

1 **Protocolización de la post-activación potenciación estimulada en natación y su relación**
2 **con la fuerza relativa**

3
4 **Autores:** Francisco Cuenca-Fernández, Ana Gay Párraga, Jesús Juan Ruiz-Navarro, Esther
5 Morales-Ortiz, Gracia López-Contreras, Arellano, Raúl.

6 **Filiación:** Aquatics Lab. Departamento de Educación Física y Deportiva. Facultad de Ciencias
7 del Deporte. Universidad de Granada. España.

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

9 **Datos Artículo:**

10 - Recibido: 17/01/2019

11 - Aceptado: 03/02/2020

12 - Publicado Online: 04/02/2020

13 - DOI: 10.33155/j.ramd.2020.02.003

14 **Financiación y Agradecimientos:** Este estudio fue financiado por el proyecto DEP2014-
15 59707-P “SWIM: Specific Water Innovative Measurements applied to the development of
16 International Swimmers in Short Swimming Events (50 and 100 m) y por el proyecto
17 PGC2018-102116-B-100 “SWIM II: Specific Water Innovative Measurements: applied to the
18 improvement in performance”, financiados por el Ministerio de Economía, Industria y
19 Competitividad (Agencia Española de Investigación) y la European Regional Development
20 Fund (ERDF). Este estudio formó parte de la tesis internacional desarrollada en el programa de
21 doctorado en Biomedicina (B11.56.1), de la Universidad de Granada, Granada, (España).

22 **Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existió ningún conflicto de intereses en la
23 realización y/o publicación de este estudio.

24
25 **Protocolización de la post-activación potenciación estimulada en natación y su relación**
26 **con la fuerza relativa**

27 **RESUMEN**

28 **Objetivo:** Este estudio experimentó un protocolo de post-activación potenciación estimulada en
29 16 nadadores de competición.

30 **Método:** En primer lugar, se aplicaron ejercicios de acondicionamiento para extremidades
31 superiores e inferiores y se exploraron los efectos producidos tras 5, 8, 12 y 20 minutos de
32 descanso en un test que implicaba tres saltos verticales y tres flexiones explosivas. En una
33 sesión posterior, se aplicaron ejercicios de acondicionamiento específico en ambas extremidades
34 proporcionando el mismo tiempo de descanso que había inducido los mejores resultados en la
35 evaluación exploratoria (8 min), y sus efectos se evaluaron en una prueba de natación sprint (50
36 m). Finalmente, también se obtuvo el índice de fuerza relativa de los participantes y se estudió
37 su relación con el rendimiento.

38 **Resultados:** Las variables relacionadas con la salida de natación mejoraron. La velocidad en el
39 despegue fue mayor debido al incremento de las fuerzas desarrolladas en el poyete. El tiempo de
40 nado en la prueba de 50-m se mantuvo igual a la situación estándar aunque la velocidad fue
41 mayor en los primeros metros.

42 **Conclusiones:** Los sujetos con mayor índice de fuerza obtuvieron mejores resultados y
43 reaccionaron mejor a la post-activación potenciación estimulada posiblemente porque sus
44 efectos son más efectivos en las fibras tipo II y estas, son más comunes en sujetos entrenados.

45 Palabras Clave: Natación sprint; Calentamiento; Potencia; Entrenamiento en seco; Fuerza.

46

47 **Protocolization of post-activation performance enhancements in swimming and its** 48 **relationship with the relative strength**

49 ABSTRACT:

50 **Objective:** This study tried a post-activation performance enhancements protocol in 16
51 competitive swimmers.

52 **Method:** First, maximal conditioning exercises for upper and lower limbs were applied and
53 tested after 5, 8, 12 and 20 minutes of rest through maximal voluntary contractions' test (3 reps
54 of vertical jump and 3 reps of flying push-up). On a subsequent session, specific conditioning
55 exercises were applied again in both limbs and its effects were assessed on a 50-m swimming
56 race after providing the same rest time in what the best performance was detected (8 min).
57 Finally, the relative strength index was obtained in all the participants to study the relationship
58 with the swimming performance variables.

59 **Results:** All the variables related to swimming start performance improved. The velocity during
60 flight was higher due to an increase of the forces produced against the block. The swimming
61 time to 50-m was similar to obtained after the standard condition although swimming velocities
62 were higher at the beginning of the race.

