



Rendimiento en natación después de un protocolo de entrenamiento excéntrico de posactivación

Francisco Cuenca-Fernández* ^{FC} ^{ID}, Ana Gay ^{AG} ^{ID}, Jesús Ruiz-Navarro ^{JR} ^{ID}, Esther Morales-Ortiz ^{EM} ^{ID}, Gracia López-Contreras ^{GL} ^{ID} y Raúl Arellano ^{RA} ^{ID}

Aquatics Lab, Departamento de Educación Física y Deportiva, Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Granada, España



Citación

Cuenca-Fernández, F., Gay, A., Ruiz-Navarro, J., Morales-Ortiz, E., López-Contreras, G., & Arellano, R. (2020). Swimming Performance After an Eccentric Post-Activation Training Protocol. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 140, 44-51. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2020/2\).140.07](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2020/2).140.07)

Resumen

Aplicar ejercicios de acondicionamiento máximo mejora de forma temporal la contractilidad muscular gracias a la potenciación estimulada (PAPE). Sin embargo, se desconoce si el sistema puede mejorar su adaptabilidad al procedimiento mediante un entrenamiento basado en los propios ejercicios de acondicionamiento. Este estudio puso a prueba un protocolo de PAPE en 14 nadadores antes y después de un periodo de entrenamiento. Inicialmente, se evaluó la fuerza de los participantes tanto en extremidades inferiores como superiores. Posteriormente, se estudiaron los efectos de dos tipos de calentamiento en una prueba de natación de 50 metros, uno de ellos estándar y otro de PAPE que incluía repeticiones máximas ejecutadas en máquinas de entrenamiento excéntrico. A continuación, se aplicó un protocolo de entrenamiento de 6 semanas (2 días/semana), en el que se llevaron a cabo repeticiones máximas ejecutadas en máquinas de entrenamiento excéntrico y se volvieron a estudiar los efectos, tanto en los test de fuerza como tras la realización de ambos calentamientos. El rendimiento mejoró a los 15 m tras el PAPE en comparación con la situación estándar, pero no en las marcas posteriores. Tras las 6 semanas, se registraron incrementos en la fuerza de extremidades inferiores (14.46%) y superiores (12.40%). Después de aplicar el calentamiento de PAPE, aumentó la velocidad de despegue en la salida de natación y mejoró el tiempo y la velocidad de nadar a los 25, 40 y 50 metros, lo que sugiere que los participantes fueron capaces de alcanzar un mejor balance entre fatiga y potenciación.

Palabras clave: natación de velocidad, calentamiento, potencia, entrenamiento en seco, fuerza

Editado por:
© Generalitat de Catalunya
Departament de la Presidència
Institut Nacional d'Educació
Física de Catalunya (INEFC)

ISSN: 2014-0983

***Correspondencia:**
Francisco Cuenca-Fernández
cuenca@ugr.es

Sección:
Entrenamiento deportivo

Recibido:
7 de mayo de 2019

Aceptado:
8 de octubre de 2019

Publicado:
1 de abril de 2020

Portada:
Nuevos deportes olímpicos en
Tokio 2020. Karate.
Foto: Haifa, Israel; 11.7.2017:
competiciones de karate durante
los XX Juegos Macabeos en el
Romema Arena.

Introducción

Cualquier incremento en la velocidad o acciones llevadas a cabo en una prueba de natación requiere un incremento proporcional en la fuerza y potencia muscular aplicadas en el agua o en el poyete, así como un incremento en la capacidad y eficiencia de los sistemas de producción de energía para mantener esos requerimientos (Voronstov et al., 2011). Los músculos producen trabajo y efectúan movimientos articulares a través de contracciones que son caracterizadas por la producción de fuerza y de unos determinados cambios en su longitud en unos discretos intervalos de tiempo (Nasirzade et al., 2014), lo que sugiere la existencia de una relación lógica entre las habilidades de fuerza y el rendimiento de los nadadores.

En la competición de alto nivel, la diferencia entre ganar o perder en una prueba a menudo se determina por una fracción de una diferencia porcentual en el rendimiento. Durante décadas, entrenadores y científicos han tratado de preparar a los atletas para obtener el máximo rendimiento de sus habilidades durante la competición. Un aspecto de esa preparación incluye el calentamiento y todas esas actividades realizadas en los 5-15 minutos previos de una prueba, ya que pueden jugar un aspecto crucial en el rendimiento. Específicamente, la realización de contracciones musculares breves a una intensidad prácticamente máxima, han sido identificadas como precursoras de un efecto de mejora en la capacidad contráctil del músculo, tanto en fuerza como en velocidad (Gilbert y Less, 2005; Seitz et al., 2016). A este efecto se le ha conocido como potenciación posactivación estimulada (PAPE) (Cuenca-Fernández et al., 2017).

