

Article

Control de las Adaptaciones al Entrenamiento Mediante un Test de Carrera Submáximo en Condiciones de Campo

Ville Vesterinen¹, Ari Nummela¹, Sami Äyrämö², Tanja Laine¹, Esa Hynynen¹, Jussi Mikkola¹ y Keijo Häkkinen³

¹KIHU - Research Institute for Olympic Sports, Jyväskylä, Finland

²Agora Center, University of Jyväskylä, Jyväskylä, Finland

³Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Jyväskylä, Finland

RESUMEN

El monitoreo regular de las adaptaciones al entrenamiento es importante para optimizar la carga y la recuperación del entrenamiento ya que son factores fundamentales para un entrenamiento exitoso. **Objetivo:** El objetivo de este estudio fue investigar la utilidad de un nuevo test de carrera submáximo realizado en condiciones de campo para predecir y realizar un seguimiento de los cambios del rendimiento de resistencia. **Métodos:** Treinta y cinco varones y mujeres entrenados en resistencia (de 20 a 55 años) realizaron un programa de entrenamiento de resistencia de 18 semanas. Se realizó un test de carrera incremental máximo en las semanas 0, 9 y 18 para determinar el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}), la velocidad de carrera (RS) hasta el agotamiento (RS_{max}) y los umbrales de lactato (LT). Además, los sujetos realizaron semanalmente un test de carrera submáximo en tres etapas (SRT), que incluyó la determinación de la recuperación de la frecuencia cardiaca (RFC) después del ejercicio. Los sujetos fueron agrupados retrospectivamente en cuatro grupos en de acuerdo a los cambios en los resultados SRT. **Resultados:** Se observaron correlaciones elevadas ($r=0.60-0.89$) entre RS durante todas las etapas de SRT y todas las variables de rendimiento de resistencia (VO_{2max} , RS_{max} , RS en LT2 y RS en LT1). La RFC sólo se correlacionó con VO_{2max} ($r = 0,46$). También se observó una elevada correlación entre los cambios en RS en las etapas 80% y 90% de FC_{max} de SRT y un cambio de RS_{max} ($r=0,57$, $r=0,79$). Además, el análisis de agrupamientos reveló las diferentes tendencias en RS durante las etapas correspondientes a 80% y 90% durante el entrenamiento entre los grupos, que presentaron diferentes mejoras en VO_{2max} y RS_{max} . **Conclusiones:** El presente test submáximo demostró un gran potencial como herramienta práctica para el monitoreo regular de la adaptación individual al entrenamiento de resistencia sin la necesidad de realizar exámenes de laboratorio que demanden demasiado tiempo o que sean costosos.

Palabras Clave: carreras de resistencia, entrenamiento, adaptación individual, SRT, estimación del rendimiento

INTRODUCCIÓN

El factor crucial para un entrenamiento exitoso es el equilibrio óptimo entre la carga de entrenamiento y la recuperación. Si el estímulo de entrenamiento es demasiado fácil o exigente en relación a la recuperación, el entrenamiento puede

producir adaptaciones indeseables. Además, se ha observado ampliamente que los individuos se adaptan de manera diferente a la carga de entrenamiento. La supervisión semanal de los cambios en el rendimiento de resistencia durante el entrenamiento es importante para optimizar la carga de entrenamiento y la recuperación. Sin embargo, el monitoreo regular es difícil de realizar por medio de tests máximos realizados en un laboratorio debido a que son poco prácticos, costosos y a que interfieren con los hábitos normales de entrenamiento.

Por lo tanto, el ejercicio submáximo puede ser un método eficaz para evaluar la actividad autonómica cardíaca y realizar el seguimiento de los cambios en la velocidad de carrera máxima aeróbica (4). Lamberts et al. (7) desarrollaron un test de ciclismo submáximo para monitorear la fatiga y predecir el rendimiento de ciclismo.

Los autores observaron que la potencia de ciclismo en los niveles de frecuencia cardíaca (FC) submáxima estandarizados y la recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) después del ejercicio podían predecir el rendimiento máximo de ciclismo (7-9), pero no se sabe con certeza si el test submáximo es capaz de reflejar los cambios en el rendimiento durante un período de entrenamiento. En nuestro estudio anterior, observamos que el índice FC/velocidad de carrera (RS), calculado a partir de todos los ejercicios de velocidad constante, puede ser utilizado como herramienta potencial para el monitoreo diario de la adaptación al entrenamiento (10).

Sin embargo, existen muchos factores ampliamente establecidos (i.e., factores ambientales, la duración y la intensidad del ejercicio) que pueden influir en la respuesta de la FC y, por lo tanto, pueden alterar la relación entre la FC y la RS (11, 12). La relación FC-RS puede aportar información mas confiable sobre el estado del entrenamiento si la duración y la intensidad del ejercicio están estandarizadas.

Además de la FC de ejercicio, la recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) post-ejercicio refleja la actividad autonómica cardíaca, que se ha sugerido como un determinante importante de la adaptación al entrenamiento de resistencia (4, 6, 8, 13). Se ha propuesto que la medición de la recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) post-ejercicio tiene potencial para ser utilizada en el monitoreo de la fatiga y la predicción de los cambios en los parámetros de rendimiento de resistencia (4, 8, 13). Sin embargo, los estudios previos relacionados con tests submáximos y con la RFC han sido realizados principalmente en condiciones de laboratorio. No se conoce con detalle la aplicabilidad de los tests como herramientas de monitoreo de entrenamiento en condiciones al aire libre. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue investigar la posibilidad de utilizar un nuevo test de carrera submáximo en condiciones de campo al aire libre para 1) predecir el rendimiento de carrera y 2) realizar un seguimiento de los cambios en el rendimiento de resistencia durante el entrenamiento.

Sobre la base de estudios anteriores, (4, 13, 14) planteamos la hipótesis de que las velocidades de carrera en niveles de FC estandarizados y la recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) post-ejercicio permiten predecir el rendimiento de resistencia y supervisar la adaptación al entrenamiento de resistencia (4, 5).

MÉTODOS

Sujetos

En el estudio participaron cuarenta corredores de resistencia recreacionales (20 mujeres, 20 varones). Los sujetos estaban sanos y habían estado entrenando por lo menos tres veces por semana durante los 6 meses previos al estudio.

