivo inducir un impacto metabólico beneficioso y una respuesta hormonal adecuada para optimizar las adaptaciones posteriores (Issurin, 2018). Mientras que se han mostrado efectos positivos a corto plazo del uso de bloques de HIT para aumentar las respuestas de entrenamiento (Breil et al., 2010; Støren et al., 2012; Wahl et al., 2013; Clark et al., 2014; Rønnestad et al., 2017), sólo un pequeño número de estudios ha comparado la periodización por bloques de HIT con modelos tradicionales igualados con HIT distribuidos de forma uniforme. Algunos de estos estudios informaron mejoras superiores al usar bloques de HIT entre

ciclistas de nivel nacional y esquiadores de XC (Rønnestad et al., 2014a,b, 2016), mientras que un estudio reciente de esquiadores junior de XC no informó efectos beneficiosos de los bloques comparado con una distribución uniforme de HIT (McGawley et al., 2017). Sin embargo, estos estudios han comparado los diferentes modelos de periodización comparando el estímulo de HIT general, mientras que el uso de la periodización por bloques de HIT en un contexto de la vida real a menudo se relaciona con un aumento del estímulo de HIT general.

Aunque un estudio a largo plazo siguió a un ciclista masculino a nivel nacional durante 58 semanas de bloques sistemáticos de LIT, MIT y HIT (Rønnestad y Hansen, 2018), la mayoría de los estudios previos sobre la periodización por bloques de HIT están limitados por períodos de intervención cortos (4-12 semanas), y ninguno ha examinado a los atletas de resistencia a nivel mundial. Además, hay una falta de investigaciones detalladas sobre la macro-, meso- y micro-periodización utilizando bloques de HIT y pruebas de cómo este modelo se distingue del modelo tradicional de acuerdo con la organización del entrenamiento a lo largo del ciclo anual en atletas de resistencia de categoría mundial.

En un estudio reciente, demostramos que la esquiadora de XC más exitosa del mundo utilizó dos modelos de periodización diferentes con éxito a lo largo de su carrera (Solli et al., 2017). Uno que incluye el uso extensivo de bloques de HIT (BP) y un método tradicional (TRAD). En este estudio de seguimiento, los principales objetivos son comparar la BP con la TRAD en dos temporadas de éxito comparables en la mejor esquiadora de XC del mundo, y proporcionar una descripción detallada de su uso anual de bloques de HIT. Esto proporcionará información novedosa sobre la macro-, meso- y micro-organización de LIT, MIT y HIT, y generará nuevas hipótesis para estudios de seguimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participante

La participante es la atleta olímpica de invierno más condecorada, con 8 medallas de oro olímpicas, 18 títulos de campeón del mundo y 114 victorias en la copa del mundo (FIS, 2018). El estudio fue evaluado por el comité de ética regional de Noruega y aprobado por el Servicio Noruego de Datos de Ciencias Sociales (NSD). Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de la participante para la publicación de este estudio, que se realizó de acuerdo con las declaraciones de Helsinki.

Diseño General

Este estudio se basa en un estudio previo de entrenamiento longitudinal (Solli et al., 2017) que identifica dos modelos de periodización de entrenamiento (periodización por bloques y periodización tradicional de HIT) en los patrones de entrenamiento de la esquiadora. Aquí, el contenido detallado del entrenamiento durante un año representativo utilizando la periodización por bloques de HIT (BP: temporada 2005-2006) y un año representativo utilizando el modelo tradicional (TRAD: 2014-2015). Los años se seleccionaron en base a tres criterios: (1) desempeño exitoso durante el año examinado (ganó carreras de la copa del mundo tanto en carreras de sprint (0,8-1,3 km) como de distancia (10-30 km) en ambas temporadas, lo que condujo a la victoria en el sprint y en la copa del mundo en general), (2) igual carga de entrenamiento de resistencia (ETL) basada en los impulsos de entrenamiento (TRIMP), y (3) información detallada sobre el diseño de las sesiones de entrenamiento a lo largo de las temporadas.

Monitoreo, Registro y Sistematización del Entrenamiento

La participante registró todos los datos de entrenamiento en diarios diseñados por la Asociación Noruega de Esquí y la Federación Olímpica Noruega para proporcionar una medida válida y precisa del entrenamiento (Sylta et al., 2014). Todos los datos del entrenamiento fueron sistematizados por fases [preparación general 1 y 2 (GP1 y GP2), preparación específica (SP) y fase de competición (CP)], forma de entrenamiento (resistencia, fuerza y velocidad), intensidad (LIT, MIT y HIT) y modos de ejercicio específicos (esquí/esquí sobre ruedas) versus modos de ejercicio no específicos (carrera y ciclismo). La información detallada sobre el registro y la sistematización de los datos de entrenamiento, la división de las fases de entrenamiento, la determinación de las zonas de intensidad, la categorización de las sesiones LIT, MIT y HIT, así como el contenido de las sesiones de velocidad y fuerza se describen anteriormente (Solli et al., 2017). Los días y períodos de enfermedad se registraron sobre la base del informe sistemático de la participante en los diarios de entrenamiento. La ETL se calculó multiplicando la duración acumulada de la intensidad por un multiplicador para la zona de intensidad particular (por ejemplo, 1 minuto en LIT, MIT, y HIT recibe una puntuación de 1, 2, y 3 TRIMP, respectivamente). La ETL total (puntuación TRIMP) se obtiene sumando los resultados (Foster et al., 2001). El desarrollo del rendimiento a lo largo de la temporada se investigó comparando el rango promedio en las competiciones internacionales (carreras de la copa del mundo y campeonatos Mundiales/Olímpicos) en la primera fase (es decir, carreras antes de los campeonatos principales) y

en la segunda fase (es decir, carreras de los campeonatos principales y durante el resto de la temporada de competición). Dado que la cantidad promedio de MIT y HIT era de 2 a 3 sesiones por semana (Solli et al., 2017), la definición de un bloque de HIT se estableció como >4 sesiones de HIT (sin incluir las competiciones) durante un período de 7 días.

Entrevistas

Para recopilar información adicional, asegurar el cumplimiento de los comentarios del diario de entrenamiento y verificar la intensidad de entrenamiento de las diferentes sesiones de entrenamiento, se realizaron entrevistas semiestructuradas y preguntas específicas sobre la experiencia de los dos modelos de periodización con la participante y sus entrenadores.

Análisis Estadísticos

Todos los datos de los períodos investigados se presentan como media ± desviación estándar (SD). Las variables con distribución normal fueron analizadas usando un *t*-test de muestra pareada para la BP versus la TRAD. De lo contrario, se utilizó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon. Todos los tests estadísticos se procesaron utilizando IBM SPSS statistics version 24 Software for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, Estados Unidos) y Office Excel 2016 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, Estados Unidos).

RESULTADOS

Comparaciones de Periodización de HIT por Bloques y Tradicional

Carga y Volumen Total de Entrenamiento

No se encontraron diferencias significativas en la ETL semanal entre la BP y la TRAD (1058 ± 368 versus 1084 ± 339 TRIMP). El volumen medio semanal de entrenamiento fue un 15% inferior en la BP en comparación con la TRAD (Tabla 1, $p = 0,001$). El volumen total anual de entrenamiento fue de 795 h distribuidas en 478 sesiones en la BP y 938 h en 538 sesiones en la TRAD. El promedio semanal de ETL y el volumen a través de las diferentes fases se presentan en la Tabla 1 y la Figura 1A.