Un posible mecanismo detrás del PAPE podría ser el efecto positivo del incremento de la temperatura muscular junto con el aumento del volumen acuoso intracelular en el acoplamiento y adhesión de los puentes cruzados que posibilitan la contracción muscular (Blazevich y Babault, 2019). Por otra parte, el efecto del PAPE también podría deberse al aumento de la activación neuronal que se ha detecta a lo largo de la espina dorsal tras cualquier tipo de contracción muscular intensa (Chiu et al., 2004). Por último, el efecto del PAPE también podría deberse a la fosforilación de la cadena ligera de miosina (Baudry y Dechateau, 2007a; Grange et al., 1998). Tras una contracción muscular máxima, existe un aumento de los iones de calcio liberados en el retículo sarcoplasmático, los cuales son los encargados de adherirse a la tropomiosina y llevar a cabo la rotación del filamento fino en el que se encuentra cubierta la actina. Mediante esta rotación, actina y miosina quedan en contacto directo, con lo que es posible que se produzcan los puentes cruzados entre estas dos moléculas y por consiguiente, la

contracción muscular, gracias al movimiento de empuje que produce la miosina por su propia naturaleza. Una vez llevado a cabo ese movimiento de empuje, la miosina necesita separarse de la actina y volver a pivotar su cabeza hacia una posición distal a la que adherirse con una nueva molécula de actina. Sin embargo, para que se produzca este efecto, dicha proteína necesita ser fosforilada, o lo que es lo mismo, recargada o impulsada energéticamente para que ese movimiento de rotación distal se produzca en el interior de la fibra muscular como resultado de una reacción químico-fisiológica, pero solo cuando el estímulo que ha provocado la contracción muscular previa es lo suficientemente intenso, se produce este efecto de fosforilación, ya que el organismo lo interpreta como un mecanismo de respuesta ante los indicios de fatiga ocasionados (Baudry y Duchateau, 2007b; Grange et al., 1998).

Los beneficios del PAPE son más efectivos cuando se proporciona un periodo de descanso entre el ejercicio de acondicionamiento y la actividad competitiva (Seitz et al., 2015). Razonamiento que tiene sentido si atendemos al modelo propuesto por Sale (2004), ya que fatiga y potenciación son dos respuestas inherentes a la actividad contráctil y el predominio de una sobre la otra puede tener una influencia crucial en el rendimiento. En deportistas entrenados, ese estado de fatiga puede disiparse relativamente rápido, mientras que el estado de fosforilación, puede durar activo hasta 5-8 minutos a la espera de que sea requerida por el organismo la citada contracción muscular máxima. Por tanto, encontrar la ventana de oportunidad en la que realizar la actividad competitiva con ausencia de fatiga, mientras que el sistema muscular permanece en estado potenciado es fundamental para obtener el máximo rendimiento del deportista (Tillin y Bishop, 2009), tarea que convierte al PAPE en un método con aplicación y respuestas altamente individualizadas y condicionadas al estado físico de los deportistas a los que se aplica.

Uno de los principios del PAPE es proporcionar un ejercicio de acondicionamiento lo más parecido posible a la acción real (Seitz et al., 2016; Tillin y Bishop, 2009). Por tanto, si el movimiento del cuerpo es el resultado de una cuidadosa y particular secuencia de activación de determinadas unidades motoras para producir la fuerza y los movimientos requeridos para realizar un determinado gesto, entonces es una tarea importante identificar el ejercicio biomecánicamente más óptimo para estimular las unidades motoras que vamos a requerir para nuestra tarea específica, en este caso la natación. Un estudio (Naczka et al., 2016), en el que se analizaron las relaciones existentes entre el entrenamiento de fuerza específico mediante una máquina de

entrenamiento inercial y el rendimiento en natación, obtuvo mejoras significativas en las pruebas de 50 y 100 metros, y estas se asociaron a las ganancias de fuerza y potencia ocasionadas por el entrenamiento, por lo que sirvió de inspiración para aplicar los protocolos que se presentan a continuación.

Este estudio experimentó los efectos de un calentamiento estándar sobre el rendimiento en una prueba de natación de velocidad, con respecto a un calentamiento de PAPE que incluía ejercicios específicos de fuerza máxima ejecutados en una máquina de entrenamiento excéntrico. En una segunda fase, los participantes fueron sometidos a un entrenamiento durante 6 semanas que incluía los mismos ejercicios utilizados en la primera fase, y se volvieron a estudiar los efectos tras un calentamiento estándar y tras el calentamiento de PAPE. Se estudiaron, tanto al inicio del experimento como al final de las 6 semanas, los valores de fuerza de las extremidades superiores e inferiores de los participantes.

Metodología

Muestra

En el estudio participaron 14 nadadores entrenados (7 hombres y 7 mujeres), que presentaron consentimiento informado, y aquellos nadadores menores de 18 años también proporcionaron permiso parental. Sus características físicas fueron: edad, 18.37 ± 1.41 ; peso, 72.46 ± 8.97 kg; y altura, 1.78 ± 0.11 m. Todos los nadadores fueron reclutados siempre y cuando hubieran tenido al menos 5 años de participación en competición federada. Usualmente llevaban un régimen de entrenamiento polarizado, el cual permitía el desarrollo de potencia y velocidad disminuyendo el volumen de entrenamiento aeróbico (Hydren y Cohen, 2015).