63 **Conclusions:** The subjects with higher relative strength index obtained better results and
64 reacted better to post-activation performance enhancements, possibly because its effects are
65 larger in type II fibers and they are more frequent in trained subjects.

66 Key words: Sprint swimming; Warm-Up; Power; Dry-land training; Strength.

67

68 **Protocolização do umo aprimoramento de desempenho pós-ativação na natação e sua** 69 **relação com a força**

70 RESUMO

71 **Objetivo:** Este estudo tentou um protocolo de aprimoramento de desempenho pós-ativação
72 (PAPE) em 16 nadadores treinados.

73 **Método:** Primeiro, exercícios de condicionamento máximo para membros superiores e
74 inferiores foram aplicados e testados após 5, 8, 12 e 20 minutos de descanso através do teste de

75 contrações voluntárias máximas (3 repetições de salto vertical e 3 repetições de flexão voadora).
76 Em uma sessão subsequente, exercícios específicos de condicionamento foram aplicados
77 novamente em ambos os membros e seus efeitos foram avaliados em uma corrida de natação de
78 50 m após proporcionar o mesmo tempo de descanso em que o melhor desempenho foi
79 detectado (8 min). Por fim, o índice de força relativa foi obtido em todos os participantes para
80 estudar a relação com as variáveis de desempenho na natação.

81 **Resultados:** Todas as variáveis relacionadas à natação iniciaram o desempenho. A velocidade
82 durante o vôo foi maior devido ao aumento das forças produzidas contra o bloco. O tempo de
83 natação para 50-m foi semelhante ao obtido após a condição padrão, embora as velocidades de
84 natação fossem maiores no início da corrida.

85 **Conclusões:** Os indivíduos com maior índice de força relativa obtiveram melhores resultados e
86 reagiram melhor ao aprimoramento de desempenho pós-ativação, possivelmente por seus efeitos
87 serem maiores nas fibras do tipo II e serem mais frequentes em indivíduos treinados.

88 Palavras-Chave: Natação Sprint; Aquecimento; Potência; Treinamento Terra Seca; Força.

89

90 **Introducción**

91 La realización de contracciones musculares voluntarias con carga máxima, han sido
92 identificadas como precursoras de un efecto de mejora en la capacidad contráctil del músculo,
93 tanto en fuerza como en velocidad. A este efecto se le conoce como Post-activación
94 potenciación estimulada (PAPE)^{1,2}. Los mecanismos que lo regulan son una combinación entre
95 el efecto que la temperatura muscular produce en el acoplamiento y adhesión de los enlaces de
96 actina-miosina que posibilitan la contracción muscular, junto con la activación neuronal que se
97 ha detectado a lo largo de la espina dorsal tras cualquier tipo de contracción muscular intensa^{1,2}.
98 En cualquier caso, si el estímulo que provoca la contracción muscular es lo suficientemente
99 intenso, y siempre y cuando exista un periodo de descanso entre el ejercicio de
100 acondicionamiento y la actividad competitiva³, el sistema muscular también podría beneficiarse
101 de una fosforilación de los enlaces de actina-miosina, que el propio organismo genera como un
102 efecto de respuesta para sobreponerse a esa fatiga ocasionada⁴.

103 Si atendemos al modelo propuesto por Sale⁵, tanto fatiga como potenciación son dos respuestas
104 inherentes a la actividad contráctil, por tanto, el predominio de una sobre la otra puede tener una
105 influencia crucial en el rendimiento. Aunque se conoce que el estado de fosforilación no puede
106 durar activo más allá de los cinco minutos⁶, otros mecanismos como la vasodilatación que
107 origina el incremento de la temperatura muscular y la disminución de la inhibición presináptica
108 en las motoneuronas son sólo posibles tras varios minutos de descanso². Por tanto, encontrar el
109 momento idóneo en el que realizar una actividad competitiva intensa con ausencia de fatiga,
110 mientras que el sistema muscular permanece activado es fundamental para obtener el máximo
111 rendimiento del deportista.