Tabla 1. *Distribución semanal del entrenamiento (media ± SD) a través de las diferentes fases de periodización en la BP y la TRAD para la esquiadora de Cross-Country más exitosa del mundo.*

	GP1		GP2		SP		CP		Total	
	BP	TRAD	BP	TRAD	BP	TRAD	BP	TRAD	BP	TRAD
Training forms										
Hours	18.9 ± 3.4	21.3 ± 5.1	19.3 ± 4.0	22.1 ± 4.7*	16.0 ± 3.2	19.1 ± 3.0	9.8 ± 4.4	13.6 ± 6.0	15.3 ± 5.9	18.0 ± 6.7*
Session	10.8 ± 1.1	12.4 ± 2.0*	10.6 ± 1.2	12.1 ± 1.0*	9.8 ± 1.7	12.6 ± 1.3*	7.3 ± 3.3	11.0 ± 2.9*	9.2 ± 2.8	11.6 ± 2.3*
Training forms										
Endurance (h)	17.6 ± 3.2	18.5 ± 4.6	17.9 ± 3.8	19.2 ± 3.9	15.1 ± 2.9	17.2 ± 2.6	9.3 ± 4.1	12.8 ± 4.9	14.4 ± 5.3	16.1 ± 5.5*
Strength (h)	1.1 ± 0.5	2.3 ± 0.8*	1.1 ± 0.5	2.4 ± 1.1*	0.8 ± 0.3	1.7 ± 0.8*	0.3 ± 0.4	0.7 ± 1.3	0.8 ± 0.6	1.7 ± 1.2*
Speed (h)	0.2 ± 0.2	0.5 ± 0.4*	0.3 ± 0.4	0.5 ± 0.3	0.1 ± 0.2	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.2	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.2	0.3 ± 0.3*
Exercise modes										
Specific (h)	8.2 ± 2.6	9.9 ± 6.1	8.5 ± 4.2	9.7 ± 3.9	11.7 ± 3.0	12.7 ± 2.8	8.8 ± 3.8	10.8 ± 4.5	8.8 ± 3.7	10.0 ± 4.9
Non-specific (h)	9.6 ± 3.3	9.1 ± 3.0	9.7 ± 3.4	10.0 ± 2.8	3.6 ± 3.3	4.7 ± 2.5	0.7 ± 0.6	2.0 ± 1.9*	5.7 ± 4.9	6.3 ± 4.1
SPE/UNSPE (%)	*46/54*	*52/48*	*47/53*	*49/51*	*77/23*	*73/27*	*92/8*	*84/16*	*61/39*	*61/39*
Endurance training time										
Load (TRIMP/wk)	1303 ± 183	1213 ± 282	1293 ± 124	1292 ± 202	1118 ± 207	1158 ± 148	712 ± 342	893 ± 302	1058 ± 368	1084 ± 339
LIT (h)	15.4 ± 4.1	17.2 ± 4.4	15.9 ± 4.6	17.6 ± 4.2	13.3 ± 2.7	15.8 ± 2.5	8.0 ± 3.4	11.6 ± 4.7	12.6 ± 5.2	14.8 ± 5.3*
MIT (h)	0.3 ± 0.4	0.9 ± 0.6*	0.3 ± 0.3	0.8 ± 0.7	0.1 ± 0.2	0.7 ± 0.6*	0.04 ± 0.2	0.2 ± 0.3*	0.2 ± 0.3	0.6 ± 0.6*
HIT (h)	1.9 ± 1.5	0.4 ± 0.5*	1.7 ± 1.1	0.8 ± 0.6*	1.7 ± 0.5	0.7 ± 0.3*	1.2 ± 1.0	1.0 ± 0.6	1.6 ± 1.2	0.7 ± 0.6*
LIT/MIT/HIT (%)	*87/2/11*	*93/5/2*	*89/2/9*	*92/4/4*	*88/0/11*	*92/4/4*	*86/0/13*	*91/2/7*	*88/1/11*	*92/4/4*
Endurance training sessions										
LIT (sessions)	5.4 ± 3.3	7.2 ± 1.8	5.5 ± 3.1	7.5 ± 1.7	5.1 ± 1.5	7.3 ± 1.5*	4.4 ± 2.3	7.2 ± 3.2	5.0 ± 2.6	7.0 ± 2.4*
MIT (sessions)	0.4 ± 0.5	1.0 ± 0.7*	0.5 ± 0.5	0.8 ± 0.7	0.1 ± 0.3	0.9 ± 0.9*	0.1 ± 0.3	0.4 ± 0.5*	0.3 ± 0.4	0.7 ± 0.7*
HIT (sessions)	3.8 ± 3.0	0.8 ± 0.9*	3.3 ± 2.3	1.5 ± 1.1*	3.6 ± 1.0	1.9 ± 0.9*	2.3 ± 1.5	2.1 ± 1.5	3.0 ± 2.2	1.5 ± 1.2*
LIT/MIT/HIT (%)	*56/4/40*	*80/11/9*	*61/5/34*	*76/9/16*	*58/1/41*	*73/9/19*	*66/1/33*	*74/4/22*	*61/3/36*	*76/8/16*
Categorization of low intensity training										
Warm up & cool down (h)	4.6 ± 3.1	2.8 ± 0.5	4.6 ± 2.0	2.6 ± 1.1*	4.8 ± 1.0	4.2 ± 1.2	3.0 ± 2.0	3.0 ± 1.9	3.9 ± 2.4	2.9 ± 1.4*
<50 min (h)	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.2	0.1 ± 0.4	0.1 ± 0.3	0.3 ± 0.5	0.8 ± 0.9	0.8 ± 0.8	1.3 ± 1.5	0.3 ± 0.6	0.5 ± 1.0*
50–90 min (h)	1.2 ± 1.3	1.0 ± 1.6	0.8 ± 0.8	1.5 ± 1.2*	1.3 ± 1.7	1.5 ± 1.4	1.6 ± 1.3	1.9 ± 1.0	1.2 ± 1.2	1.4 ± 1.3
90–150 min (h)	6.4 ± 3.7	8.5 ± 4.0*	6.7 ± 4.6	8.1 ± 3.0	5.7 ± 3.0	6.4 ± 2.9	2.5 ± 2.8	4.1 ± 3.9	5.2 ± 3.8	6.5 ± 3.9*
≥150 min (h)	3.3 ± 3.0	4.9 ± 3.4	3.7 ± 3.6	5.3 ± 4.6	1.3 ± 2.0	2.9 ± 5.0	0.2 ± 0.7	1.8 ± 2.5*	2.0 ± 2.9	3.5 ± 4.0*

*GP1, general preparation period 1; GP2, general preparation period 2; SP, specific preparation period; CP, competition period; SPE, specific exercise mode; UNSPE, non-specific exercise mode; LIT, low intensity training; MIT, moderate intensity training; HIT, high intensity training. *Significantly different from BP ($P < 0.05$).*