Ninguno de los nadadores tomó sustancias estupefacientes o que pudieran incrementar su rendimiento. Los test fueron planificados para que realizarlos justo antes a la hora de su entrenamiento diario y se pidió a los participantes que evitaran cualquier actividad física varias horas antes. Todos los procedimientos fueron llevados a cabo de acuerdo con la Declaración de Helsinki con respecto a la investigación en humanos, y el estudio recibió la aprobación del Comité de Ética de la Universidad, con el n° 852.

Enfoque experimental

Se utilizó un diseño de medidas repetidas para comparar cuatro situaciones diferentes. En primer lugar, se eva-

luó el estado físico de los participantes y posteriormente se estudiaron los efectos que se producían en el rendimiento en una prueba de 50 metros tras la realización de un calentamiento estándar y tras la realización de un calentamiento de PAPE. En segundo lugar, se aplicó un entrenamiento de 6 semanas y se volvieron a estudiar los efectos tras un calentamiento estándar y tras un calentamiento de PAPE.

El estado físico de los participantes se evaluó mediante un test de repeticiones máximas realizado tanto en las extremidades inferiores como en las superiores. En ambos test se recogió la máxima carga capaz de ser movilizadora por los participantes y se obtuvieron las curvas de potencia y velocidad expresadas al 25, 50, 75 y 100 % de esa resistencia máxima (RM) obtenida por los participantes (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010).

El calentamiento de PAPE se realizó a través de un protocolo de cuatro repeticiones de ejercicios de los miembros inferiores y superiores en una máquina de entrenamiento excéntrico adaptada (YoYo™ Technology AB, Stockholm, Sweden). Los ejercicios para extremidades inferiores consistieron en la realización del movimiento de flexo-extensión que se realiza en la salida de natación con la misma posición y colocación de las piernas (de forma asimétrica) que los nadadores establecían en el bloque de salida (figura 1). El ejercicio de acondicionamiento para extremidades superiores consistió en la realización de movimientos de tracción de brazos similar al movimiento propio de las brazadas

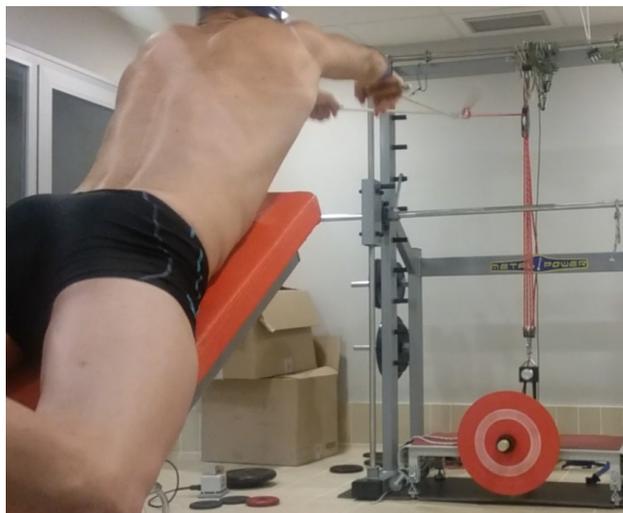
Figura 1

Inducción de PAPE para las extremidades inferiores en la máquina de entrenamiento excéntrico nHANCE™ Squat Ultimate (YoYo™ Technology AB, Stockholm, Sweden)



Figura 2

Inducción de PAPE para las extremidades superiores en una máquina de entrenamiento excéntrico nHANCE™ Squat Ultimate (YoYo™ Technology AB, Stockholm, Sweden) adaptada



de natación, reclinados en un banco de entrenamiento desde el que traccionaban de unos agarres conectados mediante cuerdas a la máquina de entrenamiento excéntrico (figura 2).

Procedimiento

El contexto experimental fue una piscina cubierta de 25 metros (con temperatura del agua y del aire a 28.1°C y 29.0°C, respectivamente). Cada nadador realizó individualmente 3 protocolos en 3 días separados (un protocolo por día). En la primera sesión, se realizó el análisis de fuerza mediante un test de RM en un pórtico de entrenamiento, de acuerdo a las guías propuestas por el American College of Sports Medicine (Ferguson, 2014). Al pórtico se conectó un dinamómetro isoinercial T-Force (Ergotech, Murcia, España), el cual transmitió directamente a un ordenador todos los valores registrados durante los test de fuerza. Los ejercicios realizados en el test de fuerza estuvieron basados en el estudio de Cuenca-Fernández et al. (2018), que incluían: 1) Zancadas en un pórtico de entrenamiento con la misma posición y colocación asimétrica de las piernas que los nadadores establecían en el bloque de salida, y 2) Ejercicios realizados en un pórtico de entrenamiento adaptado mediante unas poleas que permitían realizar movimientos de tracción de brazos similar a las brazadas de natación.