112 En el caso de las actividades natatorias, cualquier incremento en la velocidad conlleva un
113 incremento proporcional en la fuerza y potencia de los movimientos realizados⁷. Teniendo en
114 cuenta que ese movimiento es el resultado de una activación secuenciada de determinadas
115 unidades motoras⁸, es una tarea importante identificar de qué manera se podrían activar las
116 fibras musculares que garanticen el máximo desarrollo de potencia y velocidad en una actividad
117 intensa como la prueba de natación de 50-m. Por tanto, los objetivos de este estudio fueron: i)
118 experimentar un método de protocolización en la aplicación de la post-activación potenciación
119 estimulada con el fin de proporcionar un calentamiento de activación individualizado en
120 nadadores de competición; ii) Establecer una relación entre los índices de fuerza relativa de los
121 nadadores y las variables de rendimiento en natación.

122

123 **Método:**

124 *Muestra*

125 En el estudio participaron 16 nadadores entrenados que presentaron consentimiento informado.
126 Los menores de 18 años también proporcionaron permiso parental para participar en el estudio.
127 Sus características físicas fueron: edad, 18.42 ± 1.39 ; peso, 73.65 ± 8.99 kg; y altura, $1.81 \pm$
128 0.02 m. Los criterios de inclusión fueron: i) ≥ 5 años de participación en competición nacional
129 federada; ii) Ausencia de lesiones en los 6 meses previos a la realización del estudio.

130

131 *Procedimientos:*

132 *-Test de fuerza*

133 Previo al estudio, todos los sujetos participaron en un test incremental de repeticiones máximas
134 (RM), el cual consistió en la realización de dos repeticiones con cargas que se iban
135 incrementando cada dos minutos, de acuerdo a las guías propuestas por el *American College of*
136 *Sports Medicine*⁹. Mediante este test se obtuvieron las cargas máximas para ejecutar los
137 ejercicios de acondicionamiento con las extremidades superiores e inferiores en un pódico de
138 musculación (Jim Sports Technology S.L., Lugo, Spain). Al pódico se conectó un dinamómetro
139 isoinercial T-Force (Ergotech, Murcia, Spain), el cual permitió transmitir directamente a un
140 ordenador una estimación de la RM desde la primera repetición ejecutada por los participantes.
141 Este aspecto permitió incrementar las cargas más ampliamente al principio del test y de manera
142 más precisa cercano al valor de RM. Los valores absolutos fueron (1 RM): Sentadilla: $90.7 \pm$
143 17.0 kg, Press de Banca: 71.3 ± 12.2 kg, Zancada de piernas: 93.35 ± 12.51 kg y Tirón de
144 brazos: 38.82 ± 5.29 kg. El índice de fuerza relativa (F_{rel}) fue calculado para la zancada de
145 piernas y el tirón de brazos como el valor absoluto obtenido dividido entre la masa corporal (en
146 kg) de cada participante.

147

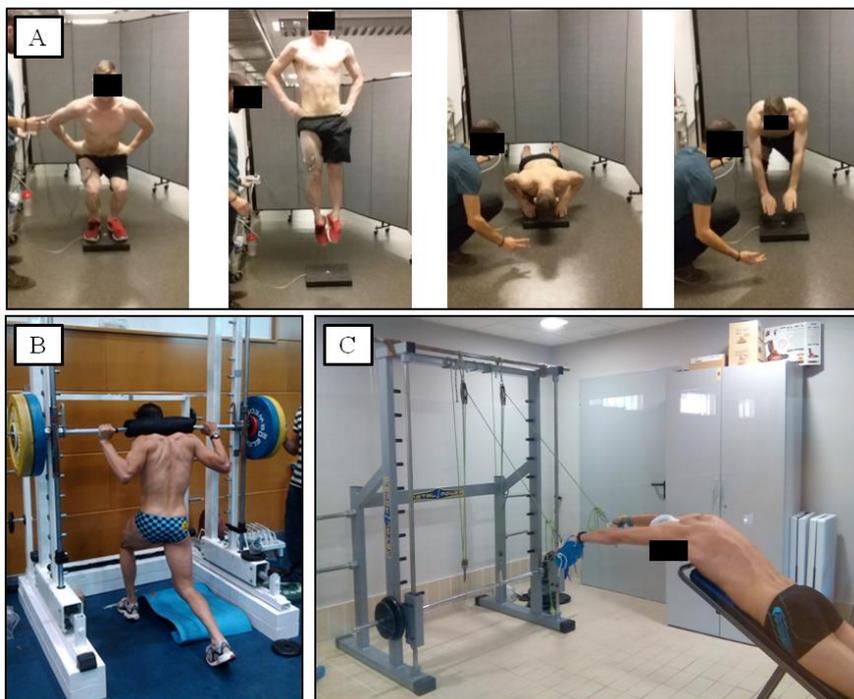
148 *-Exploración experimental*

149 En primer lugar, se aplicaron ejercicios de acondicionamiento para extremidades inferiores (4
150 sentadillas al 85% de 1 RM) y superiores (4 repeticiones de Press Banca al 85% de 1 RM), y se
151 estudiaron los efectos producidos tras 5, 8, 12 y 20 minutos de descanso en un test que
152 implicaba tres saltos verticales alternados con tres flexiones con salto (Figura 1A). Estos
153 ejercicios fueron ejecutados en una plataforma de fuerza (PASCO®, PS-2141. Roseville, CA
154 95747 USA), de la que se obtuvieron los valores de Impulso mecánico. También se registraron
155 señales de electromiografía (EMG) de acuerdo a las instrucciones propuestas por Kasman y
156 Wolf¹⁰, de varios músculos implicados en la ejecución de tales gestos (recto femoral, vasto
157 lateral, pectoral mayor y tríceps braquial).

158

159 *-Protocolo experimental:*

160 Los resultados exploratorios se extrapolaron a condiciones experimentales y se evaluaron en
161 gestos específicos de la natación: Salida de Natación (i) y Nado en una prueba de 50-m (ii),
162 proporcionando el mismo tiempo de descanso que había inducido los mejores resultados en la
163 evaluación inicial. Para ello, se aplicó un protocolo de calentamiento estándar realizado en el
164 agua (CA-E), al que se le añadieron dos ejercicios con carga máxima individualizada (CA-RM)
165 basados en el estudio de Cuenca-Fernández et al.¹¹, que incluían: i) Zancadas en un pórtico de
166 entrenamiento con la misma posición y colocación asimétrica de las piernas que los nadadores
167 establecían en el poyete de salida (Figura 1B); ii) Ejercicios realizados en un pórtico de
168 entrenamiento adaptado mediante unas poleas que permitían realizar movimientos de tracción
169 de brazos similar a las brazadas de natación (Figura 1C).



170

171

172 **Figura 1.** (A) Evaluación muscular básica mediante contracciones musculares voluntarias
173 máximas (salto vertical y flexiones con salto); (B) Inducción de Post-activación potenciación
174 estimulada para las extremidades inferiores; (C) Inducción de Post-activación potenciación
175 estimulada para las extremidades superiores.

176

177 *Análisis estadístico*

178 Se obtuvo estadística descriptiva y todos los datos fueron expresados como el Promedio \pm SD al
179 intervalo de confianza (95%) (SPSS Version 21.0, IBM, Chicago, IL, USA). Tras el test de
180 normalidad de Saphiro-Wilk, se aplicó un análisis ANOVA de medidas repetidas de una vía
181 para conocer el rendimiento a los 5, 8, 12 y 20 minutos realizado en el análisis exploratorio. Las
182 comparaciones por pares se realizaron con el método de Bonferroni para controlar errores de
183 tipo 1. Posteriormente, se utilizó la T de Student para determinar las diferencias entre las
184 variables obtenidas en CA-E y CA-RM. Finalmente, las correlaciones entre F_{rel} y las variables
185 de rendimiento se estudiaron mediante la r de Pearson. La significación estadística se fijó en $p <$
186 0.05

187

188 **Resultados**

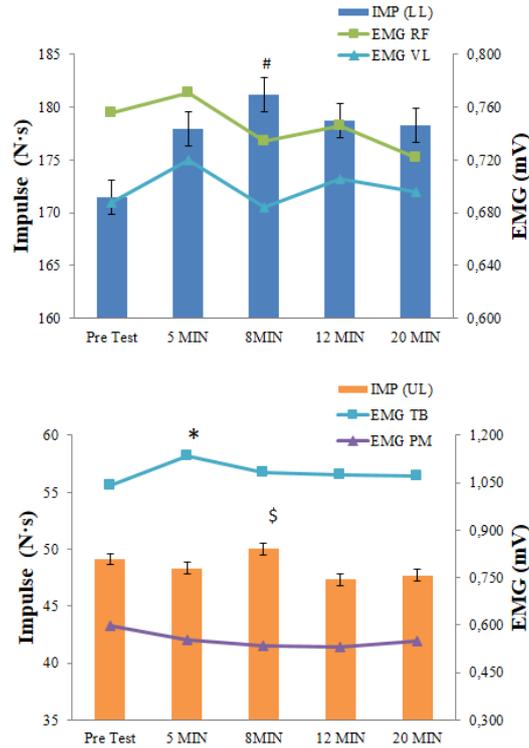
189 Los análisis de exploración revelaron diferencias ($p = 0.026$) después de aplicar los ejercicios de
190 acondicionamiento en los valores de impulso ejecutados con las extremidades inferiores a los 8
191 minutos (Imp: 181.16 ± 9.28 N·s; $p = 0.05$), en comparación con los valores obtenidos en el pre-
192 test (171.43 ± 9.12 N·s). En cuanto a las extremidades superiores, el rendimiento fue un 5%
193 mejor al minuto 8 (50.01 ± 4.286 N·s), en comparación al minuto 5 (48.33 ± 4.182 N·s), o al
194 pre-test (49.15 ± 4.08 N·s) (Figura 2).

195 No se detectaron cambios significativos en el análisis de EMG para los músculos Recto Femoral
196 y Vasto Lateral. Sí que se encontraron diferencias para los valores de EMG registrados en el
197 Tríceps Braquial a los cinco minutos de haber aplicado la carga ($F_{4,11} = 3.461$, $p = 0.046$; EMG:
198 1.13 ± 0.084 mV, $p = 0.046$), en comparación con el pre test (1.04 ± 0.106 Mv) (Figura 2).

199

200 Figura 2. Valores de impulso y electromiografía obtenidos en los ejercicios de evaluación
201 muscular (tres sentadillas y tres flexiones con salto) en extremidades inferiores y superiores.

202



IMP: Valores de impulso; EMG: electromiografía; LL: extremidades inferiores; UL: extremidades superiores.

203
204
205

206 La velocidad de despegue durante el vuelo y la distancia de entrada en el agua fueron mayor en
207 CA-RM (4.15 ± 0.12 m/sec y 300.29 ± 8.654 cm), en comparación con CA-E (3.63 ± 0.11
208 m/sec y 294.2 ± 8.679 cm) ($p < 0.001$). Existieron diferencias en tiempo y velocidades de nado
209 en 5 y 10 metros (Tabla 1). No se encontraron diferencias en ningún punto entre 15 y 50 metros.
210 El análisis de los tiempos parciales sólo reveló diferencias a los 20 metros, las cuales revelaron
211 tiempos de paso más lentos en CA-RM.

212

213 Tabla 1. Promedio y desviación estándar de los tiempos de nado (de 5 a 50 m), tiempos
214 parciales (cada 5 m) y velocidades de nado (cada 5 m).

	CA-E			CA-RM		
	Tiempo (s)	Parcial (s)	Velocidad(m/s)	Tiempo (s)	Parcial (s)	Velocidad(m/s)
5m	1.57 ± 0.11		3.12 ± 0.28	1.52 ± 0.13		$3.27 \pm 0.29^*$
10m	4.35 ± 0.35	2.78 ± 0.26	1.79 ± 0.17	$4.24 \pm 0.39^*$	2.72 ± 0.28	$1.84 \pm 0.16^*$
15m	7.19 ± 0.46	2.84 ± 0.17	1.74 ± 0.11	7.08 ± 0.48	2.80 ± 0.16	1.79 ± 0.10
20m	10.04 ± 0.57	2.85 ± 0.12	1.75 ± 0.02	10.05 ± 0.53	$2.97 \pm 0.17^*$	1.72 ± 0.02
25m	13.32 ± 0.77	3.28 ± 0.24	1.53 ± 0.10	13.34 ± 0.77	3.29 ± 0.29	1.53 ± 0.13
30m	15.38 ± 0.93	2.06 ± 0.19	2.44 ± 0.21	15.36 ± 0.83	2.02 ± 0.10	2.47 ± 0.12
35m	18.44 ± 1.07	3.06 ± 0.19	1.63 ± 0.10	18.43 ± 0.93	3.06 ± 0.18	1.63 ± 0.09

40m	21.42 ± 1.17	2.98 ± 0.13	1.68 ± 0.07	21.47 ± 1.08	3.03 ± 0.20	1.65 ± 0.10
45m	24.48 ± 1.30	3.06 ± 0.13	1.63 ± 0.07	24.54 ± 1.17	3.07 ± 0.15	1.63 ± 0.08
50m	27.28 ± 1.42	2.80 ± 0.14	1.61 ± 0.08	27.31 ± 1.45	2.78 ± 0.32	1.58 ± 0.14

215 CA-E: Calentamiento Estándar; CA-RM: Calentamiento con cargas individualizadas basadas en un porcentaje del test de
 216 Repeticiones Máximas. * = Diferencias estadísticamente significativas.

217

218 Tabla 2. Coeficiente de correlación de Pearson entre F_{rel} en los miembros inferiores y los
 219 variables de rendimiento en la salida de natación.

220

	CA-E		CA-RM	
	F_{rel} (N/Kg)	P	F_{rel} (N/Kg)	P
Distancia de entrada (cm)	0.872	<0.001*	0.840	<0.001*
Velocidad del vuelo (m/s)	0.308	0.049*	0.422	0.027*
Tiempo en 15m (s)	-0.813	<0.001*	-0.821	<0.001*

231

232

233 CA-E: Calentamiento Estándar; CA-RM: Calentamiento con cargas individualizadas basadas en un porcentaje del test de
 234 Repeticiones Máximas; F_{rel} : Fuerza relativa; N: Valor de la fuerza en Newtons; Kg: Valor de la masa corporal en kilogramos; P:
 235 Nivel alfa del test estadístico. * = Diferencias estadísticamente significativas.

236

237

238 El análisis de correlación de Pearson reveló que los nadadores con mayor F_{rel} en los miembros
 239 inferiores realizaron mejor la salida de natación (Tabla 2). En cuanto a las extremidades
 240 superiores, los resultados revelaron una correlación negativa entre F_{rel} y el tiempo en 50 m y
 241 diversas correlaciones positivas con la velocidad de nado (Tabla 3).

242

243 Tabla 3. Coeficiente de correlación de Pearson entre F_{rel} en los miembros superiores y los
 244 tiempos y velocidades de nado.

245

	CA-E		CA-RM	
	F_{rel} (N/Kg)	P	F_{rel} (N/Kg)	P
T50m (s)	-0.634	0.011*	-0.667	0.006*
Vel_15m (m/s)	0.416	0.099	0.517	0.041*
Vel_20m (m/s)	0.549	0.024*	0.419	0.106
Vel_35m (m/s)	0.608	0.012*	0.652	0.007*
Vel_45m (m/s)	0.631	0.010*	0.552	0.031*

246 CA-E: Calentamiento Estándar; CA-RM: Calentamiento con cargas individualizadas basadas en un porcentaje del test de
247 Repeticiones Máximas; Frel: Fuerza relativa; N: Valor de la fuerza en Newtons; Kg: Valor de la masa corporal en kilogramos; P:
248 Nivel alfa del test estadístico; T50m: Tiempo total de la prueba de natación de 50 metros; Vel: Velocidad de nado en cada uno de los
249 parciales (15, 20, 35 y 45 metros). * = Diferencias estadísticamente significativas.

250

251

252 **Discusión**

253 Uno de los objetivos de este estudio fue evaluar si el rendimiento muscular podía ser elevado
254 tras haber realizado unos ejercicios de acondicionamiento basados en PAPE. Los resultados
255 mostraron que el rendimiento puede ser mejorado durante un periodo no mayor a 8 minutos y
256 que desde los 5 minutos pueden encontrarse beneficios. La mejora del rendimiento obtenida al
257 minuto 8 no vino acompañada del mayor valor de EMG (Figura 2), por lo que los efectos del
258 PAPE podrían no estar regulados por un aumento de la activación muscular o del incremento en
259 el reclutamiento de fibras musculares². En cualquier caso, el valor de EMG puede variar entre
260 cada sujeto o por la configuración del amplificador¹⁰, por lo que futuros estudios deberían
261 arrojar más luz en este asunto.

262 Por otra parte, teniendo en cuenta que ya se habían realizado repeticiones máximas en el test
263 llevado a cabo en el minuto 5, la mejora del rendimiento obtenida en el minuto 8 indicaría que
264 los efectos del PAPE podrían amplificarse realizando repeticiones a máxima velocidad con los
265 que se produciría un mayor requerimiento e implicación de las fibras musculares de tipo II¹².
266 Esto reduciría los efectos adversos del fenómeno de “perseverancia” tras haber aplicado la carga
267 máxima, que es la interferencia que se produce en el sistema neuromuscular tras pasar de una
268 actividad con un patrón motor más grueso (ciclismo) a otra con un patrón más ligero (carrera)¹³.
269 Los nadadores podrían evitar esto mediante los movimientos balísticos que usualmente realizan
270 justo antes de iniciar la prueba.

271 En relación a los valores obtenidos en la salida de natación, los resultados fueron mejores tras
272 aplicar el PAPE, lo que podría confirmar lo apuntado en previos estudios en los que parece que
273 suele proporcionar mejores resultados en gestos explosivos que en aquellos realizados de forma
274 cíclica³. Además, aquellos sujetos que poseían mayores valores de fuerza relativa en las
275 extremidades inferiores fueron los que tendieron a alcanzar mayores velocidades en las salidas
276 de natación. Esto coincide con lo demostrado en otras investigaciones^{14,15}. Por tanto, es
277 importante considerar la fase de poyete sobre la influencia en el posible rendimiento en
278 componentes posteriores a la salida de natación.

279 En cuanto a la fase de nado, se produjo un deterioro del rendimiento tras el protocolo
280 experimental a lo largo de la prueba. Sin embargo, esos resultados fueron mejores al comienzo
281 de la prueba en comparación con la situación estándar, posiblemente por los resultados
282 obtenidos previamente en la salida de natación. Si analizamos el tiempo final de 50-m, las
283 diferencias en este punto fueron muy pequeñas (0.03 seg), por lo que no se vio influenciado por

284 la aplicación de PAPE. De acuerdo con Stewart y Hopkins¹⁶, una estrategia llevada a cabo para
285 cambiar el rendimiento de un atleta debe suponer al menos un equivalente al ~0.5% de cambio
286 en el rendimiento para ser considerado efectivo. El coeficiente de variación recogido en este
287 estudio mostró valores más bajos (~0.4%). Por tanto, la hipótesis nula no puede ser rechazada.
288 La fatiga y la potenciación coexisten como respuestas del PAPE y esto genera respuestas muy
289 individualizadas en función del nivel o del estado físico del atleta¹⁷. Los protocolos de PAPE de
290 este estudio incluyeron una aplicación individualizada de la carga en base al 85% de la RM de
291 cada sujeto. Además, las correlaciones entre las variables de nado se realizaron con los valores
292 de F_{rel} de los participantes. Teniendo en cuenta que uno de los factores que produce un alto
293 índice de F_{rel} es la capacidad de producir altos niveles de fuerza con bajos niveles de masa
294 corporal, este valor podría reflejar con mayor precisión no sólo las habilidades de fuerza de los
295 nadadores, sino también un menor nivel de resistencia ofrecida al avance en el agua. Por tanto,
296 una mejora de este índice debido a la mejora en cualquiera de estos dos componentes, podría
297 contribuir a mejorar el rendimiento en natación¹⁸. En cualquier caso, futuras investigaciones
298 deberían estudiar este asunto teniendo en cuenta la velocidad de ejecución en los test ejecutados
299 en seco.
300 Por último, este estudio también demostró que los atletas más fuertes reaccionaron mejor a los
301 protocolos de PAPE (Tablas 2 y 3). En primer lugar, esto pudo deberse a que la fosforilación de
302 la actina-miosina, es más frecuente en las fibras de tipo II, y estas son más comunes en sujetos
303 entrenados¹⁷. Aunque conociendo la rápida disipación de este efecto, la explicación más
304 convincente puede deberse a que considerando que uno de los efectos de la vasodilatación
305 originada por el aumento de la temperatura corporal es el de incrementar el volumen acuoso en
306 el interior de la fibra muscular, esto reduce la concentración iónica, aspecto que permite
307 aumentar los puentes de hidrógeno que se generan en el tejido conectivo, lo cual incrementa la
308 velocidad de rotación de las fibras durante la contracción sarcomérica⁽²⁾.

309

310 **Referencias**

- 311 1. Cuenca-Fernandez F, Smith IC, Jordan MJ, MacIntosh BR, Lopez-Contreras G,
312 Arellano R, et al. Nonlocalized postactivation performance enhancement (PAPE) effects in
313 trained athletes: a pilot study. *Appl Physiol Nutr Med.* 2017;42(10):1122-5. PubMed PMID:
314 WOS:000411897200015. English. Doi: 10.1139/apnm-2017-0217
- 315 2. Blazeovich AJ, Babault N. Post-activation Potentiation (PAP) versus Post-activation
316 Performance Enhancement (PAPE) in Humans: Historical Perspective, Underlying
317 Mechanisms, and Current Issues. *Front Physiol.* 2019;10:1359, 1-19. DOI:
318 10.3389/fphys.2019.01359
- 319 3. Seitz LB, Haff GG. Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint,
320 Throw, and Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis.

321 Sports Med. 2016;46(2):231-40. PubMed PMID: WOS:000378134500007. English. Doi:
322 10.1007/s40279-015-0415-7

323 4. Grange RW, Vandenboom R, Xenii J, Houston ME. Potentiation of in vitro concentric
324 work in mouse fast muscle. J Appl Physiol. 1998;84(1):236-43. PubMed PMID:
325 WOS:000071461000031. English. Doi: 10.1152/jappl.1998.84.1.236

326 5. Sale DG. Postactivation potentiation: Role in human performance. Exerc Sport Sci Rev.
327 2002;30(3):138-43. PubMed PMID: WOS:000178735500008. English. Doi:
328 10.1097/00003677-200207000-00008.

329 6. Vandenboom R. Modulation of skeletal muscle contraction by myosin phosphorylation.
330 Compr Physiol. 2011;7(1):171-212. Doi: 10.1002/cphy.c150044.

331 7. Vorontsov A, Seifert L, Chollet D, Mujika I. Strength and power training in swimming.
332 World book of swimming: From science to performance. 2011:313-44.

333 8. Nasirzade A, Ehsanbakhsh A, Ilbeygi S, Sobhkhiz A, Argavani H, Aliakbari M.
334 Relationship between sprint performance of front crawl swimming and muscle fascicle length in
335 young swimmers. J Sport Sci Medicine. 2014;13(3):550-6.

336 9. Ferguson B. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription 9th Ed. 2014. The
337 J Can Chiropr Assoc. 2014;58(3):328.

338 10. Kasman GS, Wolf SL. Surface EMG made easy: a beginner's guide for rehabilitation
339 clinicians. 2002.

340 11. Cuenca-Fernandez F, Ruiz-Teba A, Lopez-Contreras G, Arellano R. Effects of 2 Types
341 of Activation Protocols Based on Postactivation Potentiation on 50-m Freestyle Performance. J
342 Strength Cond Res. 2018; Publish Ahead of Print. PubMed PMID: 29912074. Doi:
343 10.1519/JSC.0000000000002698

344 12. DeRenne C. Effects of postactivation potentiation warm-up in male and female sport
345 performances: A brief review. Strength Cond J. 2010;32(6):58-64. Doi:
346 10.1519/SSC.0b013e3181f412c4

347 13. Gottschall JS, Palmer BM. The acute effects of prior cycling cadence on running
348 performance and kinematics. Med Sci Sport Exer. 2002;34(9):1518-22. Doi:
349 10.1097/00005768-200209000-00019

350 14. Beretić I, Đurović M, Okičić T, Dopsaj M. Relations between lower body isometric
351 muscle force characteristics and start performance in elite male sprint swimmers. J Sport Sci
352 Med. 2013;12(4):639-45.

353 15. Mason B, Alcock A, Fowlie J, editors. A kinetic analysis and recommendations for elite
354 swimmers performing the sprint start. ISBS-Conference Proceedings. Ouro Preto-Brazil, August
355 23-27, 2007

- 356 16. Stewart AM, Hopkins WG. Consistency of swimming performance within and between
357 competitions. *Med Sci Sport Exer.* 2000;32(5):997-1001. Doi: 10.1097/00005768-200005000-
358 00018.
- 359 17. Tillin NA, Bishop D. Factors modulating post-activation potentiation and its effect on
360 performance of subsequent explosive activities. *Sports Med.* 2009;39(2):147-66. PubMed
361 PMID: 19203135. Epub 2009/02/11. eng. Doi: 10.2165/00007256-200939020-00004.
- 362 18. Johnson R, Sharp R, Hedrick C. Relationship of swimming power and dryland power to
363 sprint freestyle performance: a multiple regression approach. *J Swim Res.* 1993;9(1):10-4.