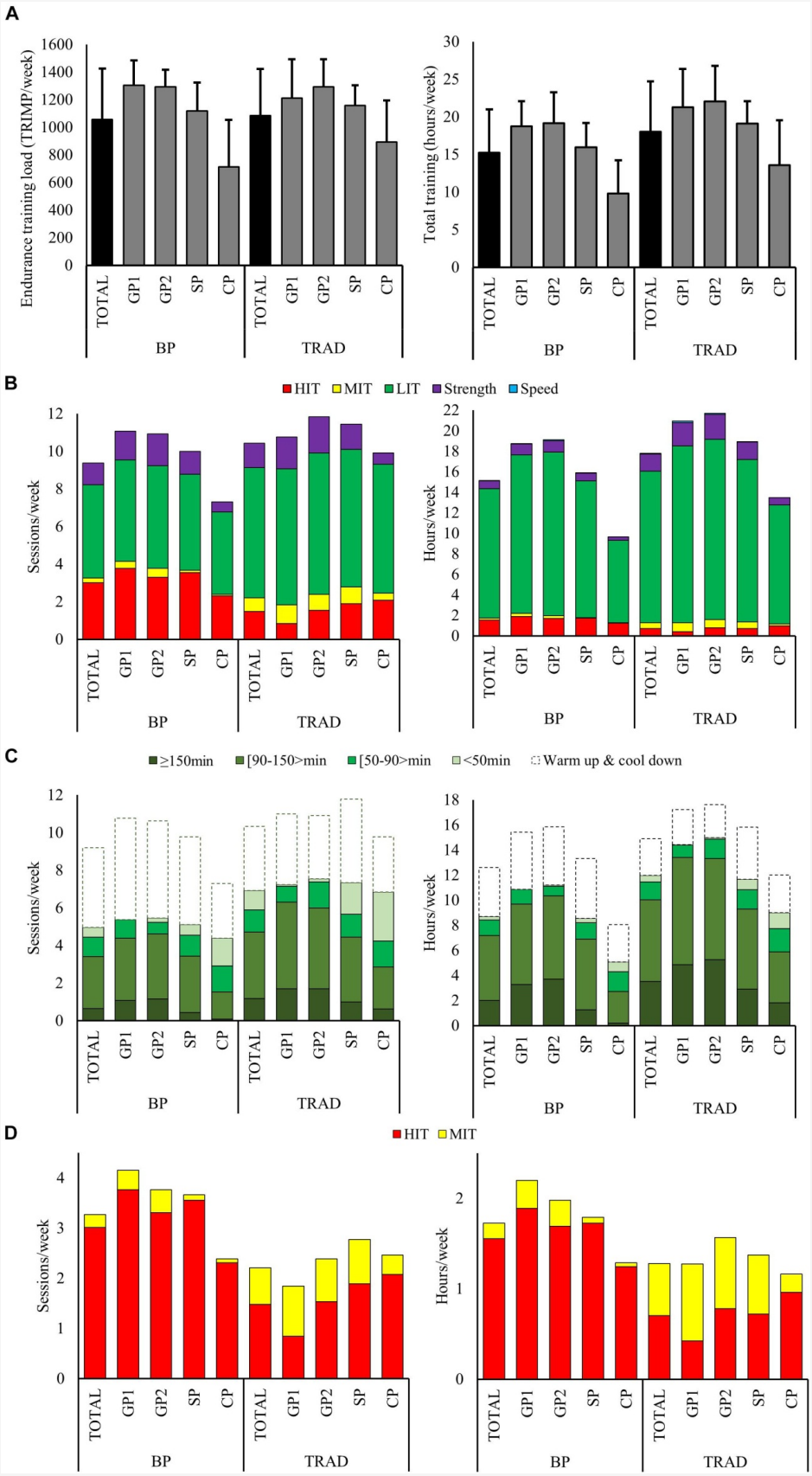

Figura 1. *La distribución del volumen total de entrenamiento y de la carga de entrenamiento de resistencia* ***(A)****, la distribución de intensidad* ***(B)****, el entrenamiento de baja (LIT)* ***(C)****, el entrenamiento de media (MIT) y el entrenamiento de alta intensidad (HIT)* ***(D)*** *a lo largo del ciclo anual (TOTAL), y las diferentes fases [preparación general (GP), preparación específica (SP) y fase de competición (CP)], en la temporada utilizando la periodización por bloques de HIT (BP) y en la temporada utilizando la periodización tradicional (TRAD).*

El rango promedio en las competiciones internacionales en las dos temporadas investigadas fue de 4,2 ± 4,4 (2,9-5,6 en la primera y segunda fase, respectivamente) en la BP versus 2,8 ± 5,8 (1,4- 5,8 en la primera y segunda fase, respectivamente) en la TRAD. El total de días anuales pasados en altitud fue de 58 y 54 durante la BP y la TRAD, respectivamente. Se encontró el mismo número (36) de días sin entrenamiento en la BP y la TRAD. El número de días de enfermedad fue de siete (un período en CP) en la BP en comparación con nueve (un período en GP1, un período en GP2 y uno en CP) en la TRAD.

Distribución de las Formas de Entrenamiento y Modos de Ejercicio

Las formas de entrenamiento en la BP se distribuyeron como 746 h (94%) de resistencia, 40 h (5%) de fuerza y 10 h (1%) de entrenamiento de velocidad en comparación con 836 h (89%) de resistencia, 86 h (9%) de fuerza y 15 h (2%) de entrenamiento de velocidad en la TRAD. El volumen semanal de entrenamiento de resistencia fue 11% menor en la BP en comparación con la TRAD (Tabla 1, $P = 0,019$). El tiempo semanal de entrenamiento de fuerza fue un 54% menor en la BP versus la TRAD (Tabla 1, $P < 0,001$); esto estuvo presente en todas las fases excepto en la CP. No se encontraron diferencias en el entrenamiento de fuerza máxima entre la BP y la TRAD, pero se realizó una cantidad mucho mayor de entrenamiento de fuerza general (48 versus 0,4 h) durante la TRAD. El tiempo semanal de entrenamiento de velocidad fue un 37% menor en la BP en comparación con la TRAD (Tabla 1, $P = 0,023$). La distribución de las formas de entrenamiento por fases se presenta en la Figura 1B.

La distribución de los modos de ejercicio específicos/no específicos fue aproximadamente similar (61/39%) en la BP y la TRAD. No se encontraron diferencias entre la cantidad semanal de entrenamiento específico versus no específico a través de las fases anuales, excepto por el 65% más de volumen del modo de ejercicio no específico en la CP durante la TRAD (Tabla 1, $P = 0,016$).

Entrenamiento de Resistencia

Según el tiempo pasado en cada zona de intensidad, la distribución de LIT/MIT/HIT fue 88/1/11% en la BP y 92/4/4% en la TRAD. Cuantificado en términos de número de sesiones, este fue de 61/3/36% en la BP y 76/8/16% en la TRAD.

El volumen de LIT fue 15% menor en la BP que en la TRAD (Tabla 1, $P = 0,004$). Además, la BP incluyó un 34% más de tiempo LIT realizado como calentamiento o vuelta a la calma en conexión con sesiones de MIT, HIT o de fuerza (Tabla 1, $P = 0,006$), mientras que se realizó un 28% más del volumen LIT en la TRAD como sesiones de >90 min (Tabla 1, $P = 0,002$). El tiempo y las sesiones de LIT en las diferentes categorías de duración, en la BP y la TRAD, se presentan en la Figura 1C.

Se realizó un número sustancialmente menor de sesiones de MIT en la BP que en la TRAD (13 versus 38 sesiones). Por consiguiente, el tiempo semanal de MIT fue 70% menor en la BP que en la TRAD (Tabla 1, $P< 0,001$). El número anual de sesiones de HIT fue mucho mayor durante la BP (157 versus 77 sesiones), y el tiempo semanal de HIT fue 121% mayor en la BP en comparación con la TRAD (Tabla 1, $P< 0,001$). La progresión de MIT y HIT de GP1 a CP fue diferente entre la BP y la TRAD. Mientras que la BP incluía grandes cantidades de HIT ya al principio del ciclo de entrenamiento anual, seguido de una reducción hacia CP, la TRAD tuvo un aumento progresivo de HIT hacia la CP. En la Figura 1D se presenta la distribución del tiempo y las sesiones de MIT y de HIT a lo largo de las fases anuales.

Descripción Detallada del Uso de Bloques de HIT en la BP

Carga Total de Entrenamiento y Ubicación de los Bloques de HIT

Se realizaron siete bloques de HIT con una duración de 7-11 días, incluyendo 8-13 sesiones de HIT, durante la BP. Se realizó un total de 35,6 h de HIT durante los bloques de HIT que representan el 45% del volumen anual de HIT. La ETL semanal durante los bloques de HIT fue de 1366 ± 68 TRIMP (Min-Max; 1254-1446 TRIMP). El tiempo medio entre bloques de HIT fue de 27 ± 12 días (15-48 días). La ubicación de los bloques de HIT y el contenido de entrenamiento semanal en las fases anuales en la BP en comparación con la TRAD se presentan en las Figuras 2A,B.