En una segunda sesión, se marcó a los nadadores puntos de referencia (en rotulador negro), en los puntos articulares de la cadera, rodilla, tobillo, mano y codo. Posteriormente, los nadadores fueron informados sobre

el protocolo de test, que incluía la realización de un calentamiento, un periodo de descanso y por último, la realización de una prueba de 50 metros a máxima intensidad. Cada test solo fue realizado una vez para simular las condiciones de competición de “un intento” (reglas FINA). A lo largo de la sesión, un colaborador controló el tiempo de descanso de cada participante. Un estímulo sonoro, similar al que se usa en competición, fue utilizado como señal de salida. En cada prueba, se pidió a los participantes que se subieran al bloque de salida. Una vez en posición, se indicó la señal de preparados y seguidamente se emitió la señal de salida.

Primero, todos los nadadores realizaron un protocolo de calentamiento estándar (SWU), que consistió en 400 metros de estilos variados y dos salidas desde el bloque. Después de nadar, los participantes comenzaron un protocolo de estiramiento dinámico que consistió en ejercicios de la musculatura más relacionada con los saltos y los tirones de brazos. Cada ejercicio fue realizado 10 veces y en total, todo el set se repitió dos veces. En todo momento, el protocolo de estiramientos dinámicos se realizó bajo supervisión de un colaborador, el cual se aseguró que no se excedieran los 4 minutos y que se permitieran al menos 6 minutos de descanso antes de la realización del test de 50 metros a máxima intensidad. Todos los test fueron grabados con varias cámaras colocadas a lo largo de la piscina con el objetivo de obtener las variables cinemáticas relacionadas con la prueba.

Dos horas más tarde, los nadadores realizaron el SWU seguido de la inducción de PAPE a través de un protocolo propuesto por Cuenca-Fernández et al. (2018), que consistió en la realización de cuatro repeticiones a intensidad máxima de ejercicios de los miembros inferiores y superiores en una máquina de entrenamiento excéntrico adaptada (YoYo™ Technology AB, Stockholm, Sweden). A este calentamiento se le denominó EWU.

Durante las 6 semanas siguientes, se sometió a los nadadores a un protocolo de entrenamiento de 2 días por semana en el que se llevaron a cabo exactamente los mismos ejercicios realizados en los calentamientos de PAPE. A la llegada, los nadadores realizaban el calentamiento de 400 metros de estilo variado seguido del protocolo de estiramiento dinámico y a continuación se realizaban los ejercicios en las máquinas de entrenamiento excéntrico. Al finalizar las 6 semanas, se volvieron a efectuar los test de fuerza, así como las pruebas de natación tras un calentamiento estándar y de PAPE, siguiendo los mismos protocolos y metodologías mencionados anteriormente.

Resultados

Se obtuvo estadística descriptiva y todos los datos fueron expresados como el Promedio \pm DE al intervalo de confianza (95 %) (SPSS Version 21.0, IBM, Chicago, IL, USA). Tras el test de normalidad de Saphiro-Wilk, se aplicaron análisis ANOVA de medidas repetidas de una vía respecto a los cuatro protocolos para determinar diferencias en las variables cinéticas y cinemáticas entre e intra los participantes. Para detectar diferencias, el nivel alfa fue fijado al nivel $< .05$. Las comparaciones por pares se realizaron con el método de Bonferroni para controlar errores de tipo 1.

Se obtuvo una mejora en los test de fuerza realizados tras las 6 semanas de entrenamiento, especialmente significativa para las extremidades inferiores ($p < .01$), donde los valores de RM de los participantes mejoraron de 76.53 ± 21.97 kg, hasta 89.46 ± 24.78 kg, tras las 6 semanas de entrenamiento. Para las extremidades superiores, los valores también mejoraron ($p < .05$), de 34.34 ± 7.01 kg a 39.20 ± 7.86 kg (figura 3).

Las curvas de potencia-velocidad obtenidas en los test de fuerza mostraron una mejoría en la ejecución de los ejercicios tanto en potencia como en velocidad, especialmente significativa en los valores de potencia de las extremidades inferiores (figura 4, arriba), ejecutadas al 25 ($p < .05$), 50 ($p < .01$), 75 ($p < .05$) y 100 % de la RM ($p < .05$). Sin embargo, los valores obtenidos en las extremidades superiores se mantuvieron iguales tras las 6 semanas de entrenamiento en las ejecuciones al 25, 50 y 75 % de la RM y estos valores incluso fueron peores al 100 % de la RM (figura 4, gráfico inferior).