Las características generales de los sujetos se presentan en la Tabla 1. Después de haber sido completamente informados sobre el diseño del estudio y los posibles riesgos del mismo, todos los sujetos firmaron un documento de consentimiento informado. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Jyväskylä, Finlandia.

Tabla 1. Características de los sujetos. Los valores se presentan en forma de Media±DS. % de Adiposidad corporal en base a la suma de pliegues cutáneos; VO_{2max} = Consumo de oxígeno máximo. La cantidad de entrenamiento y kilometraje de carrera son los efectuados durante los dos meses previos al estudio

	Mujeres (n= 20)	Varones (n=20)
Edad (años)	35±10	35±6
Talla (m)	166±7	175±6
Peso(kg)	60,3±7,3	77,3±8,0
Adiposidad corporal %	23,7±4,4	15,2±4,5
VO ₂ max (ml/kg/min)	47±5	53±5
Antecedentes de entrenamiento regular (años)	14±8	14±8
Cantidad de entrenamiento/semana	5,6±1,7	4,4±2,0
Carrera km/semana	38±19	27±15

Diseño y Entrenamiento

El entrenamiento consistió en un período de 8 semanas de entrenamiento de resistencia de baja intensidad seguido por un período de entrenamiento de alta intensidad de 8 semanas. Se realizaron test de carrera incrementales máximos en una cinta rodante antes y después de los dos períodos de entrenamiento (en las semanas 0, 9 y 18). Además, se indicó a los sujetos que realizaran semanalmente un test de carrera submáximo (SRT) en un recorrido al aire libre. Todos los tests debían ser realizados en el mismo momento del día (con un límite de 2 horas de diferencia).

Se solicitó a los sujetos que entrenaran a baja intensidad (por debajo del primer umbral de lactato, LT1) y mantuvieran el mismo volumen de entrenamiento (media: 5,2±1,9 veces por semana) que antes de realizar el estudio durante las primeras ocho semanas. A partir de entonces, el volumen y la intensidad del entrenamiento se incrementaron durante las siguientes ocho semanas. El entrenamiento fue periodizado de modo que luego de tres semanas de entrenamiento de alta intensidad se realizaba una semana de entrenamiento liviano. Los sujetos realizaron las siguientes sesiones de entrenamiento; 1-3 sesiones de entrenamiento intervalado de intensidad moderada (30-40 min, intensidad entre umbral de lactato (LT) 1 y 2) o sesiones de entrenamiento intervalado de alta intensidad (4x4 min con 4 min de recuperación o 6 x 2 min con 2 min de recuperación) o sesiones de entrenamiento a velocidad constante (20 min) con intensidad por encima del LT2 por semana de entrenamiento de alta intensidad. El entrenamiento de resistencia consistió principalmente en correr, pero ocasionalmente también incluyó ciclismo, caminata nórdica y/o esquí de fondo. Los sujetos fueron familiarizados con el uso de un monitor de frecuencia cardíaca *Garmin FR 610* (*Garmin Ltd, Schaffhausen, Suiza*) y controlaron su intensidad de entrenamiento midiendo su FC durante todos los ejercicios. Además, las sesiones de entrenamiento de intensidad moderada y alta fueron supervisadas.

Test de Carrera Incremental Máximo en Cinta Rodante

Se solicitó a los sujetos que no realizaran ninguna actividad física vigorosa dos días antes de del test de carrera incremental máximo en cinta rodante. Los sujetos realizaron el test de carrera para la determinación del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), la velocidad máxima de carrera en cinta rodante (RS_{max}), los umbrales LT2 y LT1, siguiendo la metodología descrita en el estudio de Vesterinen et al (3). El test comenzó a 7 km/h para las mujeres y 8 km/h para los varones y luego se aplicaron incrementos de 1 km/h cada tercer minuto hasta el agotamiento volitivo. La pendiente se mantuvo a 0,5 grados durante toda la prueba. La FC se registró continuamente con un monitor de frecuencia cardíaca (*Suunto t6, Suunto Ltd, Vantaa, Finlandia*). El consumo de oxígeno se midió respiración por respiración durante la prueba utilizando un analizador de gases portátil (*Oxycon Mobile, Viasys Health Care, Würzburg, Alemania*). Se tomaron muestras de sangre (20 µl) de la punta de los dedos al final de cada carga para analizar la concentración sanguínea de lactato (La) (*Analizador de lactato Biosen S_line Lab +, EKF Diagnostic, Magdeburg, Alemania*). El rendimiento de resistencia máximo se determinó como la velocidad máxima de carrera en cinta rodante (RS_{max}) hasta el agotamiento. Si el sujeto no lograba completar los 3 min completos de la velocidad de carrera, la RS_{max} se calculaba de la siguiente manera: velocidad de la última etapa completada (km/h) + (tiempo de carrera (s) de la velocidad hasta el agotamiento - 30 s) / (180 - 30 s) * 1 km / h. En el presente estudio se utilizó la RS_{max} como variable principal para describir la adaptación al entrenamiento de resistencia durante el período de entrenamiento.

Test de Carrera Submáximo (SRT)

El test de carrera submáximo (SRT) se estableció aplicando una modificación del Test de ciclismo submáximo de Lamberts y Lambert (7). El SRT se realizó como un protocolo estandarizado de entrada en calor para las sesiones de entrenamiento de intensidad moderada o alta que se realizan después de al menos un día de entrenamiento liviano. Los sujetos debían

realizar SRT una vez por semana en el mismo circuito al aire libre cada vez. El SRT de 16 minutos tenía tres etapas (Figura 1). Se solicitó a los sujetos que fijaran su velocidad de carrera (RS) de acuerdo con la FC correspondiente a 70% (RS1), 80% (RS2) y 90% (RS3) de la frecuencia cardíaca máxima (FC_{max}) del sujeto durante 6, 6 y 3 minutos, utilizando monitores de frecuencia cardíaca Garmin FR 610 equipados con un sistema de posicionamiento global (GPS) (*Garmin Ltd, Schaffhausen, Suiza*). Las FC objetivo se calcularon sobre la base de la FC_{max} obtenida en el test incremental máximo realizado en cinta rodante en la semana 0. Después de la última etapa se estimó el índice de esfuerzo percibido con la escala de Borg cuyos valores van de 0-10 (15). Los valores de FC y RS fueron registrados durante el test y para el análisis se excluyeron los datos del primer minuto de cada etapa debido a que se debía establecer la velocidad de carrera (RS) para alcanzar la FC fijada. Por lo tanto, se calcularon los valores promedio de RS y FC durante un período de cinco minutos (1: 00-6: 00 y 7: 00-12: 00) para las etapas 1 y 2 y durante un período de dos minutos (13: 00-15: 00) para la etapa 3. Después de completar el test de carrera, se solicitó a los sujetos que permanecieran de pie sin moverse ni hablar durante 1 minuto. Se les pidió que respiraran normalmente, sin controlar la frecuencia respiratoria. La recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) se calculó restando la frecuencia cardíaca después de 60 s de recuperación a la frecuencia cardíaca obtenida al final de la tercera etapa.

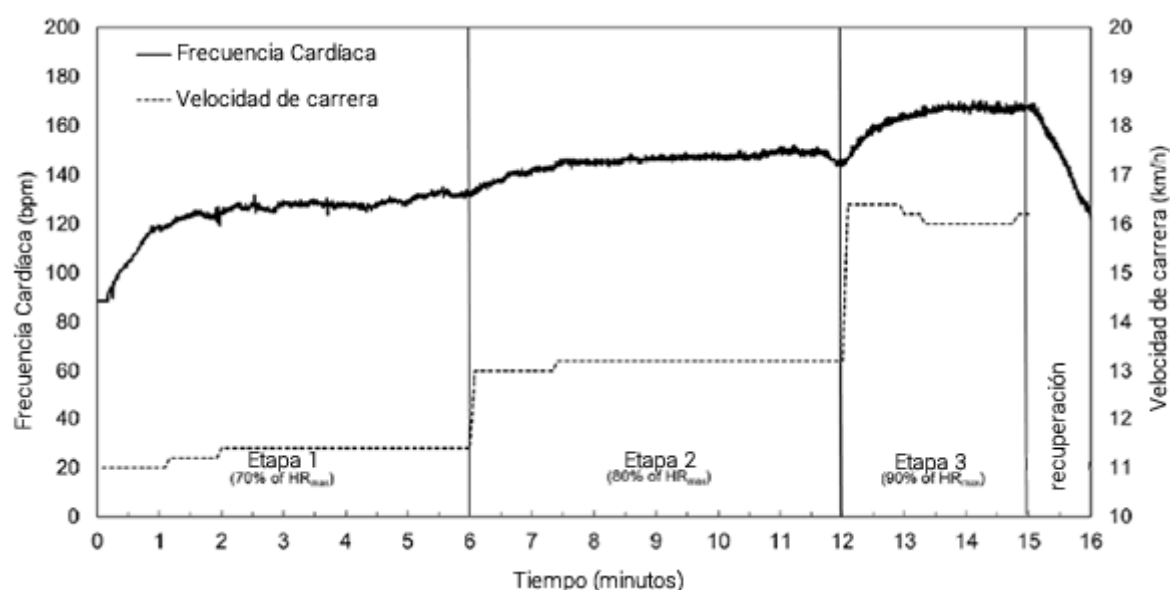


Figura 1. Ejemplo de prueba de estado de entrenamiento de un sujeto seleccionado al azar que incluye la frecuencia cardíaca y la velocidad de carrera durante el test de carrera submáximo.

Análisis Estadísticos

Los resultados se expresan en forma de media \pm desviación estándar (DE). Como el objetivo del presente estudio fue investigar la utilidad del SRT para controlar la adaptación individual al entrenamiento, los sujetos fueron agrupados retrospectivamente en cuatro grupos de acuerdo con los cambios en los resultados del test de carrera submáximo. Debido a la presencia de datos faltantes (debido a enfermedades, lesiones leves o datos deficientes de FC) en las series de tiempo de RS1, RS2, RS3 y RFC, en el análisis de agrupamiento aplicamos una variante autoimplementada (MATLAB R2013a) del método clásico de *K-means*, (16) en la cual los valores faltantes se manejan utilizando la estrategia de información disponible (*available case strategy*) (17). La descripción algorítmica detallada del método de *K-means* para datos incompletos se puede encontrar en la referencia 18. Con el fin de evitar los modelos de agrupamiento óptimos locales, se generaron 1000 modelos de agrupamiento para cada conjunto de series de tiempo mediante el uso de reinicios aleatorios y aquellos que presentaran la menor suma de cuadrado dentro de los errores de agrupamiento fueron seleccionados para el análisis posterior. Las diferencias de los cambios en el test de carrera máxima entre los grupos fueron analizadas mediante el test de Kruskal Wallis, seguido por el método *post hoc* de Dunn-Bonferroni, debido al pequeño número de sujetos en los agrupamientos. Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la relación entre los valores absolutos de SRT y las variables de rendimiento de resistencia en la semana 9, así como entre los cambios en SRT y la adaptación al entrenamiento de resistencia después de 18 semanas de entrenamiento. Además de las medidas de significación estadística, se adoptaron los siguientes criterios para interpretar la magnitud de la correlación entre las variables de

medición: <0,1 (trivial), 0,1-0,3 (pequeña), 0,3-0,5 (moderada), 0,5-0,7 (grande), 0,7-0,9 (muy grande) y 0,9-1,0 (casi perfecta) (19). La significación estadística se fijó en $P < 0,05$. Los análisis estadísticos fueron realizados con el software SPSS (IBM SPSS Statistics 20, IBM, Nueva York, EE.UU.).

RESULTADOS

Entrenamiento

Cinco de los 40 sujetos no completaron el estudio debido a lesiones ($n=4$) y falta de motivación ($n=1$). El volumen de entrenamiento fue similar durante los dos períodos de entrenamiento ($7,1 \pm 2,6$ h/semana vs $6,4 \pm 2,0$ h/semana, $5,9 \pm 2,1$ sesiones/semana vs $6,0 \pm 2,1$ sesiones/semana). El volumen de carrera aumentó en el segundo período de entrenamiento de 33 ± 17 km/semana a 41 ± 16 km/semana ($P < 0,001$). Además, el porcentaje de entrenamiento de alta intensidad aumentó de 1 ± 2 % a 4 ± 3 % ($P < 0,001$), mientras que el porcentaje de entrenamiento de intensidad baja (86 ± 9 % vs. 84 ± 9 %) y moderada (13 ± 8 % vs. 12 ± 9 %) no presentó cambios entre los períodos de entrenamiento.

Test de Carrera Submáximo

Los sujetos no pudieron realizar SRT todas las semanas debido a enfermedades o a lesiones leves. Además, algunos resultados del test no fueron aprobados para el análisis debido a la mala señal de FC. En promedio, repitieron SRT 13 veces en 18 semanas. La presencia de valores perdidos en las series de tiempo de RS1, RS2, RS3 y RFC fue de 23,1%, 23,9%, 24,5% y 24,9%. Los sujetos fueron capaces de regular de cerca la FC para alcanzar los niveles de FC fijados ajustando sus velocidades de carrera (RS) de acuerdo con el GPS del monitor de frecuencia cardíaca. La FC media para las tres etapas fue de 71 ± 3 %, 81 ± 1 % y 90 ± 1 % de la FC_{max} .

Los intervalos medios individuales fueron 69-75% de la FC_{max} durante la primera, 77-84% durante la segunda y 87-92% durante la tercera etapa de SRT. El índice de esfuerzo percibido (RPE) medio después del SRT fue de 5 ± 2 durante el período de entrenamiento.

Predictores del Rendimiento de Resistencia

Las correlaciones entre los resultados de SRT y las variables de rendimiento de resistencia se presentan en la Tabla 2. Se observaron elevadas correlaciones entre la velocidad de carrera (RS) en todas las etapas de SRT y VO_{2max} , RS_{max} , RS en LT2 y RS en LT1, pero la recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) se correlacionó sólo con el VO_{2max} . No se observaron diferencias entre los sexos en las correlaciones, a excepción de que la RFC se correlacionó con VO_{2max} y RS_{max} en las mujeres ($r=0,66$, $P=0,003$, $r=0,63$, $P=0,005$), pero no en los varones. Una tendencia similar se observó entre RFC y VO_{2max} ($r=0,56$, $P=0,073$) en los varones.

Tabla 2. Correlación entre los resultados del test de carrera submáximo (SRT) y las variables de rendimiento de resistencia. Correlaciones de Pearson, * $P < 0,05$, *** $P < 0,001$. a correlación muy elevada, b correlación elevada, c correlación moderada. VO_{2max} =Consumo de oxígeno máximo; RS_{max} =Velocidad de carrera máxima en el test máximo realizado en cinta rodante; RS en LT2= Velocidad de carrera en el umbral de lactato 2; RS en LT1= Velocidad de carrera en el umbral de lactato 1; RS= Velocidad de carrera.

	VO_{2max} (mL/kg/min)	RS_{max} (km/h)	RS en LT2 (km/h)	RS en LT1 (km/h)
RS Etapa 1 (km/h)	0,60*** b	0,74*** a	0,83*** a	0,877*** a
RS Etapa 2 (km/h)	0,75*** a	0,83*** a	0,89*** a	0,83*** a
RS Etapa 3 (km/h)	0,58*** b	0,79*** a	0,78q*** a	0,71*** a
Recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) (lpm)	0,46* c	0,22	0,31	0,22

Relaciones entre los Cambios en el Test de Carrera Submáximo y Adaptación al Entrenamiento

Todas las variables de rendimiento de resistencia mejoraron durante el período de entrenamiento. VO_{2max} , RS_{max} , RS en LT2 y LT1 mejoraron $2,2\pm 6,2\%$ ($P=0,043$), $3,2\pm 4\%$ ($P < 0,001$), $5,7\pm 4,6\%$ ($P < 0,001$) y $6,5\pm 5,4\%$ ($P < 0,001$), (respectivamente). Las relaciones entre los cambios de variables en SRT y los cambios en las variables de rendimiento de resistencia después de 18 semanas de entrenamiento se muestran en la Tabla 3 y en la Figura 2. Los cambios en RS 2 y RS 3 de SRT se correlacionaron significativamente con el cambio en VO_{2max} , RS_{max} y RS en los umbrales de lactato. No se observaron diferencias en las correlaciones entre ambos sexos.

Tabla 3. Correlaciones entre los cambios en las variables de rendimiento de resistencia y los cambios en el test de carrera submáximo (SRT, $n=26$) luego de 18 semanas de entrenamiento. VO_{2max} =Consumo de oxígeno máximo; RS_{max} =Velocidad máxima de carrera en el test en cinta rodante; RS en LT2=Velocidad de carrera en el umbral de lactato 2; RS en LT1=Velocidad de carrera en el umbral de lactato 1; RS=Velocidad de carrera; RFC= Recuperación de la frecuencia cardíaca. Correlación de Pearson,* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$;

a correlación muy alta, b correlación alta, c correlación moderada.

	VO_{2max} (%)	RS_{max} (%)	RS en LT2 (%)	RS en LT1 (%)
RS Etapa 1 (%)	0,34	0,24	0,27	0,34
RS Etapa 2 (%)	0,60** b	0,57*** b	0,43*	0,48*
RS Etapa 3 (%)	0,62*** b	0,79*** a	0,74*** a	0,52*** b
RFC (%)	0,13	-0,01	0,21	0,37