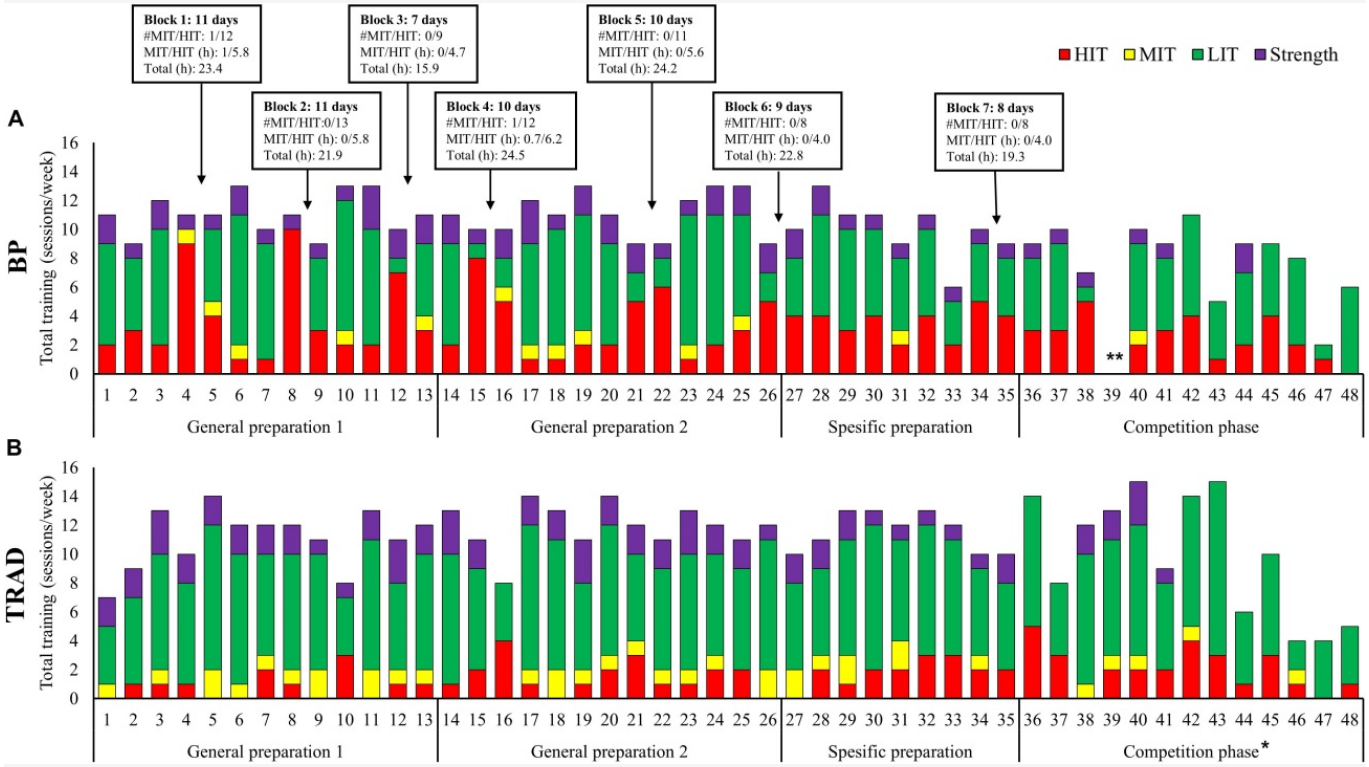

Figura 2. *La ubicación de los bloques de entrenamiento de alta intensidad y las sesiones de entrenamiento semanales distribuidas en el entrenamiento de resistencia [baja (LIT), moderada (MIT), alta intensidad (HIT)] y el entrenamiento de fuerza a lo largo del ciclo anual utilizando la periodización por bloques de HIT (BP)* ***(A)****, y la temporada utilizando la periodización tradicional (TRAD)* ***(B)****. *La fase de competición, incluye muchas sesiones LIT de corta duración (es decir, carreras matutinas o sesiones de recuperación antes y después de las competiciones). **Semana 39 en la BP, no contiene ningún entrenamiento ya que la participante estaba enferma.*

Distribución de las Formas de Entrenamiento e Intensidad

El volumen total de entrenamiento durante los bloques de HIT fue de 16,2 ± 1,3 h/sem realizado en 10,8 ± 0,4 sesiones/sem. Esto incluyó 15,1 ± 1,1 h/sem (93%) de entrenamiento de resistencia y 1,1 ± 0,4 h/semana (7%) de entrenamiento de fuerza. Sólo 0,3 h de entrenamiento de velocidad se realizó durante uno de los bloques de HIT. El tiempo de entrenamiento de resistencia se distribuyó en 11,1 ± 1,4 h/sem LIT, 0,2 ± 0,3 h/sem MIT y 3,8 ± 0,5 h/sem HIT, lo que da una distribución del tiempo en la zona de 74/1/26% LIT/MIT/HIT. Las sesiones semanales de entrenamiento de resistencia se distribuyeron como 1,3 ± 1,0 LIT, 0,2 ± 0,3 MIT, y 7,7 ± 0,9 HIT, lo que da una distribución por zonas de 14/2/84% LIT/MIT/HIT. El número total y la duración de las sesiones de LIT, MIT y HIT realizadas en la BP y la TRAD se presentan en las Figuras 3A,B.

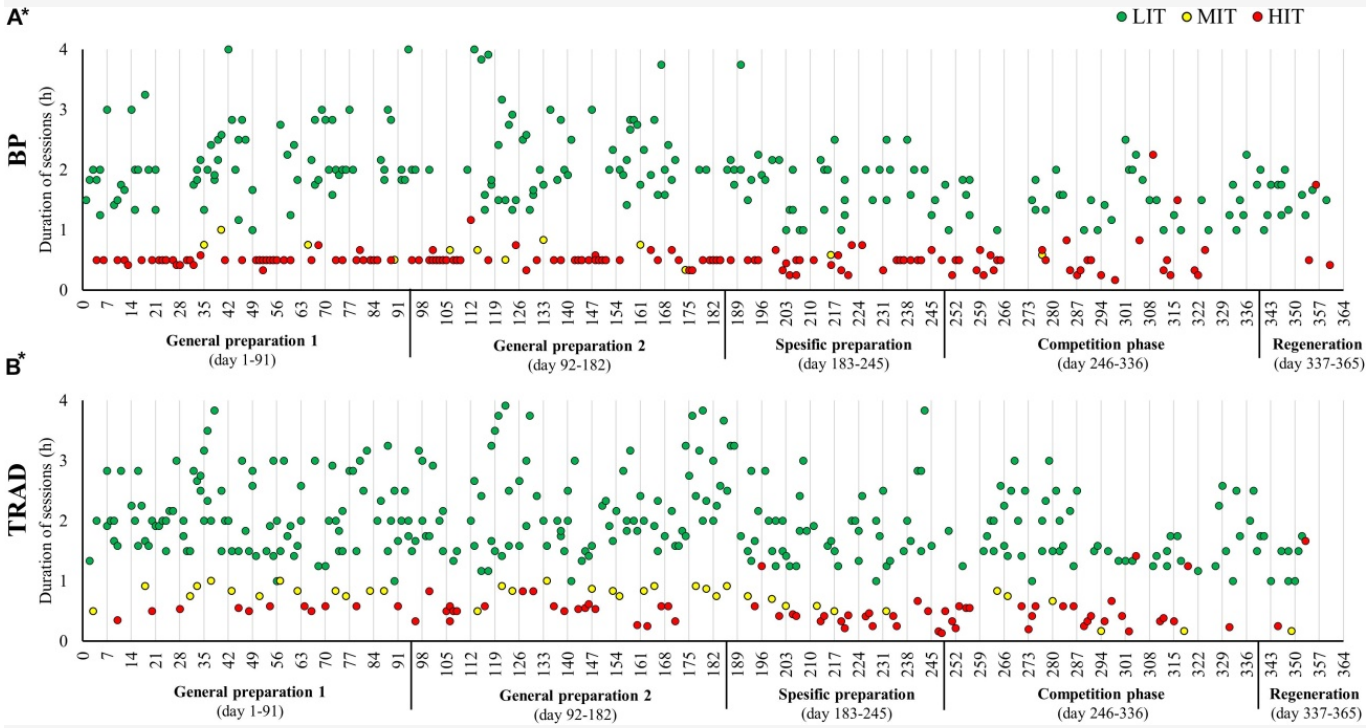

Figura 3. *La duración de las sesiones de baja (LIT), moderada (MIT) y alta intensidad (HIT) realizadas a lo largo del ciclo anual utilizando la periodización por bloques de HIT (BP)* ***(A)****, y la temporada utilizando la periodización tradicional (TRAD)* ***(B)****. *Las sesiones LIT con una duración de < 1 hora no están incluidas en las figuras.*

Modos de Ejercicio y Diseño de Sesiones

Las 75 sesiones, de HIT (73 sesiones) y de MIT (2 sesiones) se distribuyeron en un 29% de carrera, un 17% de carreras con bastones, un 8% de double poling, un 22% de patinaje y un 24% de esquí clásico en nieve o en patines. El 87% de las sesiones de HIT se realizaron como intervalos con períodos de trabajo de 4-7 minutos, el 10% como sesiones continuas y el 3% como intervalos de < 4 minutos. La sesión más típica de HIT fue de 5 × 4 minutos, con una recuperación de 2-3 minutos entre períodos de trabajo (ver ejemplos típicos de sesiones en la Tabla 2).

Tabla 2. *Descripción detallada del entrenamiento realizado durante 7 días de un bloque representativo de HIT en la BP y una semana de alta carga en la TRAD.*

	Training content	
	Block periodization	**Traditional periodization**
1	AM: 2 h LIT, running on varying terrain	AM: 2.5 h LIT, classic on varied terrain, including sprints
	PM: 5 × 4 min HIT, classic roller skiing uphill terrain*	PM: Warm-up 30 min + 1 h general and maximal strength training
2	AM: 5-4-5-4-5 min HIT, running with poles, uphill terrain* PM: 6 × 4 min HIT, double poling, flat terrain*	AM: 5 × 7 min MIT, skating on varied terrain* PM: 1.5 h LIT, running on varied terrain
3	AM: 5 × 4 min HIT, skating roller skiing uphill terrain*	AM: 3 h LIT, 50/50% running and classic on varying terrain
	PM: Warm-up 30 min + 45 min maximal strength training	PM: 2 h LIT, skating on varied terrain, including sprints
4	AM: 4 × 6 min HIT, roller skiing alternating between classic and skating, uphill terrain*	AM: 2 h LIT, running on varying terrain
	PM: Rest	PM: Warm-up 30 min + 1.5 h general and maximal strength training
5	AM: 5-4-5-4-5 min HIT, running flat terrain*	AM: 2.5 h LIT, classic on varying terrain
	PM: 5 × 4 min HIT, skating roller skiing uphill terrain*	PM: 1.5 h LIT, running on varied terrain including jumps and sprints
6	AM: 5-4-3-4-5 min HIT, running with poles, uphill terrain*	AM: 6-5-4-4-4 min HIT, running with poles uphill terrain*
	PM: Rest	PM: 1.5 h LIT, skating on varied terrain
7	PM: 6 × 4 min HIT, double poling, flat terrain* PM: Rest	AM: 2 h LIT, running on varying terrain PM: 2 h LIT, classic on flat terrain
TOTAL	• LIT (sessions/hours): 1/11.5 • MIT (sessions/hours): 0/0 • HIT (sessions/hours): 9/4.5 • Strength (sessions/hours): 1/0.75 • Speed (sessions/hours): 0/0 • Total (sessions/hours): 11/16.8 • Endurance training load (TRIMP): 1536 • Distribution of time (% LIT/MIT/HIT): 72/0/28 • Distribution of sessions (% LIT/MIT/HIT): 10/0/90	• LIT (sessions/hours): 10/22.8 • MIT (sessions/hours): 1/0.75 • HIT (sessions/hours): 1/0.6 • Strength (sessions/hours): 2/2.5 • Speed (sessions/hours): 3/0.75 • Total (sessions/h): 14/27.4 • Endurance training load (TRIMP): 1563 • Distribution of time (% LIT/MIT/HIT): 94/3/3 • Distribution of sessions (%LIT/MIT/HIT): 83/8/8

*LIT, low-intensity training, heart rate <87% max; MIT, moderate-intensity training, heart rate 87–92% max; HIT, high-intensity training, heart rate >92% max. *MIT and HIT sessions normally included 30–45 min of LIT as warm up and 15–30 min LIT as cool-down.*

Las entrevistas revelaron que la participante fue muy deliberada al realizar las sesiones de HIT durante los bloques de HIT. Esto incluía una lenta progresión de la carga de trabajo que permitía que la frecuencia cardíaca (HR) alcanzara gradualmente la zona de HR objetivo (>92% de la HRmax), manteniendo el ritmo constante cuando se alcanzaba la HR objetivo. En la Tabla 2 se presenta una descripción detallada del entrenamiento realizado en una semana de alta carga durante la TRAD, en comparación con los 7 días de un bloque de HIT representativo.

Entrenamiento Entre los Bloques de HIT

La ETL promedio entre los bloques de HIT fue de 1259, 1249 y 1087 TRIMP/sem durante GP1, GP2 y SP, respectivamente. El volumen total de entrenamiento fue de 20 h/sem durante GP1-2 y 16 h/sem en SP, con el promedio semanal de sesiones de HIT en ~1 h y ~2 sesiones. Según el tiempo del entrenamiento, la distribución de la intensidad de LIT/MIT/HIT fue del 93/1/6%, y esta fue del 81/3/16% en relación con el número de sesiones. No se realizaron bloques de HIT en CP.

El promedio de la ETL durante los 7 días después de cada bloque de HIT fue de 1198 TRIMP, con un volumen de entrenamiento promedio de 19,7 h/sem incluyendo ~7 sesiones de LIT, 1-2 sesiones de MIT/HIT, y 1-2 sesiones de fuerza.

DISCUSIÓN

En este estudio, comparamos el uso de la periodización de HIT por bloques y la tradicional, en dos temporadas exitosas comparables de la mejor esquiadora de XC del mundo y proporcionamos una descripción detallada de la macro-, meso- y micro-organización de los bloques de HIT a lo largo de un ciclo anual. A pesar de la igualdad de la ETL en la BP y la TRAD, se encontró un volumen de entrenamiento significativamente mayor en la TRAD, principalmente debido a la mayor duración de las sesiones de LIT y más MIT. En contraste, se realizó el doble de sesiones de HIT durante la BP. La progresión y distribución de HIT también difirió entre los 2 años: la TRAD incluyó un aumento progresivo de HIT hacia CP, mientras que la BP incluyó altas cantidades de HIT ya en GP1, seguido de una reducción hacia CP. Durante la BP, la deportista realizó siete bloques principales de HIT, variando de 7 a 11 días con cada uno incluyendo 8-13 sesiones de HIT.

Esto contrasta con la organización de HIT en la TRAD, en la que sólo se realizó la mitad de las sesiones de HIT, distribuidas uniformemente como 1-3 sesiones/sem.

Comparaciones de Periodización de HIT por Bloques y Tradicional

Este es el primer estudio que compara la utilización exitosa de la periodización de HIT por bloques y la tradicional en un atleta de resistencia de categoría mundial, donde los bloques de HIT se utilizaron para aumentar significativamente la cantidad de HIT. En este caso, la ETL total no difirió entre los dos años investigados, lo que permitió una comparación válida de la macro-, meso- y micro-organización del volumen de entrenamiento, la distribución de la intensidad, el contenido, así como el diseño de las sesiones de entrenamiento de la atleta.

Se encontró un mayor volumen de entrenamiento de resistencia en la TRAD, lo que se explica principalmente por más LIT (~15 versus 13 h/sem) incluyendo sesiones de LIT de mayor duración (~5 versus 3 sesiones/sem > 90 min). Una exposición más frecuente a sesiones de LIT de mayor duración en la TRAD podría haber inducido una adaptación fisiológica positiva a largo plazo que también se ha destacado en estudios anteriores (Seiler, 2010). En la BP, la LIT era todavía una gran proporción del volumen total del entrenamiento de resistencia, pero gran parte de la LIT se realizaba como períodos más cortos de calentamiento o vuelta a la calma conectada con las sesiones de HIT. Actualmente se desconoce si el volumen total de LIT, independientemente del tipo de sesiones, frente a un volumen alto debido a sesiones de LIT de mayor duración juega un papel en las adaptaciones de resistencia. Como compensación por la menor cantidad de LIT, así como por la menor cantidad de MIT (13 versus 38 sesiones), en la BP que en la TRAD, se realizó una cantidad sustancialmente mayor de entrenamiento de HIT (157 versus 77 sesiones), resultando en una ETL similar en estos dos modelos de periodización.

Según el tiempo empleado en cada zona de intensidad, la distribución del tiempo LIT/MIT/HIT fue del 92/4/4% en la TRAD y del 88/1/11% en la BP, demostrando una proporción mayor de HIT en la BP que la informada anteriormente en los esquiadores de XC (Tønnessen et al., 2014; Sandbakk et al., 2016; Sandbakk y Holmberg, 2017). Cuantificada en términos de número de sesiones, la distribución de la intensidad en la BP se distingue además de la TRAD y de los estudios previos sobre esquí de XC. De hecho, el número de sesiones en cada nivel de intensidad muestra una distribución polarizada de 61/3/36% para LIT/MIT/HIT en la BP. Este número de sesiones de HIT en combinación con el gran volumen de entrenamiento anual (~800 h) es uno de los más altos niveles de HIT jamás registrados para los atletas de resistencia de élite en la bibliografía científica (Stöggl y Sperlich, 2015). Esto contrasta con la distribución de sesiones de 76/8/16% LIT/MIT/HIT observada en la TRAD y difiere sustancialmente de la distribución del 20% de las sesiones de HIT observadas anteriormente en atletas de resistencia de élite (Seiler, 2010).

La mayor parte de las sesiones de HIT en la BP se realizaron como sesiones a intervalos con una duración de trabajo relativamente corta (normalmente 5 × 4 min > 92% de HRmax), mientras que la mayor parte de las sesiones de MIT de mayor duración (normalmente 5 × 7-8 min @ 87-92%) se emplearon en la TRAD. Las adaptaciones fisiológicas dependen tanto de la intensidad como de la duración acumulada del entrenamiento. Por ejemplo, acumular ~30-45 min al ~90% HRmax dos veces por semana ha resultado ser más efectivo que acumular 15-20 min al ~95% HRmax (Sandbakk et al., 2013; Seiler et al., 2013). Esto indica que, en nuestra atleta que realizó sesiones MIT en alrededor del 90% de HRmax, los efectos del mayor número de sesiones de HIT en la BP podrían haber sido compensados por un mayor número de sesiones de MIT de larga duración en la TRAD.

Encontramos patrones opuestos en la distribución y progresión de MIT y HIT a lo largo de las fases del año de entrenamiento en los dos modelos de periodización. En la BP, la cantidad de HIT ya era alta en GP1 (1,9 h/sem), con una pequeña reducción en SP (1,7 h/sem) y una reducción adicional en CP (1,3 h/sem). También hubo una tendencia a acortar los bloques de HIT con menos sesiones de HIT hacia CP. En contraste, la cantidad de HIT fue menor en GP1 (0,4 h/sem) en la TRAD, luego aumentó hacia CP (1,2 h/sem), mientras que la cantidad de MIT mostró el patrón opuesto. Por lo tanto, la TRAD representa un cambio gradual hacia una distribución más polarizada con cantidades mayores de HIT más cercanas al rendimiento máximo deseado. Esto es consistente con observaciones previas en esquiadores y orientadores de XC de categoría mundial (Tønnessen et al., 2014, 2015).

La progresión diferente en HIT representa claramente diversas filosofías de entrenamiento. Las entrevistas con la participante y sus entrenadores indican que los bloques de HIT tenían como objetivo mejorar el VO2max al principio en la fase de preparación. Esto con el fin de facilitar velocidades de entrenamiento más altas a lo largo de GP y SP y por lo tanto estar en un nivel de rendimiento más alto a medida que se acercaba la CP. Esto contrasta con la TRAD, en la que se cree que los altos volúmenes de LIT durante la GP proporcionan una plataforma aeróbica sobre la que construir adaptaciones específicas en respuesta al aumento del HIT y la optimización del rendimiento hacia la CP (Laursen, 2010).

A pesar de los volúmenes y organización claramente diferentes de HIT, no encontramos ninguna diferencia en el desarrollo del rendimiento desde la primera hasta la segunda fase de la temporada de competición dentro de la BP en comparación con la TRAD. Sin embargo, una limitación de nuestra comparación de rendimiento en la BP versus la TRAD es que el

modelo tradicional fue utilizado más tarde en la carrera de la atleta, cuando tenía más experiencia y que el programa de competición en esquí de XC cambió durante el período investigado. Por lo tanto, se necesitan estudios adicionales para investigar los resultados del rendimiento de las diferentes progresiones de HIT a través de las fases de preparación general y específica.

Descripción Detallada del Uso de Bloques de HIT en la BP

El presente estudio es el primero en dar una visión detallada del uso exitoso de bloques de HIT a lo largo de un ciclo anual en una atleta de resistencia de categoría mundial. De las 157 sesiones de HIT realizadas en la BP, 73 sesiones fueron organizadas durante los bloques de HIT, representando el ~45% del volumen y sesiones anuales de HIT. Específicamente, siete bloques de HIT, con una duración de 7-11 días incluyendo 8-13 sesiones de HIT, se realizaron desde GP1 hasta SP. Con una densidad tan alta de sesiones de HIT, el desafío es el corto tiempo de recuperación y el consiguiente riesgo de acumulación de fatiga de las sesiones dirigidas a los mismos sistemas. Este desafío fue el caso de nuestra participante, donde la frecuencia media de sesiones de HIT fue de ~8 sesiones en un período de 7 días con 1-3 días que incluyeron dos sesiones de HIT realizadas en el mismo día. Aunque la fatiga gradual a lo largo del período fue a veces el caso, las entrevistas con la participante indican que fue capaz de mantener una calidad de entrenamiento relativamente alta en todos los bloques de HIT, incluso cuando se realizaron dos sesiones de HIT en el mismo día. En contraste, Yeo et al. (2008) informaron que la potencia de salida producida por los atletas entrenados en resistencia fue menor durante una segunda sesión de HIT realizada el mismo día en comparación con un día separado. La reducción de la HR durante el ejercicio máximo también se ha demostrado en ciclistas competitivos después de un período de entrenamiento que consiste predominantemente en HIT (Jeukendrup et al., 1992). Sin embargo, en el estudio de McGawley et al. (2017), los autores no encontraron ninguna diferencia en el tiempo en las zonas de HR ni en la distancia recorrida como resultado de realizar nueve versus tres sesiones de HIT a la semana.

Un punto importante en este contexto es que los esquiadores de XC alternan entre varios modos de ejercicio en su entrenamiento. Durante los bloques de HIT, la participante utilizó cinco modos de ejercicio diferentes, incluyendo modos de ejercicio específico (técnica clásica y de patinaje sobre esquís o patines), semi-específico (double poling o carrera con bastones) y no específico (carrera). Esta micro-periodización de diferentes modos de ejercicio, con carga diferencial de la parte superior e inferior del cuerpo, es probablemente muy importante para mantener la calidad de las sesiones, así como para evitar la fatiga muscular en todos los bloques de HIT. Además, tanto la participante como sus entrenadores informaron que las sesiones de HIT durante los bloques fueron supervisadas de cerca, centrándose en un aumento progresivo de la velocidad desde el inicio de las sesiones, lo que permitió que la HR se acerque gradualmente a la zona de intensidad objetivo sin aumentar aún más la velocidad cuando se alcanzó la HR objetivo (>92% de HRmax). Sus entrenadores declararon que "después de completar el último intervalo de una sesión de HIT, la atleta debería ser potencialmente capaz de realizar un intervalo adicional a aproximadamente el mismo ritmo". Este control preciso de la intensidad es crítico y difiere de los estudios que investigan los protocolos de HIT cuando se realizan sesiones de HIT a la intensidad máxima sostenible durante todos los períodos de intervalos, lo que se conoce como matching "isoeffort" (Sylta et al., 2016). En el caso actual, el control preciso de la intensidad durante las sesiones de HIT probablemente contribuyó a reducir el tiempo de recuperación, aumentando así la capacidad de la participante para realizar la alta frecuencia de sesiones de HIT con alta calidad y tolerar la carga total del entrenamiento durante los bloques.

Sólo se encontró una diferencia menor en el número de días o períodos de enfermedad entre la BP y la TRAD en nuestro estudio. Sin embargo, la intensificación del entrenamiento o las competiciones frecuentes se han asociado previamente con cambios negativos en las variables inmunológicas y más incidentes de enfermedad (Tiollier et al., 2005; Papacosta y Nassis, 2011; Li et al., 2012; Svendsen et al., 2015, 2016). Otra preocupación con respecto al uso de los bloques de HIT es la reducción del bienestar y el aumento de los niveles de estrés (Jeukendrup et al., 1992; Halson et al., 2002; Jurimae et al., 2004; Coutts et al., 2007). Por lo tanto, el alto estrés inducido por los bloques de HIT puede aumentar el riesgo de disminución del rendimiento a largo plazo, sobreentrenamiento o sobrealcance no funcional cuando el estrés y la recuperación no están suficientemente equilibrados (Meeusen et al., 2013). Para prevenir esto, nuestra participante tuvo una reducción en la carga de entrenamiento después de cada bloque de HIT y redujo claramente la cantidad de sesiones de HIT entre los bloques. Especulamos que esta fue la principal razón del bajo número de días de enfermedad, así como su alta motivación para entrenar en ambas temporadas analizadas.

La participante había aumentado progresivamente su carga de entrenamiento desde el nivel junior y se encontraba en un estado altamente entrenado cuando comenzó el uso relativamente extremo de los bloques de HIT presentados aquí (Solli et al., 2017). Esto, así como su equilibrada micro-periodización de bloques de HIT, le permitió tolerar altas cargas de HIT, aumentando su rendimiento rápidamente durante los primeros 2-3 años utilizando este modelo de periodización. Sin embargo, cabe señalar que su rendimiento se estancó durante los años siguientes. En retrospectiva, tanto la participante como sus entrenadores coinciden en que la periodización por bloques de HIT fue efectiva durante las primeras temporadas (2004-2006), pero que posteriormente deberían haber cambiado el entrenamiento para centrarse más en mantener la mayor capacidad y centrarse en otros factores relacionados con el rendimiento. Esto coincide con la próxima importante

mejora del rendimiento de la participante en 2010 (Solli et al., 2017), incluyendo un cambio a un modelo tradicional presentado en el estudio actual. Por lo tanto, se puede afirmar que la periodización por bloques de HIT es efectiva para inducir rápidas mejoras de rendimiento, pero tiene algunas limitaciones y riesgos con respecto a la utilización a largo plazo.

LIMITACIONES

La principal limitación de este estudio es que la BP y la TRAD se llevaron a cabo con casi 10 años entre ellos, por lo que los efectos del historial de entrenamiento podrían diferir entre los dos modelos de periodización examinados para esta atleta específica. Aunque la ETL fue similar en los dos años investigados, las diferencias en el contenido, la distribución de la intensidad, la duración y la frecuencia de las sesiones fueron claramente diferentes. Por lo tanto, a la hora de interpretar nuestros resultados, es importante tener en cuenta los efectos integrados tanto de la inclusión de los bloques de HIT como de las diferencias en el contenido general del entrenamiento. Además, el desarrollo del esquí de XC y los cambios en el programa de competición dificultan la comparación directa del desarrollo del rendimiento a lo largo de los años investigados. Desafortunadamente, no se disponía de datos de prueba para la BP que pudieran haber permitido un análisis más detallado del desarrollo de los indicadores de rendimiento a lo largo del ciclo anual. Además, el objetivo principal de este estudio fue comparar la organización y el contenido del entrenamiento entre la BP y la TRAD y los otros componentes importantes para el resultado del entrenamiento, como las características físicas, habilidades, mentalidad, estilo de vida y nutrición no se discuten aquí. Aún así, este estudio proporciona una visión única de cómo se manejan los bloques de HIT relativamente extremos en una atleta de categoría mundial, y cómo esto difiere para la misma atleta usando un modelo tradicional.

Aplicaciones Prácticas

Este estudio muestra que la periodización por bloques de HIT fue utilizada con éxito en una esquiadora XC de categoría mundial. En particular, destacamos la importancia de una micro-periodización equilibrada durante los bloques de HIT utilizando diferentes modos de ejercicio, un control cuidadoso de la intensidad y reducciones de la carga de entrenamiento y de la cantidad de HIT después de cada bloque. Además, el modelo de periodización debe ajustarse al estado de entrenamiento del atleta, y se debe considerar el riesgo de sobreentrenamiento negativo y de estrés en el sistema inmunológico. Sin embargo, la participante también logró un éxito sustancial utilizando un modelo tradicional, que podría considerarse un modelo "más seguro". Esperamos que nuestro estudio pueda resaltar la importancia de adaptar el entrenamiento a cada atleta individual en función de su historial de entrenamiento y de otros factores que influyen en la adaptación al entrenamiento.

Conclusión

Este estudio proporciona nuevos conocimientos sobre la utilización exitosa de dos modelos de periodización diferentes por parte de la esquiadora de XC líder mundial de nuestro tiempo. A pesar de una ETL similar, se encontró un mayor volumen de entrenamiento debido a un mayor número de sesiones de larga duración de MIT y LIT en la TRAD. En contraste, se realizó el doble de sesiones de HIT en la BP, que está entre los mayores volúmenes de HIT jamás informados para los atletas de resistencia de élite. Este alto volumen de HIT se logró organizando el 45% de las sesiones anuales de HIT en siete bloques de HIT, que variaban de 7 a 11 días, y cada bloque incluía de 8 a 13 sesiones de HIT. La progresión y distribución de HIT difirió claramente entre los modelos de periodización: la BP incluía grandes cantidades de HIT ya desde el primer período de preparación, seguido de una reducción hacia la CP, mientras que la TRAD tenía un aumento progresivo de HIT hacia la CP. En conjunto, este estudio ilustra dos formas exitosas de periodización del entrenamiento de resistencia en una atleta de categoría mundial.

Declaración de Ética

El estudio fue evaluado por el comité de ética regional de Noruega y aprobado por el Servicio Noruego de Datos de Ciencias Sociales (NSD). Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de la participante para la publicación de este estudio, que se realizó de acuerdo con las declaraciones de Helsinki.

Contribuciones de los Autores

GS realizó la recolección de datos y el análisis estadístico y de datos. GS, ET y ØS diseñaron el estudio, contribuyeron a la interpretación de los resultados, escribieron el borrador del manuscrito y contribuyeron al manuscrito final.

Declaración de Conflicto de Intereses

Los autores declaran que la investigación se llevó a cabo en ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran interpretarse como un potencial conflicto de intereses.

Agradecimientos

Agradecemos sinceramente a Marit Bjørgen y a sus entrenadores Svein Tore Samdal y Egil Kristiansen por su valiosa cooperación y participación en este estudio.