El análisis reveló diferencias en tiempo y velocidades de nadar en 15 metros tras el calentamiento de PAPE en comparación con el calentamiento estándar (T15: $F_{3,48} = 5.073$; $p = .028$; V15: $F_{3,48} = 5.082$; $p = .031$), pero no hubo diferencias ni en el resto de la prueba ni tras las 6 semanas de entrenamiento, tanto después del calentamiento estándar como después del calentamiento de PAPE (tabla 1). Se obtuvieron diferencias en los tiempos y velocidades de nadar tras aplicar el PAPE después de las 6 semanas de entrenamiento, en comparación con el calentamiento estándar tras las 6 semanas de entrenamiento en las marcas de 40 y 50 metros (T40_PAPE: $F_{3,48} = 4.625$; $p = .045$; V40_PAPE: $F_{3,48} = 4.028$; $p = .039$; T50_PAPE: $F_{3,48} = 5.795$; $p = .024$; V50_PAPE: $F_{3,48} = 4.982$; $p = .033$). Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas a los 25 metros pese a que los valores también fueron mejores tras el PAPE (tabla 1).

Los valores de velocidad de despegue registrados en la cadera durante el vuelo fueron diferentes tras aplicar el protocolo de PAPE tras las 6 semanas de entrenamiento, en comparación con los valores obtenidos tras el

Figura 3

Valores de fuerza máxima registrados en el test de repeticiones máximas (RM), para las extremidades inferiores y superiores. Al comienzo del experimento (PRE) y tras las 6 semanas de entrenamiento excéntrico (POST)

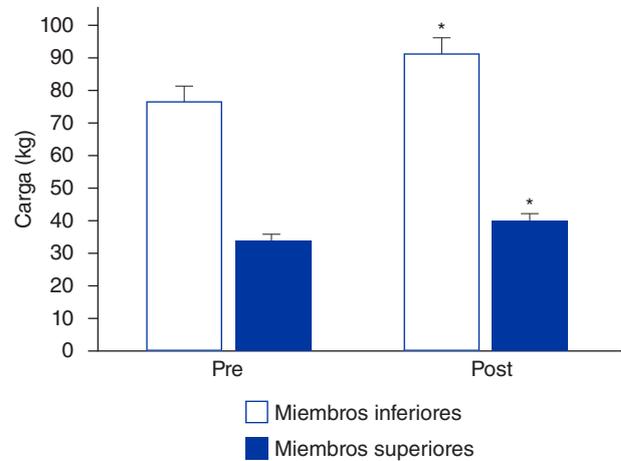


Figura 4

Curvas de potencia-velocidad obtenidas en los test de fuerza realizados en extremidades inferiores (arriba) y extremidades superiores (abajo), al comienzo del experimento y tras las 6 semanas de entrenamiento. Valores expresados al 25, 50, 75 y 100 % de la RM de los participantes

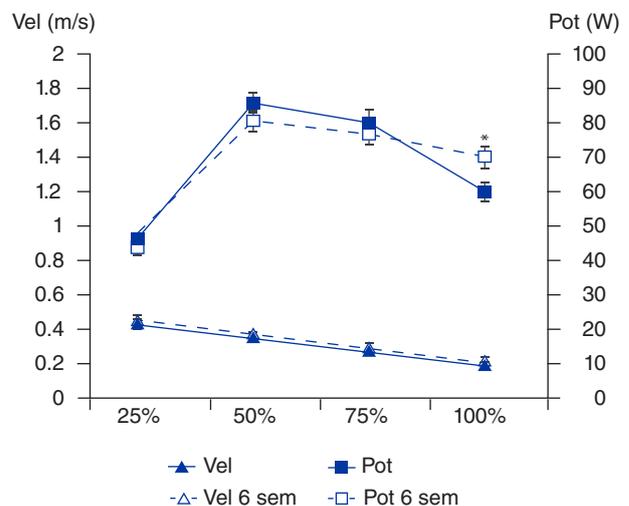
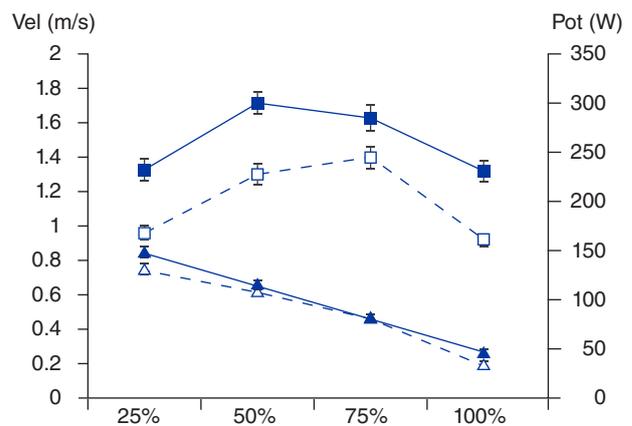


Tabla 1

Promedio y desviación estándar de los tiempos y velocidades de nadar (15, 25, 40 y 50 m), y de la salida de natación (desde señal de salida hasta el primer contacto de las manos con el agua)

