

Aurell-Badenas, V.; Murias-Lozano, R.; Rodríguez-López, E.S. y García-Giménez, A. (2020). Efficacy of Plyometrics in the Neuromuscular Fatigue During Triathlon: A Pilot Study. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 20 (79) pp. 551-566 [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista79/arteficacia1182.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista79/arteficacia1182.htm)
DOI: <http://doi.org/10.15366/rimcafd2020.79.011>

ORIGINAL

EFICACIA DE LA PLIOMETRÍA EN LA FATIGA NEUROMUSCULAR EN TRIATLÓN: ESTUDIO PILOTO

EFFICACY OF PLYOMETRICS IN THE NEUROMUSCULAR FATIGUE DURING TRIATHLON: A PILOT STUDY

Aurell-Badenas, V.¹; Murias-Lozano, R.¹; Rodríguez-López, ES.¹ y García-Giménez, A.²

¹ Departamento de Fisioterapia, Facultad de Salud Universidad Camilo José Cela. Villanueva de la Cañada, Madrid (España). victoriaaurellbadenas@gmail.com, rmurias@ucjc.edu, esrodriguez@ucjc.edu

² Doctorando en Ciencias de la Salud y del Deporte, Universidad de Zaragoza. Zaragoza (España). garciajimenezalejandro@gmail.com

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Ayuntamiento de Botorrita (Zaragoza) por la cesión del local en el que tuvieron lugar las mediciones. Por otro lado, se agradece a la Universidad Camilo José Cela la cesión del material para llevar a cabo las mismas y al Club de Triatlón Stadium Casablanca por prestar su colaboración en el proceso de selección de la muestra. El presente estudio no ha contado con financiación.

Código UNESCO / UNESCO code: 5899 Otras especialidades pedagógicas (Educación Física y Deporte) / Other specialties pedagogical (physical education and sport)

Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe classification: 17: otras (entrenamiento deportivo) / other (sport training)

Recibido 1 de octubre de 2018 **Received** October 1, 2018

Aceptado 4 de enero de 2019 **Accepted** January 4, 2019

RESUMEN

Las transiciones en triatlón afectan al rendimiento y riesgo de lesión. El objetivo fue determinar la fatiga neuromuscular inducida por 40 km de ciclismo y la eficacia del entrenamiento pliométrico en la fatiga y rendimiento de la carrera a pie. Participaron doce triatletas, 5 realizaron un entrenamiento pliométrico y 7 continuaron su entrenamiento habitual. Se realizaron tests de salto antes y después de 40 km de ciclismo para determinar la fatiga y se registró el ritmo de

5 km de carrera. Se observaron diferencias significativas en la altura de salto ($p < 0,05$) indicando que 40 km de ciclismo inducen fatiga en la extremidad inferior. Tras el entrenamiento pliométrico se observaron mejoras significativas en el test *Squat Jump* posterior al ciclismo ($p = 0,038$) y en el ritmo del primer kilómetro ($p = 0,015$). El entrenamiento pliométrico parece ser más eficaz que el entrenamiento habitual para mejorar la fatiga neuromuscular y el ritmo del primer kilómetro.

PALABRAS CLAVE: ciclismo, carrera, ejercicio pliométrico, rendimiento atlético

ABSTRACT

The transition between the different phases of triathlon affects both athletic performance and risk of injury. The aim was to determine the neuromuscular fatigue induced by 40 km cycling and the plyometric training efficacy in order to improve such fatigue and running performance. Twelve triathletes participated, 5 of them did specific plyometric training versus 7 who continued with their usual training. Different jump tests were carried out before and after 40 km cycling in order to determine the fatigue, the 5km-running pace was also recorded. Significant differences were observed in the jump height ($p < 0,05$) post-cycling, showing that 40 km cycling induces leg neuromuscular fatigue. After the plyometric training, significant improves were observed in the Squat Jump Test post-cycling ($p = 0,038$) and in the first kilometre running pace ($p = 0,015$). The plyometric training seems to be more effective than usual training to improve cycling induced neuromuscular fatigue and the first kilometre running pace.

KEYWORDS: bicycling, running, plyometric exercise, athletic performance

INTRODUCCIÓN

La popularidad del triatlón se ha incrementado durante los últimos años, destacando la distancia olímpica, que consiste en 1,5 km de natación, 40 km de ciclismo y 10 km de carrera a pie (1). La transición entre las distintas fases del triatlón es una característica única de este deporte, que puede afectar tanto al rendimiento deportivo como al riesgo de lesión (2). El rendimiento en conjunto está determinado por la habilidad del triatleta de unir y sobresalir en las tres disciplinas, siendo la carrera a pie la más importante para el éxito en la distancia olímpica (3–5). Por otro lado, la carrera es el sector más lesivo de los tres, al que se atribuyen más del 73% de las lesiones producidas en triatlón (6).

La transición de la bicicleta a la carrera induce fatiga neuromuscular en la extremidad inferior (EEII), lo que puede hacer que los triatletas tengan una sensación de incomodidad al inicio de la carrera a pie (5). Requiere la coordinación muscular para pasar de una actividad sin carga y de predominancia concéntrica a una actividad con carga y que combina acciones concéntricas y excéntricas (5,7). Por lo tanto, la eficiencia en la carrera a pie se ve afectada por la capacidad del deportista de realizar dicha transición de manera óptima (5) y

por su capacidad de correr bajo condiciones de fatiga (7). Concretamente, en la distancia olímpica se ha visto que alrededor de un 70% de los triatletas corren a velocidades inferiores durante el primer kilómetro en comparación a su velocidad normal en los 10 km (8). Se ha demostrado que correr después del sector de ciclismo provoca una serie de alteraciones biomecánicas y fisiológicas específicas (5).