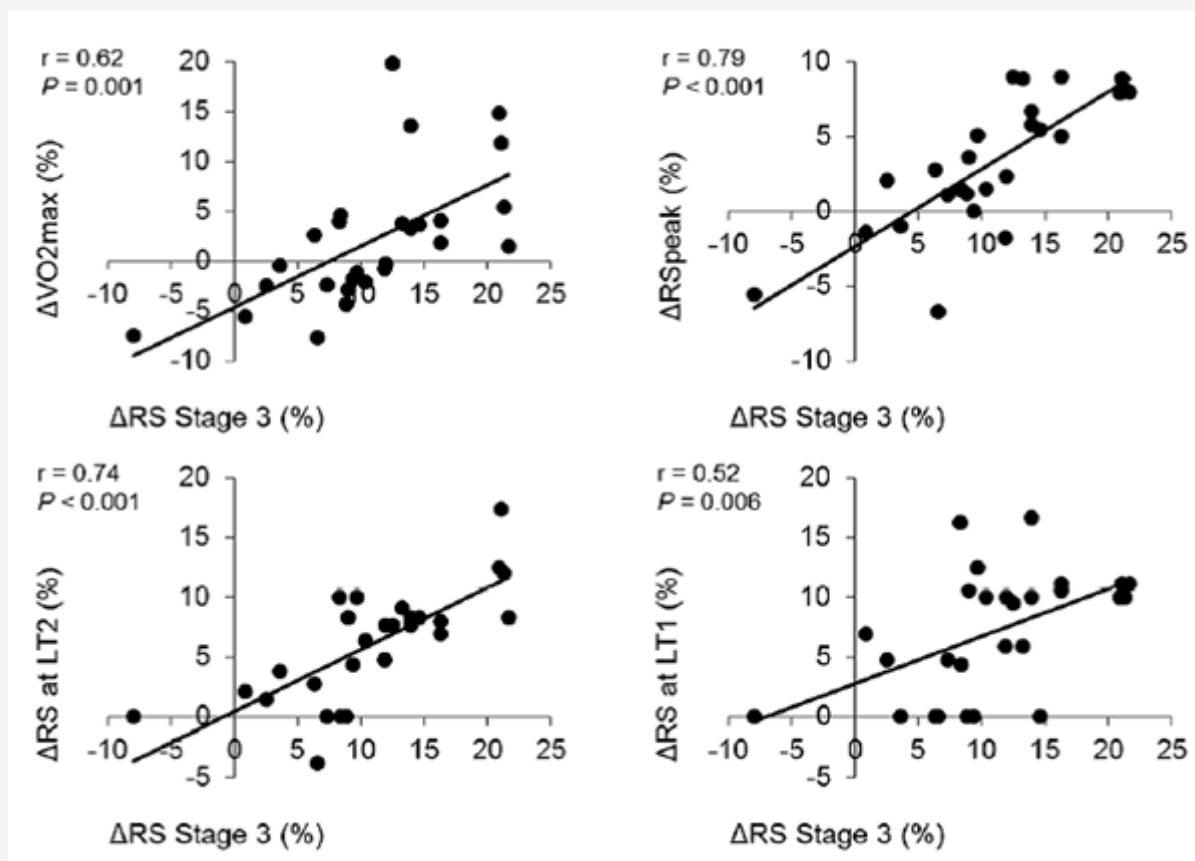


Figura 2. Correlaciones entre los cambios en las variables de rendimiento de resistencia y los cambios en la velocidad de carrera durante la tercera etapa de la prueba de marcha submáxima (SRT, $n = 26$) después de las 18 semanas de entrenamiento. VO_{2max} =Consumo de oxígeno máximo; RS_{max} =Velocidad máxima de carrera en el test en cinta rodante; RS en LT2=Velocidad de carrera en el umbral de lactato 2; RS en LT1=Velocidad de carrera en el umbral de lactato 1; RS=Velocidad de carrera; RS Etapa 3, velocidad de carrera en el al 90% de la FC_{max} en el test de carrera submáximo.

Las series de tiempo de los cambios en RS de SRT para los agrupamientos se presentan en la Figura 3. Los grupos basados

en el cambio en RS 2, presentaron diferencias entre los grupos en el cambio de VO_{2max} ($P=0,038$) y RS_{max} ($P=0,008$). El grupo 1, el cual presentó la mayor mejora en RS 2, presentó un mayor aumento en RS_{max} en comparación con los grupos 2 y 3 ($P=0,004$). Los grupos agrupados por el cambio de RS 3 presentaron también diferencias en el cambio de VO_{2max} ($P=0,009$) y RS_{max} ($P=0,004$) y RS en LT2 ($P=0,042$). Los grupos 1 y 2 mostraron mejoras significativamente mayores en RS_{max} en comparación con los grupos 3 y 4. Los grupos formados por los cambios de RS 1, RFC y RPE, no presentaron diferencias en el cambio de ninguna de las variables de rendimiento de resistencia.

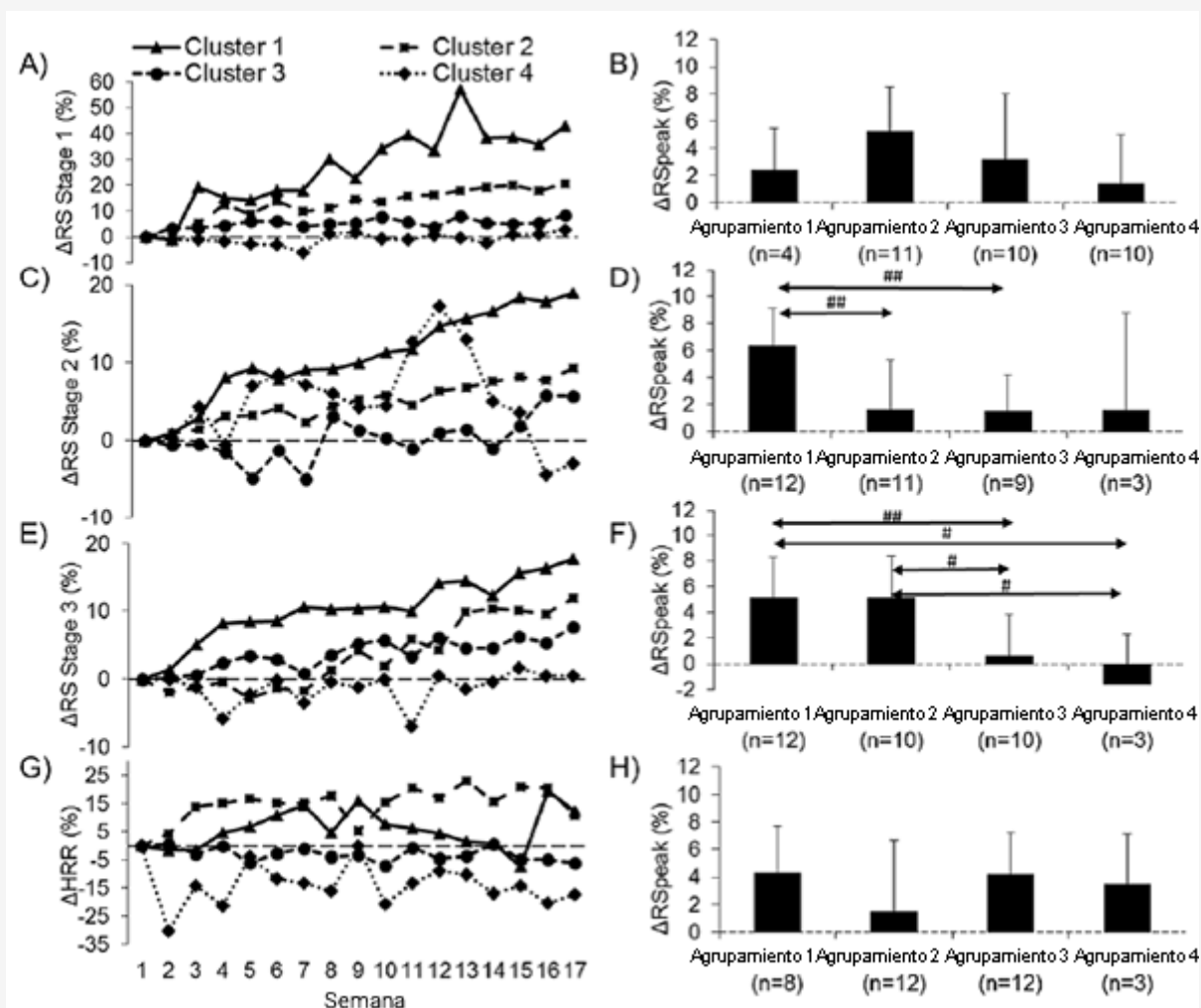


Figura 3. Series temporales representativas para los agrupamientos basadas en los cambios de velocidad de carrera en la primera (A), segunda (C), tercera etapa (E) y recuperación de la frecuencia cardíaca (G), y cambios en la velocidad máxima de carrera en la (RS_{max}) para los grupos sobre la base de cambios en RS 1 (B), RS 2 (D), RS 3 (F) y RFC (H). Diferencias entre los agrupamientos en el cambio de RS_{max} : # $p < 0,05$, ## $p < 0,01$ (revelado por el test de Kruskal-Wallis).

DISCUSIÓN

El principal hallazgo del presente estudio describe las relaciones entre los cambios de RS durante la segunda y tercera etapas de SRT y el cambio en las variables de rendimiento de resistencia después del período de entrenamiento. Además, el análisis de agrupamiento reveló diferentes tendencias en la RS de la segunda y tercera etapas entre los grupos, que también presentaron diferencias en el aumento del VO_{2max} y RS_{max} después de las 18 semanas de entrenamiento.

Los sujetos regularon con éxito la RS por sí mismos para alcanzar la frecuencia cardíaca fijada en condiciones al aire libre durante el SRT. La intensidad de la tercera etapa (90% de la FC_{max}) sería la más razonable para la regulación exacta de la

FC de acuerdo con el pequeño rango individual de FC. Estos hallazgos coinciden con lo observado en estudios previos relacionados con tests de carrera submáximos (20, 21). El SRT fue diseñado para ser utilizado como protocolo de entrada en calor estandarizado para las sesiones de entrenamiento principal, sin interferir con el entrenamiento normal. Aunque todos los sujetos no fueron capaces de realizar SRT cada semana durante el período de entrenamiento, debido a enfermedades o lesiones leves, pudieron repetirlo regularmente (en promedio: 13 veces en 17 semanas). Los niveles de FC y RPE de las etapas demostraron que el protocolo SRT era verdaderamente submáximo y no causó una carga de entrenamiento notable, y por lo tanto es un protocolo de entrada en calor adecuado para ejercicios de alta intensidad.

Predictores del Rendimiento de Resistencia

Se encontraron correlaciones elevadas entre las variables de SRT, especialmente RS 2 y RS 3, y RS_{max} (Tabla 2). Este hallazgo sugiere que la intensidad de carrera debe alcanzar el nivel del 80-90% de la FC_{max} para poder predecir las variables de rendimiento de resistencia máxima (VO_{2max} , RS_{max}), lo que coincide con los resultados obtenidos por Lamberts et al. (7) y Otter et al. (14). En estudios previos se encontraron correlaciones ligeramente superiores entre la potencia de ciclismo correspondiente a intensidades de 80% ($r=0.88$) y 90% ($r=0.94$) de la FC_{max} y el rendimiento máximo en ciclismo (7), y entre la potencia de remo al 90% de la FC_{max} y el tiempo máximo de remo en 2000 m ($r=-0,93$) (14), lo cual puede ser explicado por el uso de condiciones de evaluación más estandarizadas (laboratorio) en comparación con las condiciones que utilizamos en el presente estudio (condiciones al aire libre). Además, nosotros observamos que el mejor estimador para RS en LT2 era RS en 80% de FC_{max} en SRT, y para RS en LT1 era RS en 70% de FC_{max} . Es razonable porque la RS de esas etapas fue similar a la RS de los umbrales de lactato. Se ha demostrado que la recuperación de la frecuencia cardíaca después del ejercicio (RFC) refleja la actividad autonómica cardíaca y la adaptación al entrenamiento (4, 8, 13). En el presente estudio, la RFC después del SRT se correlacionó moderadamente con VO_{2max} , pero no con el rendimiento de resistencia. El presente hallazgo sostiene que la recuperación cardiorrespiratoria más rápida después del ejercicio se relaciona con una mayor capacidad aeróbica, según lo informado por Daanen et al. (22).

Control de las Adaptaciones al Entrenamiento

El principal hallazgo del presente estudio expresó que los cambios de RS 2 y RS 3 en SRT fueron capaces de reflejar los cambios en las variables de rendimiento de resistencia (VO_{2max} , RS_{max} , RS en LT2, RS en LT1). Además, el análisis de agrupamiento reveló que es posible identificar los mejores y peores respondedores durante el entrenamiento sobre la base de los cambios en RS a 80 y 90% de FC_{max} . Además, las tendencias de los cambios en RS a 90% de la FC_{max} permiten una identificación más exacta de la importancia de la mejora en el rendimiento de resistencia máximo en los cuatro grupos. Anteriormente Buchheit et al. (4) observaron que el cambio en la FC del ejercicio durante un test de carrera submáximo a la intensidad del 60% de la velocidad aeróbica máxima no fue diferente entre los respondedores y los no respondedores durante un entrenamiento de 8 semanas. Según nuestros resultados, la intensidad de 80-90% de FC_{max} es necesaria para el seguimiento de los cambios en las variables de rendimiento de resistencia durante el entrenamiento. En un trabajo previo observamos que el cambio del índice FC-RS medido a partir de cada ejercicio de carrera de tipo continuo se correlacionó moderadamente ($r = 0,43-0,61$) con el cambio de la velocidad máxima de carrera durante el entrenamiento de resistencia de 28 semanas (10). Sin embargo, muchos factores externos (como la duración y la intensidad del ejercicio) y factores internos (por ejemplo, nivel de hidratación, temperatura corporal, deriva cardíaca) pueden alterar el uso de la relación entre RS y la FC (11, 12, 23) como herramienta para monitorear la adaptación al entrenamiento. La duración estandarizada y la intensidad del protocolo en el presente estudio disminuyó los posibles factores de alteración y por lo tanto podría explicar mayores correlaciones entre los cambios en RS de SRT y el cambio en las variables de rendimiento de resistencia en el presente estudio en comparación con nuestros hallazgos anteriores (10).

El hallazgo novedoso del presente estudio de que RS en SRT puede ser utilizada para monitorear la adaptación al entrenamiento, se basa en las observaciones sobre la relación entre la disminución de la FC del ejercicio y las mejoras positivas en el rendimiento de resistencia (4-6, 10). Sin embargo, es necesario tener en cuenta que también las adaptaciones negativas al entrenamiento, en el caso del overreaching o sobreentrenamiento de corto plazo, pueden estar relacionadas con la disminución en el ejercicio y en la FC_{max} (24, 25). Por otro lado, el índice de esfuerzo percibido (RPE) puede aumentar a niveles submáximos en el estado de overreaching o sobreentrenamiento a corto plazo porque se debe trabajar más para alcanzar el mismo nivel de FC debido a una mayor intensidad relativa si la FC_{max} disminuye (24). Por lo tanto, el RPE junto con los datos de RS proporcionan información razonable sobre la adaptación al entrenamiento. En el presente estudio, el RPE se mantuvo estable en los grupos, quienes no evidenciaron ningún signo de overreaching.

Lamberts et al (13) observaron previamente una relación entre los cambios en la recuperación de la frecuencia cardíaca (RFC) después de una prueba contrarreloj de 40 km de ciclismo y los cambios en el rendimiento máximo en ciclismo ($r=0,73 - 0,95$) después de 4 semanas de entrenamiento de alta intensidad. Por otra parte, la RFC ha sido asociada con cambios en la carga de entrenamiento y en el rendimiento de resistencia (8, 26). En contraste con lo observado en estudios anteriores, no observamos ninguna relación entre el cambio de RFC y los cambios en las variables de resistencia. En cambio, nuestros hallazgos coinciden con lo observado en los estudios de Buchheit et al. (27, 28) y Otter et al. (14). La

ausencia de la relación puede ser explicada por el grupo relativamente homogéneo de los sujetos que participaron en el presente estudio. La relación parecería ser más débil en los grupos homogéneos (14). Los hallazgos contradictorios entre los estudios también pueden explicarse por las diferencias en los protocolos de medición, tales como duraciones e intensidades de los ejercicios, y en los períodos de tiempo en que se mide la RFC. Por otro lado, la intensidad durante la tercera etapa fue exactamente la misma (87-92% de la FC_{max}) lo que coincide con la recomendación de Lamberts et al. (29) de que la intensidad del ejercicio debería estar entre 86-93% de la FC_{max} para lograr el mayor nivel de sensibilidad en la detección de los cambios significativos en la RFC. Los estudios futuros deberían centrarse más en los efectos de las cuestiones metodológicas para la medición de la RFC post-ejercicio.

Una limitación del presente estudio fue el número relativamente pequeño de sujetos. No permitió la comparación sistemática entre ambos sexos. Además, los valores faltantes debidos a enfermedades, lesiones o datos incorrectos de FC o GPS en SRT semanal pueden causar cierta fluctuación en las tendencias debido a la gran variación entre individuos. Por tal motivo, el ANOVA de mediciones repetidas no era un método estadístico adecuado. En su lugar, en presencia de datos faltantes pudimos utilizar el análisis de agrupamiento.

Aplicaciones Prácticas

Las velocidades de carrera a 80 y 90% de FC_{max} , que en estudios previos se observó que podían predecir el rendimiento de resistencia en ciclismo (13) y remo (14), fueron las variables más competentes para reflejar los cambios en el rendimiento máximo durante el entrenamiento. Además, el monitoreo del cambio en RS a 90% de FC_{max} sirvió para identificar individuos que no logran una adaptación positiva durante el entrenamiento. Esa es una información esencial para entrenadores y atletas, y les permite ajustar el programa de entrenamiento para lograr mejores resultados. Independientemente de la ausencia de la relación entre el cambio en la RFC y la adaptación al entrenamiento observada en el presente estudio, se ha postulado que la RFC refleja el cambio en la carga de entrenamiento (13) y describe la aptitud aeróbica (22), tal como en el presente estudio. Por lo tanto, recomendamos que el test de carrera submáximo incluya las mediciones de RS (intensidad de 80-90% de FC_{max}), RFC y RPE después del ejercicio para monitorear el estado de la regulación autonómica cardiorrespiratoria y cardíaca. El test submáximo presenta un gran potencial como herramienta práctica para el monitoreo regular de la adaptación individual al entrenamiento de resistencia en condiciones de campo.

CONCLUSIÓN

La velocidad de carrera durante SRT pudo predecir el rendimiento máximo de resistencia. Este estudio también demostró que la velocidad de carrera en 80-90% FC_{max} durante SRT permitió monitorear la adaptación al entrenamiento de resistencia en corredores de resistencia recreacionales. Estudios futuros deberían evaluar si la individualización del programa de entrenamiento en función del SRT sería más productiva que un programa de entrenamiento tradicional predeterminado.