	Pretest			Pretest + PAPE				Postest (6 sem.)				Postest (6 sem.) + PAPE				
	T	DE	Vel	DE	T	DE	Vel	DE	T	DE	Vel	DE	T	DE	Vel	DE
15 m	7.30	± 0.50	1.71	± 0.13	7.12*	± 0.90	2.17*	± 1.62	7.37	± 0.55	1.70	± 0.13	7.34	± 0.57	1.70	± 0.12
25 m	13.51	± 0.85	1.53	± 0.10	13.57	± 1.03	1.50	± 0.13	13.74	± 0.96	1.52	± 0.10	13.68	± 1.00	1.53	± 0.13
40 m	21.76	± 1.38	1.64	± 0.10	21.95	± 1.64	1.61	± 0.12	22.14	± 1.53	1.61	± 0.13	21.97#	± 1.62	1.65#	± 0.13
50 m	27.73	± 1.72	1.59	± 0.09	28.08	± 2.18	1.58	± 0.17	28.31	± 2.03	1.54	± 0.14	27.98#	± 2.10	1.59#	± 0.13
Salida	0.90	± 0.09	3.28	± 0.39	0.91	± 0.10	3.27	± 0.36	0.91	± 0.08	3.29	± 0.39	0.92	± 0.11	3.31†	± 0.33

* Diferencias con respecto al calentamiento estándar; # Diferencias con respecto al calentamiento estándar tras las 6 semanas de entrenamiento; † Diferencias con respecto al calentamiento PAPE tras las 6 semanas de entrenamiento.

calentamiento de PAPE al inicio del test ($F_{3,36} = 7.042$, $p = .045$). No hubo diferencias significativas para el tiempo de vuelo registrado durante el despegue en ninguno de los 4 protocolos (tabla 1).

Discusión

El primer objetivo de este estudio fue el de evaluar si el rendimiento muscular podía ser elevado después de haber realizado unos ejercicios de acondicionamiento de intensidad máxima. Los resultados mostraron que el rendimiento puede ser mejorado en el paso por 15 metros tras haber realizado un calentamiento basado en la PAPE. El segundo objetivo de estudio fue el de evaluar los efectos de ese mismo tipo de calentamiento tras haber realizado un entrenamiento de 6 semanas utilizando los mismos protocolos y los resultados demostraron que los participantes alcanzaron un mejor balance entre fatiga y potenciación. Además, este estudio también demostró que los participantes fueron capaces de mejorar sus valores de fuerza absoluta y relativa tras las 6 semanas de entrenamiento del protocolo de calentamiento.

En el estudio de Kilduff et al. (2011), fue el primer caso en que se aplicaron los protocolos de PAPE en salidas de natación de agarre en agujero. Se obtuvieron mejoras significativas en los picos de fuerza generados en el bloque de salida, sin embargo, no se obtuvo ninguna diferencia en el paso por 15 metros. Los nadadores en este estudio no experimentaron ningún cambio significativo en las variables recogidas en el bloque, aunque fueron capaces de alcanzar la marca de 15 metros en menos tiempo (tabla 1). De acuerdo con algunas autorías, es importante considerar la fase del bloque sobre la influencia en el rendimiento obtenido en los componentes posteriores a la salida de natación y por tanto, es importante para los nadadores optimizarla (Mason et al., 2007). Algunos estudios han demostrado la relación entre unas extremidades inferiores fuertes y un buen rendimiento en la salida; los

resultados sugieren que aquellos participantes que tienden a alcanzar mayores velocidades en las salidas de natación son aquellos que poseen mayores valores de fuerza absolutos y/o relativos en las extremidades inferiores (Béretic et al., 2013). Tras las 6 semanas de entrenamiento, los participantes obtuvieron una mejora en los test de fuerza, especialmente significativa en las extremidades inferiores (figura 3). Esto no provocó una mejora importante en la velocidad de despegue tras el calentamiento estándar, pero sí que lo hizo tras haberse aplicado el calentamiento de PAPE (tabla 1). Estos resultados estuvieron de acuerdo con el estudio de Cuenca-Fernández et al. (2015), donde se demostró que aquellos nadadores con mayor valor de fuerza relativa en las extremidades inferiores no solo eran capaces de ejecutar la salida de natación en mejores condiciones, sino que además eran capaces de reaccionar mejor a los protocolos de PAPE. Si los nadadores de este estudio fueron capaces de incrementar su valor de fuerza absoluta tras las 6 semanas de entrenamiento, entonces también lo hizo su valor de fuerza relativa y por tanto, su capacidad para reaccionar mejor ante los protocolos de PAPE.