REFERENCIAS

1. Breil, F. A., Weber, S. N., Koller, S., Hoppeler, H., and Vogt, M. (2010). Block training periodization in alpine skiing: effects of 11-day HIT on VO2max and performance. *Eur. J. Appl. Physiol. 109, 1077–1086.* doi: 10.1007/s00421-010-1455-1
2. Buchheit, M., and Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med. 43, 313–338.* doi: 10.1007/s40279-013-0029-x
3. Buchheit, M., and Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. *Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. Sports Med. 43, 927–954.* doi: 10.1007/s40279-013-0066-5
4. Clark, B., Costa, V. P., O'brien, B. J., Guglielmo, L. G., and Paton, C. D. (2014). Effects of a seven day overload-period of high-intensity training on performance and physiology of competitive cyclists. *PLoS One 9:e115308.* doi: 10.1371/journal.pone.0115308
5. Coutts, A. J., Slattery, K. M., and Wallace, L. K. (2007). Practical tests for monitoring performance, fatigue and recovery in triathletes. *J. Sci. Med. Sport 10, 372–381.*
6. FIS (2018). International Ski Federation World Cup Results. *Oberhofen am Thunersee: International Ski Federation.*
7. Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., et al. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *J. Strength Cond. Res. 15, 109–115.*
8. Halson, S. L., Bridge, M. W., Meeusen, R., Busschaert, B., Gleeson, M., Jones, D. A., et al. (2002). Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in trained cyclists. *J. Appl. Physiol. 93, 947–956.*
9. Issurin, V. B. (2008). Block periodization versus traditional training theory: a review. *J. Sports Med. Phys. Fitness 48, 65–75.*
10. Issurin, V. B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med. 40, 189–206.* doi: 10.2165/11319770-000000000-00000
11. Issurin, V. B. (2016). Benefits and limitations of block periodized training approaches to athletes' preparation: a review. *Sports Med. 46, 329–338.* doi: 10.1007/s40279-015-0425-5
12. Issurin, V. B. (2018). Biological background of block periodized endurance training: a review. *Sports Med. 49, 31–39.* doi: 10.1007/s40279-018-1019-9
13. Jeukendrup, A. E., Hesselink, M. K., Snyder, A. C., Kuipers, H., and Keizer, H. A. (1992). Physiological changes in male competitive cyclists after two weeks of intensified training. *Int. J. Sports Med. 13, 534–541.*
14. Jurimae, J., Maestu, J., Purge, P., and Jurimae, T. (2004). Changes in stress and recovery after heavy training in rowers. *J. Sci. Med. Sport 7, 335–339.*
15. Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? Scand. *J. Med. Sci. Sports20(Suppl. 2), 1–10.* doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x
16. Laursen, P. B., and Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med. 32, 53–73.*
17. Li, T. L., Lin, H. C., Ko, M. H., Chang, C. K., and Fang, S. H. (2012). Effects of prolonged intensive training on the resting levels of salivary immunoglobulin A and cortisol in adolescent volleyball players. *J. Sports Med. Phys. Fitness 52, 569–573.*
18. Matwejew, L. (1975). Periodisierung des Sportlichen Trainings. *Berlin: Bartels & Wernitz.*
19. McGawley, K., Juudas, E., Kazior, Z., Ström, K., Blomstrand, E., Hansson, O., et al. (2017). No additional benefits of block- over evenly-distributed high-intensity interval training within a polarized microcycle. *Front. Physiol. 8:413.* doi: 10.3389/fphys.2017.00413
20. Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., et al. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European college of sport science and the American college of sports medicine. *Med. Sci. Sports Exerc. 45, 186–205.* doi: 10.1249/MSS.0b013e318279a10a
21. Papacosta, E., and Nassis, G. P. (2011). Saliva as a tool for monitoring steroid, peptide and immune markers in sport and exercise science. *J. Sci. Med. Sport 14, 424–434.* doi: 10.1016/j.jsams.2011.03.004
22. Rønnestad, B. R., Ellefsen, S., Nygaard, H., Zacharoff, E. E., Vikmoen, O., Hansen, J., et al. (2014a). Effects of 12 weeks of block periodization on performance and performance indices in well-trained cyclists. *Scand. J. Med. Sci. Sports 24, 327–335.* doi: 10.1111/sms.12016
23. Rønnestad, B. R., Hansen, J., and Ellefsen, S. (2014b). Block periodization of high-intensity aerobic intervals provides superior training effects in trained cyclists. *Scand. J. Med. Sci. Sports 24, 34–42.* doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01485.x
24. Rønnestad, B. R., and Hansen, J. (2018). A scientific approach to improve physiological capacity of an elite cyclist. *Int. J. Sports Physiol. Perform. 13, 390–393.* doi: 10.1123/ijspp.2017-0228
25. Rønnestad, B. R., Hansen, J., Thyli, V., Bakken, T. A., and Sandbakk, Ø (2016). 5-week block periodization increases aerobic power in elite cross-country skiers. *Scand. J. Med. Sci. Sports 26, 140–146.* doi: 10.1111/sms.12418

26. Rønnestad, B. R., Hansen, J., Vegge, G., and Mujika, I. (2017). Short-term performance peaking in an elite cross-country mountain biker. *J. Sports Sci. 35, 1392–1395.* doi: 10.1080/02640414.2016.1215503
27. Sandbakk, Ø., Hegge, A. M., Losnegard, T., Skattebo, Ø., Tønnessen, E., and Holmberg, H. C. (2016). The physiological capacity of the world's highest ranked female cross-country skiers. *Med. Sci. Sports Exerc. 48, 1091–1100.* doi: 10.1249/MSS.0000000000000862
28. Sandbakk, Ø., and Holmberg, H. C. (2017). Physiological capacity and training routines of elite cross-country skiers: approaching the upper limits of human endurance. *Int. J. Sports Physiol. Perform. 12, 1003–1011.* doi: 10.1123/ijspp.2016-0749
29. Sandbakk, Ø., Sandbakk, S. B., Ettema, G., and Welde, B. (2013). Effects of intensity and duration in aerobic high-intensity interval training in highly trained junior cross-country skiers. *J. Strength Cond. Res. 27, 1974–1980.* doi: 10.1519/JSC.0b013e3182752f08
30. Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? Int. *J. Sports Physiol. Perform. 5, 276–291.*
31. Seiler, S., Joranson, K., Olesen, B. V., and Hetlelid, K. J. (2013). Adaptations to aerobic interval training: interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scand. J. Med. Sci. Sports 23, 74–83.* doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01351.x
32. Solli, G. S., Tønnessen, E., and Sandbakk, Ø (2017). The training characteristics of the world's most successful female cross-country skier. *Front. Physiol. 8:1069.* doi: 10.3389/fphys.2017.01069
33. Stöggl, T. L., and Sperlich, B. (2015). The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Front. Physiol.6:295.* doi: 10.3389/fphys.2015.00295
34. Støren, Ø, Bratland-Sanda, S., Haave, M., and Helgerud, J. (2012). Improved VO2max and time trial performance with more high aerobic intensity interval training and reduced training volume: a case study on an elite national cyclist. *J. Strength Cond. Res. 26, 2705–2711.*
35. Svendsen, I. S., Gleeson, M., Haugen, T. A., and Tønnessen, E. (2015). Effect of an intense period of competition on race performance and self-reported illness in elite cross-country skiers. *Scand. J. Med. Sci. Sports 25, 846–853.* doi: 10.1111/sms.12452
36. Svendsen, I. S., Killer, S. C., Carter, J. M., Randell, R. K., Jeukendrup, A. E., and Gleeson, M. (2016). Impact of intensified training and carbohydrate supplementation on immunity and markers of overreaching in highly trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol. 116, 867–877.* doi: 10.1007/s00421-016-3340-z
37. Sylta, Ø., Tønnessen, E., Hammarstrom, D., Danielsen, J., Skovereng, K., Ravn, T., et al. (2016). The effect of different high-intensity periodization models on endurance adaptations. *Med. Sci. Sports Exerc. 48, 2165–2174.*
38. Sylta, Ø., Tønnessen, E., and Seiler, S. (2014). Do elite endurance athletes report their training accurately? Int. *J. Sports Physiol. Perform. 9, 85–92.* doi: 10.1123/ijspp.2013-0203
39. Tiollier, E., Schmitt, L., Burnat, P., Fouillot, J. P., Robach, P., Filaire, E., et al. (2005). Living high-training low altitude training: effects on mucosal immunity. *Eur. J. Appl. Physiol. 94, 298–304.*
40. Tønnessen, E., Svendsen, I. S., Ronnestad, B. R., Hisdal, J., Haugen, T. A., and Seiler, S. (2015). The annual training periodization of 8 world champions in orienteering. *Int. J. Sports Physiol. Perform. 10, 29–38.* doi: 10.1123/ijspp.2014-0005
41. Tønnessen, E., Sylta,Ø, Haugen, T. A., Hem, E., Svendsen, I. S., and Seiler, S. (2014). The road to gold: training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance performance. *PLoS One 9:e101796. doi: 10.1371/journal.pone.0101796*
42. Wahl, P., Zinner, C., Grosskopf, C., Rossmann, R., Bloch, W., and Mester, J. (2013). Passive recovery is superior to active recovery during a high-intensity shock microcycle. *J. Strength Cond. Res. 27, 1384–1393.* doi: 10.1519/JSC.0b013e3182653cfa
43. Yeo, W. K., Paton, C. D., Garnham, A. P., Burke, L. M., Carey, A. L., and Hawley, J. A. (2008). Skeletal muscle adaptation and performance responses to once a day versus twice every second day endurance training regimens. *J. Appl. Physiol. 105, 1462–1470.* doi: 10.1152/japplphysiol.90882.2008

Cita Original

Solli GS, Tønnessen E and Sandbakk Ø (2019) Block vs. Traditional Periodization of HIT: Two Different Paths to Success for the World's Best Cross-Country Skier. Front. Physiol.10:375. doi: 10.3389/fphys.2019.00375