Las alteraciones biomecánicas están estrechamente relacionadas con la experiencia del triatleta y afectan en menor medida o incluso están ausentes en triatletas de élite (8-10). No obstante, algunos triatletas moderadamente entrenados sí que presentan dificultades cuando corren después del sector de ciclismo (11). Dichas alteraciones afectan al control neuromuscular, produciendo cambios en la cinemática de la carrera y en el patrón motor de reclutamiento muscular (5,12). Por ello, muchos triatletas experimentan una percepción de disminución en la coordinación cuando corren después del sector de ciclismo (9), lo que además de disminuir el rendimiento óptimo del deportista produce mayor riesgo de lesión musculoesquelética (2). En cuanto a las alteraciones fisiológicas los datos obtenidos en laboratorio muestran que la carrera a pie en triatlón es más dura que la carrera a pie a la misma velocidad de manera aislada ya que aumenta el consumo de oxígeno, la frecuencia respiratoria, la velocidad de ventilación y la frecuencia cardiaca, afectando también en mayor medida a triatletas menos experimentados (12-14).

El rendimiento de los triatletas moderadamente entrenados puede verse más afectado por la transición del ciclismo a la carrera a pie, y por lo tanto, pueden sufrir potencialmente mayor riesgo de lesión que limite su actividad física, salud general y progresión en el deporte (11). Un entrenamiento específico puede permitir que los músculos se adapten de manera eficiente a la transición y por lo tanto mejorar el rendimiento de la prueba en conjunto (9). Se ha sugerido que dichos triatletas deben orientar su entrenamiento a practicar la carrera tras el sector de ciclismo y en realizar ejercicios de pliometría en condiciones de fatiga (10). No obstante, no se ha encontrado ningún estudio que analice la eficacia de la pliometría en condiciones de fatiga.

Hay que tener en cuenta que el desarrollo de la resistencia no está únicamente limitado por el sistema aeróbico, si no también por las características del sistema neuromuscular (15-17). El entrenamiento pliométrico ha demostrado generar adaptaciones neurales específicas como un aumento en la activación de las unidades motoras (17-19). Por ello, es posible que pueda minimizar los efectos negativos del sector de ciclismo en determinados triatletas (20), sobre todo en aquellos menos entrenados en comparación a los triatletas de élite (16). Únicamente se ha encontrado un estudio que tenga en cuenta el entrenamiento pliométrico de manera aislada para la mejora de las condiciones neuromusculares en aquellos triatletas cuyo patrón biomecánico de carrera se vio modificado por la segunda transición (20). Sus resultados fueron positivos para la mejora del patrón biomecánico de carrera tras el sector de ciclismo. No obstante, no hay datos acerca de cómo el entrenamiento pliométrico afecta a la fatiga neuromuscular provocada por dicho sector.

La pliometría llevada a cabo en condiciones de fatiga y de manera aislada puede ser una buena opción para mejorar las condiciones neuromusculares con las que los triatletas realizan la segunda transición y consecuentemente mejorar la eficacia de la carrera a pie. Así mismo, dicha mejora puede conllevar un mayor rendimiento deportivo y menor riesgo de lesión. Por todo ello, el objetivo principal del presente estudio es valorar la eficacia de dicho entrenamiento para mejorar las condiciones neuromusculares en las que los triatletas realizan la segunda transición. Para ello, los objetivos del presente estudio son los siguientes: (a) analizar la fatiga neuromuscular posterior al sector de ciclismo a través de los distintos test de salto realizados en una plataforma de contactos, (b) determinar las diferencias en dichos test tras ocho semanas entre el grupo control y el grupo de entrenamiento pliométrico específico y (c) determinar las diferencias en el rendimiento de la carrera a pie tras el sector de ciclismo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un ensayo clínico experimental, un estudio piloto longitudinal prospectivo de un programa de entrenamiento de pliometría de ocho semanas de duración.

Participantes

Se incluyeron en el estudio a triatletas no profesionales que tuvieran una experiencia de al menos dos años entrenando y compitiendo en triatlón (20), procedentes del Club Stadium Casablanca (Zaragoza). De acuerdo a la bibliografía previa (20), se excluyeron a aquellos sujetos con historia previa de entrenamiento de pliometría, con lesiones musculo-esqueléticas o neurológicas que afectasen a la columna o a la EEII o que hubieran practicado o competido en otros deportes dos o más veces por semana en los tres meses previos. Todos los participantes fueron informados acerca del procedimiento del estudio y de los posibles riesgos asociados y firmaron el consentimiento informado y la Ley Oficial de Protección de Datos. Los procedimientos llevados a cabo estuvieron en concordancia con la Declaración de Helsinki y se obtuvo la aprobación del Comité de Ética de la Investigación de la Comunidad de Aragón (CEICA). Se dividió a los 14 sujetos en 2 grupos, un grupo control sin intervención y un grupo intervención con un programa de entrenamiento pliométrico. No se realizó aleatorización dado que el programa de intervención requería un compromiso por parte de los triatletas, por ello se incluyó en el grupo intervención a los sujetos dispuestos a llevar a cabo el entrenamiento específico. Se recogieron los datos acerca del entrenamiento de cada sujeto para asegurarse de la homogeneidad de los grupos.

Intervención

Ambos grupos continuaron con su entrenamiento regular como habían hecho en los meses previos. Además, los triatletas del grupo intervención participaron en un programa de 8 semanas de entrenamiento pliométrico (Tabla 1). El entrenamiento se planificó dentro del calendario de competiciones del club, dividiéndolo en 2 bloques de 4 semanas. Las sesiones se diseñaron en base a estudios anteriores (20,22), incluyendo la combinación de 3 series de 3 ejercicios de fuerza (sentadillas, prensa monopodal y gastrocnemios monopodal) seguidos

de los ejercicios de pliometría, con 45 segundos de descanso entre cada serie (Figura 1). No se excedían los 200 saltos por sesión para evitar riesgo de lesión (17) y se siguió el principio de carga progresiva entre los dos bloques de entrenamiento, con carga y dificultad técnica incremental.

Cada semana estaba compuesta por 3 sesiones semanales de pliometría, con el requisito de que una de las sesiones se realizase en condiciones de fatiga, es decir, justo después de un entrenamiento de ciclismo (10). Se realizaban en días alternos, siendo entre semana las 2 primeras sesiones que combinaban con los ejercicios de fuerza y en fin de semana la tercera sesión, en la que únicamente realizaban los ejercicios pliométricos tras el entrenamiento de ciclismo. Las sesiones se llevaban a cabo en el gimnasio y eran supervisadas para asegurar que se realizaban con la técnica correcta. Se requería que los participantes realizaran al menos el 95% de las sesiones específicas de entrenamiento para ser incluidos en el estudio (22).

Tabla 1. Ejercicios de pliometría del programa de entrenamiento.

Ejercicio	Series y repeticiones (reps)	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Sentadilla con salto (CMJ)	3x6 reps	3x6 reps
Salto desde cajón con desplazamiento horizontal	3x5 reps	3x5 reps (mayor altura del cajón)
Zancadas con salto	2x8 reps	3x8 reps
Salto horizontal	3x5 reps (bipodal)	3x5 reps con cada EEII
Salto en comba	30 reps	1x15 reps con cada EEII
<i>Step-up</i>	2x5 reps con cada EEII	2x5 reps (mayor altura del cajón)
Número total de saltos	114	137

Material

Para valorar la fatiga neuromuscular inducida por el sector de ciclismo en la EEII, los sujetos realizaron tres test de salto antes y después del mismo. Se utilizó una plataforma de contactos (*Optojump Next; Microgate, Bolzano, Italy*) en la que se medía la altura de salto (cm) al igual que en estudios previos (23, 24). Todos los sujetos fueron familiarizados con los test, que se llevaron a cabo calzados en una posición de equilibrio con los pies a la anchura de las caderas. De cada test se realizó una prueba con un periodo de recuperación de 1 minuto entre ellas. Los test se llevaron a cabo en el siguiente orden:

- 1) *Squat jump* (SJ) (23). Los sujetos colocaban sus manos sobre sus caderas para anular la influencia de los brazos en el salto. Desde una posición de sentadilla con la rodilla aproximadamente en 90° de flexión, se les pedía a los sujetos que realizaran un salto vertical máximo.

- 2) *Countermovement jump* (CMJ) (23). Tras una señal dada por el investigador, el participante debía flexionar sus rodillas y saltar tan alto como fuera posible mientras mantenía las manos en la cadera.
- 3) *Saltos repetidos* (15CMJ) (25). Los sujetos debían realizar tantos saltos CMJ como fueran posibles durante 15 segundos, se les pedía que buscaran la máxima altura en cada salto. Para el análisis de datos, se realizó el sumatorio de las alturas de todos los saltos.

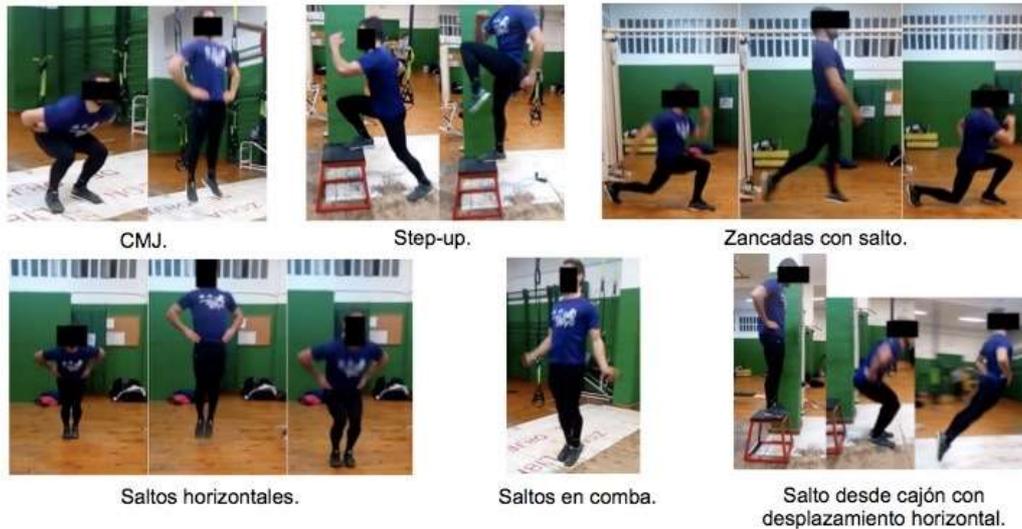


Figura 1. Ejercicios de pliometría del programa de entrenamiento.

Protocolo

Se llevaron a cabo dos días de medición antes y después de las ocho semanas de intervención para valorar la eficacia de la misma. Las mediciones se efectuaron en un local con buen acceso a la carretera cedido por el Ayuntamiento de Botorrita (Zaragoza). Después de un calentamiento estandarizado de 10 minutos de duración basado en trote suave y saltos, se realizaba la valoración inicial en la plataforma de contactos. A continuación, cada triatleta tenía que realizar un recorrido de 40 km de ciclismo a alta intensidad. Los triatletas utilizaron la bicicleta con la que competían habitualmente y se les permitía beber un máximo de 500 ml de agua.

Tras el sector de ciclismo se estandarizaba la transición (20), permitiendo a los triatletas un periodo controlado de 60 segundos para bajarse de la bicicleta y cambiarse el calzado. Inmediatamente después se repetían los test sobre la plataforma de contactos. Para valorar la fatiga neuromuscular inducida en la EEII por el sector de ciclismo se analizaron los cambios en la altura de salto. Seguidamente, los triatletas debían realizar una carrera a pie de 5 km en un circuito de 1 km. Se cronometró el tiempo que empleaba cada triatleta para recorrer el primer kilómetro y los 5 km, ya que se ha visto que la transición afecta mayormente al rendimiento durante el primer kilómetro (8). El calzado utilizado era el mismo durante todo el procedimiento y durante los dos días de medición, el que utilizaba cada triatleta para competir.

Se les pidió que dieran el máximo para simular situación real de competición (24), para ello cada triatleta debía monitorizar su frecuencia cardíaca a través de sus dispositivos habituales de entrenamiento. Otros alicientes fueron que el entrenador tendría en cuenta los resultados y que realizaban el recorrido de manera escalonada cada 10 minutos uno detrás de otro, compitiendo entre ellos. Previo a cada día de medición, no debían llevar a cabo una actividad de alta intensidad en las 72 horas anteriores y la última comida debía ser al menos 2 horas antes. Para las dos mediciones, las condiciones climáticas fueron similares.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo con el programa “SPSS” versión 22. Se realizó el estudio descriptivo de cada una de las variables en tablas con media \pm DT (desviación típica). Antes de realizar el análisis estadístico se tuvo presente las condiciones de aplicación del mismo; se utilizó la prueba de *ShapiroWilks* para comprobar que la muestra cumplía criterios de normalidad y la *Prueba t de Student* para la distribución homogénea entre grupos y entre sexos. Se utilizó una estimación de mínimos cuadrados para cuantificar el intervalo de diferencia entre grupos. Se utilizó la misma observación de arrastre. Análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA) con modelo lineal con ajuste *Bonferroni* se utilizó para probar el perfil del cambio en el resultado pre-intervención y post-intervención, de los dos grupos de estudio y la comparación por pares según tiempo y grupo. Para el análisis inferencial de la fatiga neuromuscular y el ritmo de carrera se utilizó la *Prueba t de Student*. Las correlaciones bivariantes de las variables cuantitativas se analizaron mediante el *coeficiente de Pearson*. Se estableció para una confianza del 95%, un nivel de significación $p < 0,05$, valor que se considera adecuado de forma universal en investigaciones biomédicas.

RESULTADOS

Catorce triatletas moderadamente entrenados aceptaron participar voluntariamente en el estudio, dos de los cuales tuvieron que ser excluidos, finalmente la muestra estuvo compuesta por 12 sujetos: 10 hombres, 2 mujeres; de $26,42 \pm 6,63$ años de edad; $1,73 \pm 7,64$ m de altura y con un peso de $69,14 \pm 9,56$ kg. Tanto el grupo control como el grupo con entrenamiento pliométrico estuvieron formados por 5 hombres y una mujer respectivamente. Los triatletas tenían $3,67 \pm 1,37$ años de experiencia en triatlón, la gran parte de ellos participaba en pruebas tanto a nivel nacional como regional y únicamente un 16,7% de los sujetos exclusivamente a nivel regional. El 41,7% de la muestra competía a corta distancia mientras que el 58,3% lo hacía en media distancia (Tabla 2). Los datos basales siguieron una distribución normal y la distribución fue homogénea en los grupos, tampoco se encontraron diferencias basales entre sexos.

Respecto al primer objetivo, existió una fatiga neuromuscular inducida tras 40 km de ciclismo (n=12), observándose una disminución significativa en todos los

test de salto (Tabla 3): SJ [M=3,50, IC95%=1,93-5,06, t(11)=4,91, p>0,001], CMJ [M=2,88, IC95%=0,40-5,35, t(11)=2,56, p=0,026] y 15CMJ [M=39,87, IC95%=19,81-59,94, t(11)=4,37, p=0,001].

En los datos reportados por la ANOVA de medidas repetidas (Tabla 4), se encontró una interacción significativa entre los factores grupo y tiempo en el test de salto con SJ, $F(3,30) = 7,20$, $p = 0,003$, $n^2 = 0,419$, con un efecto principal del tiempo ($p = 0,001$). Específicamente, el análisis post-hoc mostró un aumento significativo en el grupo con entrenamiento pliométrico del test SJ post-ciclismo a las 8 semanas respecto a la medición inicial ($p = 0,038$), mientras que el grupo que continuó con su entrenamiento habitual mostró una disminución significativa de los saltos registrados con SJ en la medición inicial previo a la prueba de ciclismo y a las 8 semanas posterior al mismo ($p < 0,001$).

Tabla 2. Historia de entrenamiento de los triatletas en los tres meses previos.

		Grupo Control (n=7)	Grupo Pliometría (n=5)
Natación	Días a la semana; Media (DS)	3 (1,15)	3,4 (0,89)
	Km semanales; Media (DS)	8,29 (4,54)	12 (2,83)
Ciclismo	Días a la semana; Media (DS)	2,14 (0,38)	2,2 (0,38)
	Km semanales; Media (DS)	154,29 (37,8)	154 (28,8)
Carrera	Días a la semana; Media (DS)	2,86 (0,38)	3
	Km semanales; Media (DS)	25 (8,16)	24,4 (5,55)
	Ritmo medio ^a ; Media (DS)	3,74 (0,44)	3,62 (0,31)

^a Ritmo medio medido en min/km, estimado para 10 km.

Tabla 3. Análisis de la fatiga neuromuscular provocada por el sector de ciclismo.

	Pre-ciclismo (n=12)	Post-ciclismo (n=12)	<i>p</i> valor
SJ ; Media (DS)	31,17 (5,1)	27,67 (5,75)	<0,001
CMJ ; Media (DS)	33,89 (7,16)	31,01 (5,89)	0,026
15CMJ ; Media (DS)	355,87 (61,23)	315,97 (56,91)	0,001

SJ, Squat jump; CMJ, Countermovement jump; 15CMJ, Saltos repetidos; DS, desviación standard.

También se encontró una interacción significativa entre los factores grupo y tiempo en el test de salto don 15 CMJ, $F(3,30) = 5,40$, $p = 0,003$, $n^2 = 0,371$, con

un efecto principal del tiempo ($p=0,004$). Resultados similares al SJ, se obtuvieron en el análisis post-hoc, mostrando una disminución significativa de los saltos registrados con 15 CMJ en el grupo que continuó con su entrenamiento habitual en la medición inicial previo a la prueba de ciclismo y a las 8 semanas posterior al ciclismo ($p=0,015$), mientras que el grupo con entrenamiento pliométrico mantuvo valores muy similares ($p<0,05$). No se obtuvo una interacción significativa entre los factores grupo y tiempo en el test de salto con CMJ, $F(3,30)=8,08$, $p=0,090$, $\eta^2=0,447$, pero sí que hubo un efecto principal del tiempo ($p<0,001$). En el análisis post-hoc, mostró una disminución significativa de los saltos registrados con CMJ en el grupo que continuó con su entrenamiento habitual en la medición inicial previo a la prueba de ciclismo y a las 8 semanas tras el ciclismo ($p=0,006$), mientras que el grupo con entrenamiento pliométrico mantuvo valores muy similares en las diferentes mediciones ($p<0,05$) (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de la covarianza para la eficacia de la pliometría en los test de salto

		SJ		CMJ		Saltos repetidos	
		GC (n=7)	GP (n=5)	GC (n=7)	GP (n=5)	GC (n=7)	GP (n=5)
Medición inicial	Pre-ciclismo 1; <i>Media (DS)</i>	31,11 (4,85)	31,24 (6,03)	34,17 (7,64)	33,50 (7,27)	363,09 (72,61)	345,78 (47,75)
	Post-ciclismo 1; <i>Media (DS)</i>	26,76 (4,12)	28,94 (7,87)	29,96 (4,69)	32,48 (7,58)	304,59 (61,65)	331,97 (51,56)
A las 8 semanas	Pre-ciclismo 2; <i>Media (DS)</i>	29,09 (5,08)	32,20 (6,89)	32,86 (6,12)	35,16 (7,61)	333,50 (78,79)	366,83 (66,99)
	Post-ciclismo 2; <i>Media (DS)</i>	26,06 (4,33)	32,58 (5,78)	28,91 (5,15)	32,58 (6,12)	289,66 (60,75)	362,75 (52,55)
Comparación por pares (Tiempo*Grupo)	PRE1-POST1; <i>p valor</i>	0,004	0,314	0,078	1,000	<0,001	1,000
	PRE1-PRE2; <i>p valor</i>	0,398	1,000	0,913	0,774	0,231	1,000
	PRE1-POST2; <i>p valor</i>	<0,001	0,678	0,006	1,000	0,005	1,000
	POST1-PRE2; <i>p valor</i>	0,822	0,509	0,274	0,631	0,173	0,159
	POST1-POST2; <i>p valor</i>	1,000	0,038	1,000	1,000	1,000	0,543
	PRE2-POST2; <i>p valor</i>	0,095	1,000	0,003	0,121	0,273	1,000
Prueba de efectos intrasujeto	Tiempo		0,001		<0,001		0,004
	Tiempo*grupo		0,003		0,090		0,003

GC, grupo control; GP, grupo pliometría, DS, desviación *standard*; PRE1, medición inicial previa a la prueba de ciclismo; POS1, medición inicial posterior a 40 km de ciclismo.; PRE2, medición a las 8 semanas previo a la prueba de ciclismo; POS2, medición a las 8 semanas posterior a 40 km de ciclismo.

Tras las ocho semanas, no se observaron diferencias significativas entre los diferentes grupos para el ritmo de carrera del primer kilómetro [$M=0,23$, $IC95\%=-0,13-0,60$, $t(10)=1,43$, $p=0,182$], tampoco en los 5 km [$M=0,15$, $IC95\%=-0,25-0,55$, $t(10)=0,845$, $p=0,418$]. Se encontró una disminución significativa del tiempo en el primer kilómetro ($p=0,015$) tras 8 semanas de entrenamiento pliométrico, pero no en los 5 km ($p=0,083$). Sin embargo, en aquellos triatletas que continuaron con su entrenamiento habitual, dichos cambios no se produjeron para el ritmo global en 1 km ($p=0,103$), ni en los 5 km ($p=0,155$) (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de la variación en el ritmo de carrera

		Medición inicial	Tras 8 semanas	<i>p</i> valor	<i>p</i> valor
Ritmo 1^{er} km	Grupo control	4,28 (0,52)	4,06 (0,40)	0,103	0,182
	Grupo pliometría	4,07 (0,07)	3,62 (0,26)	0,015	
Ritmo 5km	Grupo control	4,30 (0,49)	4,12 (0,32)	0,155	0,418
	Grupo pliometría	3,92 (0,32)	3,58 (0,39)	0,083	

Aquellos triatletas que conseguían hacer el primer kilómetro de carrera a pie a mayor velocidad, emplearon menos tiempo en recorrer los 5 km ($r=0,898$, $p<0,001$). Además, cuanto mayor es la fatiga neuromuscular inducida por el sector de ciclismo en la segunda transición para el test SJ, menor es el ritmo de carrera a pie, tanto para el primer kilómetro ($r=-0,605$, $p=0,037$) como para los 5 km ($r=-0,761$, $p=0,004$). Similarmente, cuanto mayor es la fatiga para el test CMJ, menor es el ritmo para el primer kilómetro ($r=-0,614$, $p=0,034$).

DISCUSIÓN

Los resultados del estudio indican que 40 km de ciclismo a alta intensidad inducen fatiga neuromuscular en la EEII. Cabe destacar que no se han encontrado otros estudios que analicen la fatiga inducida por dicha distancia (distancia olímpica en triatlón). En el estudio de García-Pinillos F et al. (24), se analiza la fatiga inducida por triatlón de distancia sprint (20 km de ciclismo) a través de los test SJ y CMJ, sin encontrar cambios significativos en los test tras el sector de ciclismo. No obstante, en dicho estudio los triatletas realizan el ciclismo con sus bicicletas conectadas a un rodillo, lo que podría ser mucho menos similar a las condiciones reales de competición. Por otro lado, en estudios realizados en competiciones de “medio ironman” y “ironman” se ve notablemente disminuida la capacidad neuromuscular de los músculos de la EEII para producir fuerza, medida a través del test CMJ, siendo la fatiga neuromuscular un factor limitante en el rendimiento (23, 26).

Se ha demostrado que el daño muscular es uno de los principales factores de la fatiga neuromuscular (23) y se ha relacionado mayormente con la carrera a pie de resistencia (27), posiblemente por la mayor exigencia de las acciones concéntricas y excéntricas frente al ciclismo (24). Esto podría indicar que es necesario sobrepasar un determinado umbral de intensidad para que el sector

de ciclismo induzca fatiga en la EEII. Una de las limitaciones fue que al contrario que en otros estudios, no se recogieron valores bioquímicos para describir la relación entre la fatiga en términos fisiológicos con la fatiga neuromuscular. Estudios previos analizan entre otras las concentraciones en sangre de mioglobina, creatinquinasa y lactato deshidrogenasa como marcadores en sangre del daño muscular, estableciéndose que los triatletas con mayor reducción en la altura de salto eran los que presentaban mayor cantidad de mioglobina y creatinquinasa después de un triatlón de “medio ironman” pero sin observarse variaciones significativas en dichos marcadores (23). De manera similar, otros estudios analizan a nivel fisiológico el sector de ciclismo (28), teniendo en cuenta los umbrales de lactato, la potencia generada y el esfuerzo percibido, lo que tampoco se tuvo en cuenta dadas las características del estudio y que el entrenamiento estaba más enfocado a segunda transición y la carrera a pie.

Este estudio piloto es pionero respecto a la valoración del efecto del entrenamiento pliométrico en la fatiga neuromuscular producida por la segunda transición. Los resultados sugieren que añadir ejercicios pliométricos al entrenamiento habitual mejoraba significativamente la altura de salto para el test SJ posterior al sector de ciclismo ($p=0,038$). Esto podría ser debido a que el test SJ era el primero en ser ejecutado inmediatamente tras la transición, y reflejaba en mayor medida la fatiga neuromuscular provocada por la misma. Además, se puede observar una tendencia del grupo con entrenamiento habitual a disminuir el rendimiento en los test de salto mientras que el grupo pliométrico tiende a mejorarlos. Cabe destacar que la primera medición se llevó a cabo antes de iniciar la temporada, pero durante la segunda medición los triatletas ya llevaban aproximadamente un mes de competiciones. Esto podría indicar que conforme avanza la temporada, los triatletas que realizan el entrenamiento pliométrico se adaptan mejor mientras que los que llevan a cabo el entrenamiento habitual tienden a sufrir más fatiga. Se ha sugerido que monitorizar las respuestas neuromusculares y fisiológicas puede ser una buena práctica para que los entrenadores realicen un seguimiento de la adaptación de los triatletas a lo largo de la temporada así como para individualizar la prescripción de entrenamiento (24).

El programa de entrenamiento pliométrico utilizado fue similar al de otros estudios (16,20,22). En el estudio de Saunders PU et al. (16), realizado en corredores de media y larga distancia altamente entrenados, no reportan cambios significativos en los test de potencia realizados entre el grupo con pliometría y el grupo control. Por su parte, Giovanelli N et al. (22), tampoco encuentran cambios significativos en las variables de potencia muscular tras un programa de entrenamiento pliométrico de 12 semanas de duración en corredores de resistencia. Ambos autores lo relacionan con un volumen/intensidad de trabajo insuficiente. A pesar que se combinó la pliometría con ejercicios con peso externo dos de las tres sesiones propuestas, podría no haber sido suficiente para reportar cambios mayores, ya que otros autores con cargas más altas de trabajo sí que reportaron diferencias significativas en los resultados de potencia muscular (29,30). No obstante, en ambos estudios al igual que en el presente trabajo, los valores de potencia muscular tienden a mejorar en el grupo con entrenamiento pliométrico frente al grupo control (16,22),

lo que indica que se debería hacer un seguimiento más largo en el tiempo para observar la evolución de dichos valores.

Se reportó una disminución significativa del tiempo en el primer kilómetro en el grupo con entrenamiento pliométrico frente al grupo con entrenamiento habitual tras las ocho semanas ($p=0,083$), pero no para los 5 km. Esto contrasta con los resultados de Paavolainen L et al. (29), que hallan cambios significativos en el rendimiento para los 5 km tras un programa de entrenamiento pliométrico. Aunque, su programa de intervención fue algo más intenso ya que se realizaban mayor número de saltos por sesión, fue llevado a cabo en corredores de larga distancia altamente entrenados en periodo de post-competición (29), lo que podría explicar que el entrenamiento más específico en ese momento de la temporada y en atletas de alto nivel generase cambios más significativos.

Hay que destacar que en el presente estudio se realiza una sesión de pliometría semanal en condiciones de fatiga, es decir, justo después del entrenamiento de ciclismo. No se han encontrado estudios que utilicen la misma metodología. Por su parte, Hue et al. (21), realizan un estudio con triatletas para valorar la eficacia del entrenamiento combinado de ciclismo y carrera a pie. Dicho entrenamiento consiste en una sesión semanal de bloques cortos de ciclismo-carrera a pie, frente al entrenamiento habitual de las dos disciplinas por separado. De manera similar al presente estudio, reportan cambios significativos para la mejora de la transición entre las dos disciplinas, traducido en una mejora del ritmo de carrera durante los primeros 333 m después del sector de ciclismo (21). Esto puede sugerir que aquellas estrategias de entrenamiento orientadas de una manera más específica a mejorar la segunda transición, como puede ser la pliometría en condiciones de fatiga o la combinación de las dos disciplinas en una misma sesión, tienen mayor efecto positivo sobre los primeros minutos de la carrera a pie.

Otro hallazgo relevante fue que cuanto mayor es la fatiga neuromuscular para el test SJ, menor es el ritmo de carrera a pie, tanto para el primer kilómetro como para los 5 km y de manera similar, cuanto mayor es la fatiga para el test CMJ, menor es el ritmo en el primer kilómetro. Lo que podría indicar una relación entre las condiciones de fatiga neuromuscular en las que los triatletas realizan la segunda transición y el rendimiento de la carrera a pie posterior, subrayando la importancia de planificar entrenamientos específicos para mejorar dicha transición. Se requieren más estudios para determinar dicha relación y analizar estrategias dirigidas a mejorar las condiciones de fatiga inducidas por el sector de ciclismo. Por otro lado, se observó que aquellos triatletas que conseguían hacer el primer kilómetro de carrera a pie a mayor velocidad, emplearon menos tiempo en recorrer los 5 km. Esto podría indicar una relación entre la mejora del rendimiento del primer kilómetro con la mejora del rendimiento de la carrera a pie en conjunto, aunque contrasta con los datos previos de que alrededor de un 70% de los triatletas corren a velocidades inferiores durante el primer kilómetro en comparación a su velocidad normal en los 10 km (8).

Las características del estudio dificultaron el acceso a un tamaño muestral mayor, siendo necesarios estudios futuros con mayor número de participantes. No obstante, los estudios previos de Saunders PU et al. (16) y de Hue et al. (22),

con una metodología de intervención y grupo de población similar a las del presente estudio, manejaban también un tamaño muestral entre 12 y 15 sujetos. Por otro lado, el presente estudio se llevó a cabo con triatletas moderadamente entrenados, que son más susceptibles de sufrir alteraciones mecánicas en el patrón de carrera tras el sector de ciclismo frente a triatletas de élite (2,10). De la misma manera, se necesitan más estudios para determinar si el sector de ciclismo es capaz de inducir fatiga neuromuscular en la EEII en triatletas de élite. En el presente estudio ambos grupos contaron con la presencia de una mujer, cabe destacar que dentro de los estudios analizados únicamente en el de Bonacci J et al. (20) se encuentra presencia de mujeres dentro de la muestra. De igual forma, dado que los grupos muestran homogeneidad en los datos basales pre-intervención, no se realiza distinción entre sexos (20), siendo necesarios estudios futuros en los que se tenga en cuenta mayor presencia de mujeres.

Actualmente, no se conoce si una mayor fatiga neuromuscular puede predecir o ser resultado de lesión-neuromuscular. Se ha sugerido una relación entre la alteración biomecánica del patrón de carrera posterior al sector de ciclismo y mayor riesgo de lesión (2), siendo el entrenamiento pliométrico eficaz para mejorar dicha alteración en aquellos triatletas cuyo patrón estaba alterado tras la segunda transición (20). Los estudios que establecen la relación entre dicha alteración biomecánica y la fatiga inducida por la segunda transición también son limitados. Por su parte, Chapman AR et al. (9) afirman que la alteración biomecánica de la carrera a pie tras la segunda transición no está vinculada con la fatiga neuromuscular. No obstante, hay que tener en cuenta que realizan el análisis tras 20 minutos de ciclismo con las bicicletas conectadas al rodillo (9), que cómo se ha explicado antes, podría no ser suficiente para inducir fatiga neuromuscular.

CONCLUSIONES

El presente estudio parece indicar que 40 km de ciclismo a alta intensidad induce fatiga neuromuscular en la extremidad inferior. El conocimiento de la fatiga neuromuscular causada por el sector de ciclismo en triatlón de distancia olímpica es un requisito importante para diseñar planes de entrenamiento con el objetivo de disminuir la misma, y por lo tanto, maximizar el rendimiento deportivo. También muestra que el entrenamiento pliométrico parece ser más efectivo que el entrenamiento habitual para mejorar la fatiga neuromuscular inducida por la segunda transición y en el ritmo de carrera del primer kilómetro después de la transición, lo que además, podría suponer un ritmo de carrera global más alto y por lo tanto un mayor rendimiento. Por todo ello, se sugiere que el entrenamiento pliométrico puede ser una de las múltiples opciones utilizadas en la mejora del rendimiento y en la prevención o readaptación de las lesiones en triatlón. No obstante, se sabe que son hallazgos preliminares y no se sugiere que la corrección de la fatiga neuromuscular de manera aislada pueda prevenir lesiones por sobreuso en triatlón, ya que la etiología de las mismas es multifactorial. Se necesitan más estudios que analicen los efectos del entrenamiento pliométrico en triatlón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.Cala A, Veiga S, García A, Navarro E. Previous cycling does not affect running efficiency during a triathlon World Cup competition. *J Sports Med Phys Fitness*. 2009;49(2):152-8.
- 2.Rendos NK, Harrison BC, Dicharry JM, Sauer LD, Hart JM. Sagittal plane kinematics during the transition run in triathletes. *J Sci Med Sport*. 2013;16(3):259-65. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.06.007>
- 3.Bonacci J, Saunders PU, Alexander M, Blanch P, Vicenzino B. Neuromuscular control and running economy is preserved in elite international triathletes after cycling. *Sport Biomech*. 2011;10(1):59-71. <https://doi.org/10.1080/14763141.2010.547593>
- 4.Vleck VE, Bürgi A, Bentley DJ. The Consequences of Swim, Cycle, and Run Performance on Overall Result in elite olympic distance triathlon. *Int J Sport Med*. 2006;27(1):43-8. <https://doi.org/10.1055/s-2005-837502>
- 5.Millet GP, Vleck VE. Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. *Br J Sport Med*. 2000;34(5):384-90. <https://doi.org/10.1136/bjism.34.5.384>
- 6.Burns J, Keenan A, Redmond A. Foot Type and Overuse Injury in Triathletes. *J Am Pediatr Med Assoc*. 2005;95(3):235-41. <https://doi.org/10.7547/0950235>
- 7.Heiden T, Burnett A. The Effect of Cycling on Muscle Activation in the Running Leg of an Olympic Distance Triathlon. *Sport Biomech*. 2003;2(1):35-49. <https://doi.org/10.1080/14763140308522806>
- 8.Millet GP, Millet GY, Hofmann MD, Candau RB. Alterations in Running Economy and Mechanics After Maximal Cycling in Triathletes: Influence of Performance Level. *Int J Sport Med*. 2000;21(2):127-32. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8866>
- 9.Chapman AR, Vicenzino B, Hodges PW, Blanch P, Hahn AG, Milner TE. A protocol for measuring the direct effect of cycling on neuromuscular control of running in triathletes. *J Sports Sci*. 2009;27(7):767-82. <https://doi.org/10.1080/02640410902859100>
- 10.Millet GP, Millet GY, Candau RB. Duration and seriousness of running mechanics alterations after maximal cycling in triathletes. Influence of the performance level. *J Sports Med Phys Fitness*. 2001;41(2):147-53. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8866>
- 11.Bonacci J, Blanch P, Chapman AR, Vicenzino B. Altered movement patterns but not muscle recruitment in moderately trained triathletes during running after cycling. *J Sports Sci*. 2010;28(13):1477-87. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.514279>
- 12.Walsh JA, Stamenkovic A, Lepers R, Peoples G, Stapley PJ. Neuromuscular and physiological variables evolve independently when running immediately after cycling. *J Electromyogr Kinesiol*. 2015;25(6):887-93. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2015.10.008>
- 13.Millet GP, Bentley DJ. The Physiological Responses to Running After Cycling in Elite Junior and Senior Triathletes. *Int J Sport Med*. 2004;25(3):191-7. <https://doi.org/10.1055/s-2003-45259>
- 14.Etxebarria N, Hunt J, Ingham S, Ferguson R. Physiological assessment of

- isolated running does not directly replicate running capacity after triathlon-specific cycling. *J Sports Sci.* 2014;32(3):229-38. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.819520>
15. Bonacci J, Chapman A, Blanch P, Vicenzino B. Neuromuscular Adaptations to Training, Injury and Passive Interventions Implications for Running Economy. *Sport Med.* 2009;39(11):903-21. <https://doi.org/10.2165/11317850-000000000-00000>
 16. Saunders PU, Telford RD, Pyne DB, Peltola EM, Cunningham RB, Gore CJ, Hawley JA. Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *J Strength Cond Res.* 2006;20(4):947-54. <https://doi.org/10.1519/00124278-200611000-00036>
 17. Balsalobre-Fernández C, Santos-Concejero J, Grivas JV. Effects of strength training on running economy in highly trained runners: a systematic review with meta-analysis of controlled trials. *J Strength Cond Res.* 2016;30(8):2361-8. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001316>
 18. Hill J, Leiszler M. Review and Role of Plyometrics and Core Rehabilitation in Competitive Sport. *Curr Sports Med Rep.* 2011;10(6):345-51. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31823b3b94>
 19. Barnes KR, Kilding AE. Strategies to improve running economy. *Sport Med.* 2015;45(1):37-56. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0246-y>
 20. Bonacci J, Green D, Saunders PU, Franettovich M, Blanch P, Vicenzino B. Plyometric training as an intervention to correct altered neuromotor control during running after cycling in triathletes: A preliminary randomised controlled trial. *Phys Ther Sport.* 2011;12(1):15-21. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2010.10.005>
 21. Hue O, Valluet A, Blanc S, Hertogh C. Effects of multicycle-run training on triathlete performance. *Res Q Exerc Sport.* 2002;73(3):289-95. <https://doi.org/10.1080/02701367.2002.10609022>
 22. Giovanelli N, Taboga P, Rejc E, Lazzer S, Giovanelli N, Taboga P. Effects of strength, explosive and plyometric training on energy cost of running in ultra-endurance athletes. *Eur J Sport Sci.* 2017;17(7):805-813. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1305454>
 23. Del Coso J, González-Millán C, Salinero JJ, Abián-Vicén J, Soriano L, Garde S, Pérez-González B. Muscle damage and its relationship with muscle fatigue during a half-iron triathlon. *PLoS One.* 2012;7(8):e43280. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043280>
 24. García-Pinillos F, Cámara-Pérez JC, González-Fernández FT, Párraga-Montilla JA, Muñoz-Jiménez M, Latorre-Román P. Physiological and neuromuscular response to a simulated sprint-distance triathlon: effect of age differences and ability level. *J Strength Cond Res.* 2016;30(4):1077-84. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001172>
 25. Del Coso J, Pérez-López A, Abian-Vicen J, Salinero JJ, Lara B, Valadés D. Enhancing Physical Performance in Male Volleyball Players With a Caffeine-Containing Energy Drink. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(6):1013-8. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0448>
 26. Mueller SM, Knechtle P, Knechtle B, Toigo M. An Ironman triathlon reduces neuromuscular performance due to impaired force transmission and reduced leg stiffness. *Eur J Appl Physiol.* 2015;115(4):795-802. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-3051-2>

27. Millet GY, Tomazin K, Verges S, Vincent C, Bonnefoy R, Boisson RC et al. Neuromuscular consequences of an extreme mountain ultra-marathon. *PLoS One*. 2011;6(2):e17059. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017059>
28. Ramos-Campo DJ, Martínez F, Esteban P, Rubio-Arias JA, Jiménez JF. Entrenamiento en hipoxia intermitente y rendimiento ciclista en triatletas. *Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte*. 2016; 16(61):139-156. <Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista61/artefectos677.htm> <https://doi.org/10.15366/rimcafd2016.61.011>
29. Paavolainen L, Häkkinen K, Hämmäläinen I, Nummela A, Rusko H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol*. 1999;86(5):1527-33. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.5.1527>
30. Hoff J, Gran A, Helgerud J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sport*. 2002;12(5):288-95. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2002.01140.x>

Número de citas totales / Total references: 30 (100%)

Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 1(3,33%)

[Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte](#) - vol. 20 - número 79 - ISSN: 1577-0354