En cuanto a la fase de nadar, el menor tiempo en la marca de 15 metros solo se obtuvo tras el PAPE; sin embargo el menor tiempo alcanzado en 50 metros se produjo tras la situación estándar, lo que sugiere que tras el PAPE se produjo un deterioro en la velocidad del nadador (tabla 1). La fatiga y la potenciación coexisten como respuestas del PAPE, lo que representa que se generan respuestas muy individualizadas en función del nivel o del estado físico del atleta, y que aún es necesario encontrar una intensidad o un periodo de descanso más adecuado para los ejercicios de acondicionamiento aplicados a las extremidades superiores. En el estudio de Naczka et al. (2016), se aplicó un entrenamiento específico durante 4 semanas de la musculatura relacionada con la fase de tracción del estilo crol, mediante el uso de una máquina de entrenamiento inercial. Como resultado, se obtuvieron mejoras en el rendimiento en natación tanto en 50 (-0.76 %) como en

100 metros (-1.83 %), y estas mejoras fueron asociadas a las rápidas ganancias obtenidas en fuerza (12.8 %) y potencia muscular (14.2 %), posiblemente ocasionadas por la gran estimulación generada por la sobrecarga excéntrica. Las ganancias de fuerza absoluta en las extremidades superiores obtenidas en este estudio fueron del 12.4 %. Sin embargo, si atendemos a los valores obtenidos en los test de potencia-velocidad, posiblemente el ejercicio elegido para las extremidades superiores no provocó el suficiente estímulo de entrenamiento. Los valores obtenidos en la velocidad de ejecución empeoraron y representaron un deterioro con una variabilidad del ~ -11.59 %, mientras que las mejoras obtenidas en potencia tuvieron una variabilidad de ~ 5.88 % al 25, 50 y 75 % de la RM, pero presentaron un empeoramiento de -14.55 % al movilizar el 100 % de la RM (figuras 3 y 4).

En cualquier caso, cabe destacar que, aunque al aplicar el protocolo de PAPE y realizar una comparación con la situación estándar se produjo un empeoramiento de los resultados antes de iniciar el entrenamiento de 6 semanas (tabla 1), no se obtuvo la misma tendencia tras las 6 semanas de entrenamiento, cuando sí que se obtuvieron mejoras en las marcas finales de la prueba (25, 40 y 50 metros). Este resultado sugiere que los participantes fueron capaces de alcanzar un mejor balance entre fatiga y potenciación, posiblemente porque incrementaron su valor de RM en las extremidades superiores (figura 3), y según Morouço et al. (2011) el rendimiento en una prueba de 50 metros está más relacionado con los valores absolutos de fuerza que con los relativos al peso corporal.

En conclusión, un calentamiento basado en los protocolos PAPE podría influir en el rendimiento en los primeros metros de una carrera de 50 m. Sin embargo, otros factores, como la fatiga, podrían modificar los patrones de natación y arrojar resultados contradictorios a los de la tarea deseada. La evaluación y control de la fuerza de los nadadores mediante test de fuerza específicos como los que se han llevado a cabo en este estudio, suponen una herramienta útil y necesaria que debería ser llevada a cabo más a menudo por los entrenadores para autoevaluar los procedimientos de entrenamiento realizados con los deportistas. Uno de los principales resultados hallados en este estudio, gracias a los test de fuerza, fue que la sobrecarga que ofrecen las máquinas de entrenamiento excéntrico parece presentar mayores beneficios en el entrenamiento y estimulación de las extremidades inferiores, en comparación con las superiores, posiblemente por el propio posicionamiento del participante en la realización del ejercicio y la propia acción de la gravedad. Futuras investigaciones deberían realizar el mismo protocolo utilizando como método de entrenamiento la aplicación de cargas individualizadas, especialmente para aplicar una mayor intensidad en las extremidades superiores.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por los proyectos: DEP2014-59707-P “SWIM: Specific Water Innovative Measurements applied to the development of international swimmers in short swimming events (50 and 100m)” y por: PGC2018-102116-B-I00 “SWIM II: Specific Water Innovative Measurements: applied to the improvement in performance”, financiados por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (Agencia Española de Investigación) y la European Regional Development Fund (ERFD), y forma parte de la tesis internacional desarrollada en el programa de doctorado en Biomedicina (B11.56.1) de la Universidad de Granada (España).