Agradecimientos

Los resultados del presente estudio no constituyen endoso del producto por parte de los autores o de la revista. El financiamiento de este estudio fue aportado por el Ministerio de Educación y Cultura Finlandés. El estudio se llevó a cabo en KIHU, Instituto de Investigación de Deportes Olímpicos, en colaboración con la Universidad de Jyväskylä, Departamento de Biología de la Actividad Física. Los autores desean agradecer a Sirpa Vääntinen por su experta asistencia durante este estudio, y a los sujetos que participaron en el estudio.

REFERENCIAS

1. Bouchard C., Rankinen T. (2001). Individual differences in response to regular physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc.*33(6 Suppl):S446-51; discussion S452-3.
2. Vollaard N.B., Constantin-Teodosiu D., Fredriksson K., et al. (2009). Systematic analysis of adaptations in aerobic capacity and submaximal energy metabolism provides a unique insight into determinants of human aerobic performance. *J. Appl. Physiol.*106(5):1479-1486.
3. Vesterinen V., Hakkinen K., Hynynen E., Mikkola J., Hokka L., Nummela A. (2013). Heart rate variability in prediction of individual adaptation to endurance training in recreational endurance runners. *Scand. J. Med. Sci. Sports.*23(2):171-180.

4. Buchheit M., Chivot A., Parouty J., et al. (2010). Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *Eur. J. Appl. Physiol.*108(6):1153-1167.
5. Scharhag-Rosenberger F., Meyer T., Walitzek S., Kindermann W. (2009). Time course of changes in endurance capacity: A 1-yr training study. *Med. Sci. Sports Exerc.*41(5):1130-1137.
6. Borresen J., Lambert M.I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise Measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med.*38(8):633-420
7. Lamberts R.P., Swart J., Noakes T.D., Lambert M.I. (2011). A novel submaximal cycle test to monitor fatigue and predict cycling performance. *Br. J. Sports Med.*45:797-804.
8. Lamberts R.P., Swart J., Capostagno B., Noakes T.D., Lambert M.I. (2010). Heart rate recovery as a guide to monitor fatigue and predict changes in performance parameters. *Scand. J. Med. Sci. Sports.*20(3):449-457.
9. Lamberts R.P. (2014). Predicting cycling performance in trained to elite male and female cyclists. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*9(4):610-614.
10. Vesterinen V., Hokka L., Hynynen E., Mikkola J., Hakkinen K., Nummela A. (2014). Heart rate-running speed index may be an efficient method of monitoring endurance training adaptation. *J. Strength Cond. Res.*28(4):902-908.
11. Lambert M.I., Mbambo Z.H., St Clair Gibson A. (1998). Heart rate during training and competition for long-distance running. *J. Sports Sci.*16 Suppl:S85-90.
12. Achten J., Jeukendrup A.E. (2003). Heart rate monitoring: Applications and limitations. *Sports Med.*33(7):517-538.
13. Lamberts R.P., Swart J., Noakes T.D., Lambert M.I. (2009). Changes in heart rate recovery after high intensity training in well-trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.*105(5):705-713.
14. Otter R.T., Brink M.S., Lamberts R.P., Lemmink K.A. (2015). A new submaximal rowing test to predict 2000 meter rowing ergometer performance. *J. Strength Cond. Res.*
15. Borg G.A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.*14(5):377- 381.
16. MacQueen J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: *Le Cam LM, Neyman J, eds. Proceedings of the fifth berkeley symposium on mathematical statistics and probability. 1st ed. University of California Press: Berkeley, CA; 1967:281-297.*
17. Little R.J., Rubin D.B. (1987). Statistical analysis with missing data. *New York: John Wiley & Sons, Inc; 1987.*
18. Äyrämö S. (2006). Knowledge mining using robust clustering. *Ph.D Thesis. Department of Mathematical Information Technology, University of Jyväskylä, Finland, Jyväskylä Studies in Computing 63; 2006.*
19. Hopkins W.G., Marshall S.W., Batterham A.M., Hanin J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.*41(1):3-13.
20. Lamberts R.P., Lambert M.I. (2009). Day-to-day variation in heart rate at different levels of submaximal exertion: Implications for monitoring training. *J. Strength Cond. Res.*23(3):1005-1010.
21. Lamberts R.P., Lemmink K.A., Durandt J.J., Lambert M.I. (2004). Variation in heart rate during submaximal exercise: Implications for monitoring training. *J. Strength Cond. Res.*18(3):641-645.
22. Daanen H.A., Lamberts R.P., Kallen V.L., Jin A., Van Meeteren N.L. (2012). A systematic review on heart rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*7(3):251-260.
23. Boudet G., Albuissou E., Bedu M., Chamoux A. (2004). Heart rate running speed relationships-during exhaustive bouts in the laboratory. *Can. J. Appl. Physiol.*29(6):731-742.
24. Le Meur Y., Hausswirth C., Natta F., Couturier A., Bignet F., Vidal P.P. (2013). A multidisciplinary approach to overreaching detection in endurance trained athletes. *J Appl Physiol* (1985). 2013;114(3):411-420.
25. Uusitalo A.L., Uusitalo A.J., Rusko H.K. (1998). Endurance training, overtraining and baroreflex sensitivity in female athletes. *Clin. Physiol.*18(6):510-520.
26. Borresen J., Lambert M.I. (2007). Changes in heart rate recovery in response to acute changes in trainingload. *Eur. J. Appl. Physiol.*;101(4):503-511.
27. Buchheit M., Simpson M.B., Al Haddad H., Bourdon P.C., Mendez-Villanueva A. (2012). Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *Eur. J. Appl. Physiol.*112(2):711-723.
28. Buchheit M., Racinais S., Bilsborough J.C., et al. (2013). Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *J. Sci. Med. Sport.*16(6):550-555.
29. Lamberts R.P., Maskell S., Borresen J., Lambert M.I. (2011). Adapting workload improves the measurement of heart rate recovery. *Int. J. Sports Med.*32(9):698-702.

Cita Original

Ville Vesterinen, Ari Nummela, Sami Äyrämö, Tanja Laine, Esa Hynynen, Jussi Mikkola, Keijo Häkkinen. Monitoring training adaptation with a submaximal running test in field Conditions. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016 Apr;11(3):393-9. doi: 10.1123/ijspp.2015-0366.