Referencias

- Baudry, S., & Duchateau, J. (2007a). Postactivation potentiation in a human muscle: Effect on the load-velocity relation of tetanic and voluntary shortening contractions. *Journal of Applied Physiology*, 103(4), 1318-1325. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00403.2007>
- Baudry, S., & Duchateau, J. (2007b). Postactivation potentiation in a human muscle: Effect on the rate of torque development of tetanic and voluntary isometric contractions. *Journal of Applied Physiology*, 102(4), 1394-1401. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01254.2006>
- Beretic, I., Durovic, M., Okicic, T., & Dopsaj, M. (2013). Relations between lower body isometric muscle force characteristics and start performance in elite male sprint swimmers. *Journal of Sport Science & Medicine*, 12(4), 639-645.
- Blazevich, A., & Babault, N. (2019). Post-activation potentiation (PAP) versus post-activation performance enhancement (PAPE) in humans: Historical perspective, underlying mechanisms, and current issues. *Frontiers in Physiology*, 10, 1359. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01359>
- Chiu, L. Z. F., Fry, A. C., Schilling, B. K., Johnson, E. J., & Weiss, L. W. (2004). Neuromuscular fatigue and potentiation following two successive high intensity resistance exercise sessions. *European Journal of Applied Physiology*, 92(4-5), 385-392. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1144-z>
- Cuenca-Fernandez, F., Smith, I. C., Jordan, M. J., MacIntosh, B. R., Lopez-Contreras, G., Arellano, R., & Herzog, W. (2017). Nonlocalized postactivation performance enhancement (PAPE) effects in trained athletes: A pilot study. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 42(10), 1122-1125. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0217>
- Cuenca-Fernandez, F., Taladriz, S., López-Contreras, G., De la Fuente, B., Argüelles, J., & Arellano, R. (29 junio - 3 julio, 2015). Relative force and PAP in swimming start performance. En *ISBS-Conference Proceedings Archive. 33rd International Conference on Biomechanics in Sports*. Poitiers, France.
- Cuenca-Fernández, F., Ruiz-Teba, A., López-Contreras, G., Arellano, R. (2018). Effects of two types of activation protocols based on post-activation potentiation on 50-meter freestyle performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002698>
- Ferguson, B. (2014). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription 9th Ed. 2014. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 58(3), 328.
- Gilbert, G., & Less, A. (2005). Changes in the force development characteristics of muscle following repeated muscle maximum force and power exercise. *Ergonomics*, 48(11-14), 1576-1584. <https://doi.org/10.1080/00140130500101163>
- González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training.

- International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 347-352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
- Grange, R. W., Vandenboom, R., Xenii, J., & Houston, M. E. (1998). Potentiation of in vitro concentric work in mouse fast muscle. *Journal of Applied Physiology*, 84(1), 236-243. <https://doi.org/10.1152/jap-1998.84.1.236>
- Hydren, J. R., & Cohen, B. S. (2015). Current scientific evidence for a polarized cardiovascular endurance training model. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(12), 3523-3530. <https://doi.org/10.1519/Jsc.0000000000001197>
- Kilduff, L., Cunningham, D., Owen, N., West, D., Bracken, R., & Cook, C. (2011). Effect of postactivation potentiation on swimming starts in international sprint swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2418-2423. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318201bf7a>
- Naczki, M., Naczki, A., Brzenczek-Owczarzak, W., Arlet, J., & Adach, Z. (2016). Efficacy of inertial training in elbow joint muscles: Influence of different movement velocities. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(3), 223-231.
- Nasirzade, A., Ehsanbakhsh, A., Ilbeygi, S., Sobhkhiz, A., Argavani, H., & Aliakbari, M. (2014). Relationship between sprint performance of front crawl swimming and muscle fascicle length in young swimmers. *Journal of Sport Science & Medicine*, 13(3), 550-556.
- Mason, B., Alcock, A., & Fowlie, J. (23-27 agosto, 2007). A kinetic analysis and recommendations for elite swimmers performing the sprint start. En *ISBS-Conference Proceedings Archive*. Ouro Preto-Brazil.
- Morouço, P., Keskinen, K. L., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2011). Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(2), 161-169. <https://doi.org/10.1123/jab.27.2.161>
- Seitz, L. B., Trajano, G. S., Dal Maso, F., Haff, G. G., & Blazevich, A. J. (2015). Postactivation potentiation during voluntary contractions after continued knee extensor task-specific practice. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 40(3), 230-237. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0377>
- Seitz, L. B., Mina, A., & Haff, G. (2016). Post-activation potentiation of horizontal jump performance across multiple sets of a contrast protocol. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(10), 2733-2740. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001383>
- Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effects of performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*, 39(2), 147-166. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939020-00004>
- Sale, D. (2004). Postactivation potentiation: Role in performance. *British Journal of Sports Medicine*, 38(4), 385-386. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.003392>
- Voronstov, A., Seifert, L., Chollet, D., & Mujika, I. (2011). Strength and power training in swimming. En L. Seifert, D. Chollet, & I. Mujika (Eds.), *World book of swimming: From science to performance* (pág. 313-344).

Conflicto de intereses: las autorías no han declarado ningún conflicto de intereses.



© Copyright Generalitat de Catalunya (INEFC). Este artículo está disponible en la url <https://www.revista-apunts.com/es/>. Este trabajo está publicado bajo una licencia internacional Creative Commons Reconocimiento 4.0. Las imágenes u otro material de terceros en este artículo se incluyen en la licencia Creative Commons del artículo, a menos que se indique lo contrario en la línea de crédito. Si el material no está incluido en la licencia Creative Commons, los usuarios deberán obtener el permiso del titular de la licencia para reproducir el material. Para ver una copia de esta licencia, visite https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES