



redined

red de bases de datos
de información educativa

<http://www.redined.mec.es/>

TEXTO BILINGÜE

1ª parte: Versión en lengua española 

TEXT BILINGÜE

 **2a part: Versió en llengua catalana**

Efecto de la inducción de la potenciación posttetánica muscular sobre los factores de rendimiento en un gesto dinámico del tren superior

■ **BERNARDO REQUENA SÁNCHEZ**

■ **MIKEL ZABALA DÍAZ**

■ **IGNACIO CHIROSA RÍOS**

Licenciados en Educación Física

■ **PAULINO PADIAL PUCHE**

■ **MANUEL MARTÍNEZ MARÍN**

Doctores en Educación Física.

Departamento de Educación Física y Deportiva. Universidad de Granada

■ **Palabras clave**

Potenciación posttetánica,
Eficiencia mecánica, Estimulación eléctrica
percutánea, Potencia muscular

■ Abstract

Posttetanic potentiation (PTP) was induced by means of the electrical stimulator unit Compex Sport 3 on triceps brachialis of 9 team handball players of an intermediate competitive level. By means of an intra subject design or of repeated measures the magnitude of the PTP was evaluated at 5 pre-established moments (5 s, 30 s, 60 s, 180 s, 300 s) after the cessation of the percutaneous electrical stimulation (PES). The magnitude of the PTP was measured by extensions of the triceps and by use of the dynamometer Isocontrol Dinámico 3.0. This dynamometer measured the descriptions of the mechanical efficiency of the selected gesture: maximum power (P_{máx}) and the time necessary to reach it (T_{pmáx}). It was observed that the P_{máx} did not increase significantly in the potentiated state although slight changes were observed ($P = 0.057$). On the contrary, the T_{pmáx} decreased significantly during the potentiated state. In addition, there existed a significant difference ($P < 0.05$) between the value of the T_{pmáx} in non-potentiated state (P0) and the value of the T_{pmáx} in potentiated state at the moments T1, T4 and T5. The data indicate that the PTP caused an improvement in the mechanical efficiency of the specific gesture.

■ Key words

Posttetanic potentiation, Mechanical efficiency, Percutaneous electrical stimulation, Muscular power

Resumen

La potenciación posttetánica (PPT) fue inducida mediante el electro-estimulador Compex Sport 3 sobre el tríceps braquial de 9 jugadores de balonmano de nivel competitivo medio. Mediante un diseño intra sujeto o de medidas repetidas se evaluó la magnitud de la PPT en 5 momentos preestablecidos (5 s, 30 s, 60 s, 180 s y 300 s) tras el cese de la estimulación eléctrica percutánea (EEP). La magnitud de la PPT se cuantificó sobre el gesto de “extensiones de tríceps acostados” y mediante el empleo del dinamómetro Isocontrol Dinámico 3.0. Este dinamómetro midió los descriptores de la eficiencia mecánica del gesto seleccionado: potencia máxima (P_{máx}) y el tiempo necesario para alcanzarla (T_{pmáx}). Se observó que la P_{máx} no aumentó de forma significativa en el estado “potenciado” aunque se observaron indicios de significación ($P = 0,057$). Por el contrario, el T_{pmáx} decreció de forma significativa durante el “estado potenciado”. Además, existió una diferencia significativa ($P < 0,05$) entre el valor del T_{pmáx} en estado “no potenciado” (P0) y el valor del T_{pmáx} en estado “potenciado” en los momentos T1, T4 y T5. Los datos indican que la PPT provocó una mejora en la eficiencia mecánica del gesto realizado.

Introducción

Es comúnmente asumido que la actividad previa puede influir en el funcionamiento posterior del músculo esquelético (Abbate y cols., 2000). La activación muscular precedente a la contracción puede tanto disminuir la capacidad de rendimiento neuromuscular (produciendo fatiga y entendiendo ésta como un decrecimiento en la producción de fuerza –F– (Gibson y cols., 2001)) como aumentarla. A este incremento en la F desarrollada como resultado de una activación previa se le denomina potenciación (Abbate y cols., 2000). Así, la F de contracción es mayor tras una breve tetania muscular que antes de ésta. Este incremento es denominado potenciación posttetánica (PPT). En humanos, la PPT se ha evocado exógenamente mediante contracciones voluntarias de carácter máximo (CVM) no superiores a 10 s de duración (Alway y cols., 1987; Green y Jones, 1989; Houston y Grange, 1985; Petrella y cols., 1989; Vandervoort y cols., 1983) o mediante estimulación eléctrica percutánea (EEP) de carácter tetánico (Hamada y cols., 1997, 2000a, 2000b; O’Leary y cols., 1997, 1998; Pääsuke y cols., 1999, 2000). Igualmente, la potenciación puede desencadenarse de forma endógena, generalmente a través de pulsos de alta frecuencia inicial, fenómeno acontecido al inicio de movimientos balísticos

(Abbate y cols., 2000). Tras la aplicación del estímulo inductor de la potenciación (músculo en “estado potenciado”), la magnitud de la PPT decrece hasta los valores basales (propios del estado “no potenciado”) en un periodo de tiempo que oscila entre 5 y 20 min., con un tiempo medio de 10 min. (Houston y Grange, 1985; O’leary y cols., 1997; Vandervoort y cols., 1983). En los estudios revisados en los que se ha inducido exógenamente la PPT, ésta se ha medido mediante acciones musculares isométricas generadas mediante pulsos eléctricos aislados y sobre gestos monoarticulares. Sólo se ha revisado un estudio en el que se ha evaluado el efecto de la PPT sobre un gesto dinámico de carácter voluntario (Stuart y cols., 1988). En estos trabajos se ha mostrado como la inducción exógena de la PPT, provoca un incremento significativo del pico de fuerza máximo y una disminución igualmente significativa del tiempo en alcanzarla (Alway y cols., 1987; Hamada y cols., 2000a, 2000b; O’leary y cols., 1997, 1998; Petrella y cols., 1989). Además, se comprueba como la PPT se asocia a un ritmo de producción de fuerza por unidad de tiempo incrementado (O’Leary y cols., 1997; Palmer y Moore, 1989; Vandebloom y cols., 1995). Así por ejemplo, Hamada y cols. (2000b) muestran un incremento en la fuerza máxima isométrica (FMI) de un 70,6 % respecto a la FMI observada en estado “no potenciado” del cuádriceps de sujetos sedentarios.

Entre los diversos procesos fisiológicos que explican la mayor capacidad contractil del tejido muscular esquelético tras la inducción exógena de la PPT, la fosforilación de la cadena ligera de miosina reguladora (CLMr) (Decostre y cols., 2000; Grange y cols., 1998; Patel y cols., 1998; Rassier y cols., 1997) y la incrementada disponibilidad de Ca^{2+} intracelular durante la activación muscular acontecida en el “estado potenciado” (Pääsuke y cols., 2000; Tubman y cols., 1996a, 1996b), constituyen los dos mecanismos principales a la hora de explicar la PPT.

La magnitud de la PPT está afectada por las características de los músculos evaluados y más concretamente con el tipo de fibra muscular (O’Leary y cols., 1997). En hu-

manos se demuestra cómo los grupos musculares con los menores tiempos de contracción y la mayor proporción de fibras rápidas (tipo II) muestran la mayor PPT (Hamada y cols., 2000a, 2000b; O’Leary y cols., 1997, 1998). Así por ejemplo, los gastrocnemios, con un mayor porcentaje de fibras tipos II, muestran mayor PPT que el sóleo (Vandervoort y cols., 1983). La mayor magnitud de la PPT en las fibras tipo II está probablemente relacionada con su mayor capacidad para fosforilar las CLMr en respuesta a una alta frecuencia de estimulación (Hamada y cols., 2000a, 2000b; Hicks y cols., 1991). En este sentido, se comprueba como la actividad de la quinasa de la CLMr es tres veces mayor en fibras tipo II frente a fibras tipo I (Eusebi y cols., 1980) y, contrariamente, la actividad de la fosfatasa de la CLMr es aproximadamente cuatro veces mayor en las fibras tipo I (Moore y Stull, 1984; Stuart y cols., 1988). Por otro lado, se ha mostrado como durante la aplicación de EEP se produce un reclutamiento selectivo y preferente de las unidades motrices de contracción rápida (Dudley y Harris, 1992; Maffiuletti y cols., 2002). En este sentido se sugiere que el empleo de EEP como medio para inducir la PPT en un grupo muscular determinado, resultará más útil, en tanto que se propicia un reclutamiento preferente de las unidades de contracción rápida y, por tanto, se generará una mayor PPT.

En este trabajo se pretende comprobar el efecto que tendría la inducción de la PPT mediante EEP sobre los parámetros mecánicos de rendimiento de un gesto multiarticular dinámico concéntrico al ser evaluado mediante un dinamómetro específico en diferentes momentos del estado potenciado.

Material y método

Sujetos

Participaron nueve individuos sanos y varones. Sus características físicas están recogidas en la *Tabla 1*. Todos ellos son jugadores de balonmano pertenecientes a la División de Honor B masculina nacional. Ninguno de ellos presentó en su historial médico trastornos neuromusculares. Así mismo, los sujetos no

■ **TABLA 1.**

Edad y principales datos antropométricos de la muestra seleccionada.

VARIABLE	VALOR MUESTRAL (MEDIA ± DT)
Edad	22,7 ± 2,9
Altura (cm)	181,0 ± 7,9
Masa corporal (kg)	79,8 ± 8,6

participaron en programas de entrenamiento de fuerza del tren superior en las 72 h previas. Se les recomendó abstenerse de ingerir cafeína en las 24 h precedentes al experimento (McIntosh y Gardiner, 1987). Los sujetos participaron bajo consentimiento informado.

Material

La magnitud de la PPT se evaluó mediante la utilización del dinamómetro Isocontrol Dinámico 3.0 (JLML I+D, Madrid, España). Este dinamómetro posee un sensor externo que le permite realizar una medición directa del espacio (con una precisión directa de $\pm 0,2$ mm) relacionado con el tiempo (frecuencia 1KHz) obteniendo un dato cada milisegundo. El acoplador del sensor externo fue colocado en la barra guiada de un pórtico de musculación (Gerva Sports, Madrid, España) de 2 m de altura. El empleo del pórtico permitió una trayectoria vertical de la barra guiada y, por tanto, un desplazamiento vertical del acoplador del sensor de fuerza dinámica, evitándose el desplazamiento del sensor respecto al eje cero grados, reduciendo el error de medida del dinamómetro a un 0 %. Así mismo, se empleó un banco de musculación clásico (Gerva Sports, Madrid, España) de 0,60 m de altura, sobre el que los sujetos se posicionaron para la evaluación.

Por otro lado, la PPT se provocó mediante el programa potenciación incluido en el menú del electroestimulador Compex Sport 3[®] (MediCompex SA, Ecublens, Suiza). Se trata de un aparato de electroestimulación portátil, diseñado de forma exclusiva para el entrenamiento deportivo. Éste se caracteriza básicamente por: a) la liberación de una corriente pulsada compuesta de impulsos eléctricos rectangula-



Posición de partida del movimiento de evaluación seleccionado.

res bifásicos simétricos con una amplitud de 400 μ s, y b) presentar un rango de intensidad de corriente modulable entre 0 y 120 mA. Los electrodos (2 mm de grosor) empleados para la EEP fueron de tipo elásticos y autoadhesivos. Así, sobre el vientre de cada tríceps braquial, se ubicó un electrodo negativo de mayor superficie (10 cm x 5 cm) y dos electrodos positivos pequeños (5 cm x 5 cm).

Procedimiento

Para la descripción coherente del procedimiento seguido durante la fase experimental, se hace necesaria la distinción de los siguientes apartados:

Movimiento de evaluación

El movimiento seleccionado para su análisis es conocido por la denominación “extensiones de tríceps acostados” (García, 1999) (Foto). Consiste en el desplazamiento de la barra guía del pódico mediante una extensión de ambos codos, mientras el sujeto permanece tumbado supino sobre el banco de evaluación y los brazos perpendiculares al cuerpo. La barra descansa de forma estática sobre los soportes del pódico, ubicándose aproximadamente 5 cm sobre la frente del sujeto, permitiendo una acción fundamentalmente concéntrica. Por otro lado, este movimiento era practicado asiduamente por los sujetos, como uno de los movimientos básicos de su programa de musculación.

Estimulación eléctrica

Con 24 horas de antelación del inicio de la sesión principal, el grupo participó en una sesión práctica que les permitió familiarizarse con los diferentes parámetros de la EEP. Además, ninguno de los sujetos había empleado la EEP anteriormente.

En ambas sesiones, de familiarización y principal, los sujetos fueron sometidos al mismo programa de EEP. Éste tenía una duración de 180 s, y se componía de una estimulación de baja frecuencia (10 Hz) alternada con intervalos de alta frecuencia (120 Hz) en los que se alcanza un estado de tetania muscular fugaz (1,5 s). Así, durante los 180 s de duración total del programa, se generan un total de 8 tetanias. Durante la estimulación, los sujetos se posicionaron tumbados supino sobre el banco de musculación, con ambos pies apoyados sobre el suelo y las rodillas flexionadas aproximadamente 90°. Los brazos se situaron en la posición de inicio del movimiento de evaluación, tal y como se ha descrito en el apartado anterior. En esta disposición articular, los sujetos fueron sometidos al programa de EEP inductor de la PPT. La barra, durante la aplicación de la EEP, estaba fija y, por tanto, la acción muscular inducida eléctricamente fue de tipo isométrico.

Por otro lado, se estimuló mediante EEP el tríceps braquial de ambos brazos de forma simultánea. Este músculo fue seleccionado tanto por ser el único agonista del movimiento de evaluación, como por su ubicación anatómica superficial, lo cual facilita su estimulación percutánea mediante EEP. Los dos electrodos positivos, fueron situados sobre la porción distal de los vientres medial y lateral del tríceps braquial. El electrodo negativo, se situó sobre la cabeza larga del tríceps. La intensidad (0-120 mA) fue monitorizada directamente y gradualmente incrementada hasta el nivel de máxima tolerancia, el cual osciló entre 35 y 66 mA dependiendo de las diferencias en el umbral del dolor intersujeto. Ningún sujeto mostró síntomas significativos de disconfort.

Protocolo

Sesión de familiarización. De forma previa (24h antes) al inicio de la sesión de recogida de datos o sesión principal, los sujetos fueron sometidos a una sesión de familiarización. En ésta, se pretendieron los siguientes objetivos: a) proporcionar la información necesaria sobre los procedimientos a seguir; b) favorecer el hábitamiento de los sujetos al programa de po-

tenciación, y por tanto, a las sensaciones ocasionadas por la contracción inducida mediante EEP, ya que ningún sujeto tenía experiencia en el empleo de EEP; c) determinar el valor de intensidad máximo (rango 0-120 mA) para cada sujeto; d) hallar y registrar el valor de la resistencia externa específica (REE). El valor de la REE equivale al valor en el que el sujeto manifiesta su potencia máxima, esto es, alcanza una velocidad media de aproximadamente 1 m/s (González-Badillo, 2000).

La primera parte de la sesión de familiarización se centró en la transmisión de la información a cerca de los procedimientos a seguir. Esta parte informativa se realizó en el mismo lugar de la evaluación mediante comunicación verbal y audiovisual. A continuación, los sujetos ejecutaron un calentamiento protocolizado. Éste consistía en la realización de: 5' de remo a una intensidad de 80 W, extensiones de tríceps ante resistencia leve (10 kg), estiramientos pasivos de la musculatura implicada y 4 repeticiones del gesto del test a velocidad moderada. Tras el calentamiento, se pasó a cumplir el resto de los objetivos anteriormente señalados. Así, por un lado se determinó la REE mediante la ejecución de un test progresivo. Éste test consistió en la realización de dos repeticiones por cada peso, comenzando todos los sujetos por el peso de la propia barra (20 kg). A partir de esta primera resistencia, el resto de las series se realizó con 5 o 10 kg más en función de la velocidad desarrollada por el sujeto con el peso precedente. Se pretendió que no se realizaran más de cuatro series hasta determinar la REE. La recuperación entre series fue completa (3 min).

Por otro lado, una vez establecida la REE, cada sujeto experimentó el protocolo de EEP inductor de la potenciación. La intensidad de la corriente fue incrementada gradualmente hasta alcanzar la máxima tolerable por cada sujeto, siendo este valor registrado. Mediante el empleo de un lápiz dérmico, se dibujó el contorno de cada electrodo sobre la piel del sujeto. **Sesión principal.** A la llegada al lugar de evaluación, los sujetos se sentaron y descansaron durante 20 minutos antes de comenzar el protocolo preestablecido. A continuación los sujetos ejecutaron el si-

guiente protocolo: a) Calentamiento estandarizado, igual al realizado en la sesión de familiarización; b) Dos minutos de reposo tras el calentamiento, tiempo necesario para la ubicación del sujeto en la posición estandarizada (posición previa a la ejecución del movimiento de evaluación) y para la predisposición de éste para las siguientes fases del protocolo; c) Evaluación de la P_{máx} (P₀) y T_{pmáx} (T_{P0}) en estado “no potenciado”. Los sujetos efectuaron el movimiento de evaluación y ante la REE establecida en la sesión de familiarización. Se realizaron tres repeticiones del movimiento de evaluación con 30” de recuperación entre cada intento. A los sujetos se les recordó reiteradamente que cada una de estas tres repeticiones debía realizarse con una intensidad máxima. El mejor de los tres intentos –tomando como referencia la P_{máx}– fue seleccionado como valor de referencia en estado no potenciado; d) Cinco minutos de reposo absoluto, esto es, se procuró que los sujetos realizaran el menor número de movimientos posible. Por ello, los sujetos permanecieron en decúbito supino sobre el propio banco de musculación sobre el que se realizó el movimiento de evaluación. Durante este intervalo de tiempo, los electrodos fueron colocados sobre el tríceps braquial en ambos brazos. La colocación se realizó sobre las marcas dérmicas realizadas en la sesión de familiarización y, por tanto, la posición de los electrodos fue idéntica en ambas sesiones. e) Inducción de la PPT mediante EEP. El valor de intensidad máxima tolerada por cada sujeto, obtenido en la sesión de familiarización, se tomó como referencia. Sin embargo, se pretendió incrementar este valor hasta alcanzar el umbral del dolor de cada sujeto, comprobándose como la intensidad media alcanzada por el total de la muestra, fue 13 mA superior a la recogida en la sesión anterior. f) Evaluación de la P_{máx} y T_{pmáx} en estado “potenciado”. Inmediatamente finalizado el programa de EEP inductor de la PPT, se volvió a ejecutar el movimiento de evaluación ante la REE. Éste se efectuó en cada uno de los siguientes instantes: 5 s (T1), 30 s (T2), 60 s (T3), 180 s (T4) y 300 s (T5); una vez finalizada la estimulación eléctrica. Así por ejemplo, en el T1 se obtuvieron los va-

lores P1 –referido al valor de la P_{máx} en el T1– y TP1 –que indica el valor del T_{pmáx} en el instante T1–, en el T2 los valores P2 y TP2,... y así sucesivamente. En cada uno de los momentos preestablecidos durante el estado “potenciado” (T1, T2, T3, T4 y T5), el movimiento de evaluación se realizó una sola vez, de ahí que se le informase reiteradamente a cada sujeto (especialmente durante la aplicación de la EEP) sobre la necesidad de aplicar la máxima intensidad en cada una de las ejecuciones.

Medidas

Las medidas realizadas sobre cada ejecución del movimiento de evaluación han sido la P_{máx} y el T_{pmáx}. Por un lado, la P_{máx} denota el mayor valor de potencia obtenido en todo el movimiento, y se expresa en vatios (W). Por otro, el T_{pmáx} indica el tiempo necesario para alcanzar el máximo valor de potencia, y se expresa en milisegundos (ms). La medición se realizó en el modo Test Manual del Isocontrol Dinámico 3.0. Bajo este modo, el registro de cada repetición se pudo ajustar a los instantes preestablecidos (T0, T1, T2, T3, T4 y T5).

Estadística

El registro de los datos y el tratamiento gráfico de los mismos se llevó a cabo en la Hoja de Cálculo Excel (Microsoft Windows 2000), mientras que el tratamiento estadístico se efectuó mediante el programa estadístico SPSS 10.0 para Windows. Se aplicó el análisis de varianza para me-

didias repetidas, comparando los valores de P_{máx} y T_{pmáx} en los momentos preestablecidos (T0, T1, T2, T3, T4 y T5) para determinar las diferencias significativas entre las diferentes medidas para cada sujeto. Así mismo, se emplearon las pruebas de contraste intra-sujetos para poder determinar en cual de los momentos preestablecidos acontecen diferencias significativas entre el estado “no potenciado” y el “potenciado”. Un valor de $P < 0,05$ se seleccionó como nivel de significación.

Resultados

Referentes

a la potencia máxima (P_{máx})

La P_{máx} no aumentó de forma significativa durante el estado potenciado. Así, mediante el análisis de varianza de medidas repetidas no se encuentran diferencias significativas ($P = 0,057$) en los valores adoptados por esta variable en cada uno de los momentos de medición preestablecidos tanto en el estado “no potenciado” (P₀) como “potenciado” (P1 a los 5 s, P2 a los 30 s, P3 a los 60 s, P4 a los 180 s y P5 a los 300 s). (Tabla 2)

Así mismo, como existen indicios de significación, se procedió a realizar un análisis de contraste a posteriori mediante las pruebas de contrastes intra-sujetos. De esta forma, se comprueba la existencia de una diferencia significativa ($P < 0,05$) entre el valor de la P_{máx} en estado no potenciado (P₀) y el valor de la P_{máx} en el momento P2. (Tabla 3)

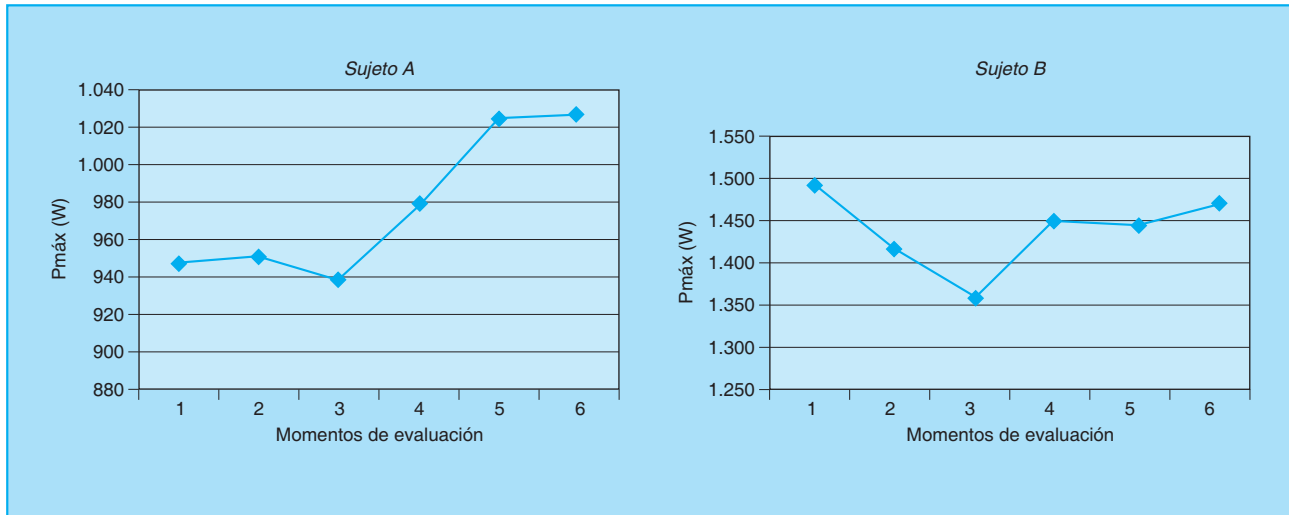
■ TABLA 2.
Valores estadísticos derivados del análisis factorial de la varianza para la P_{máx}.

VARIABLE	GI	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIGNIFICACIÓN
P _{máx}	3	13435,62	2,17	,076

■ TABLA 3.
Valores estadísticos derivados de la prueba de contraste intra-sujetos para la variable P_{máx}.

MOMENTOS COMPARADOS	GI	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIGNIFICACIÓN
P1-P0	1	19302,47	4,95	,057
P2-P0	1	36967,75	6,27	,037
P3-P0	1	24672,03	,70	,427
P4-P0	1	4869,24	,47	,511
P5-P0	1	3199,41	,34	,572

■ FIGURA 1. Evolución de la potencia máxima (Pmáx) en los momentos preestablecidos de evaluación en dos sujetos de la muestra (A y B).



La figura 1 ilustra un ejemplo representativo de la evolución de la Pmáx en los momentos de evaluación seleccionados en los estados “no potenciado” y “potenciado” en dos sujetos participantes del estudio. En ambas gráficas, se comprueba la enorme variabilidad existente en ambos casos. Así, el sujeto A generó un incremento del 8,47 % en el P5 (300s) respecto al valor de Pmáx generado en el estado “no potenciado”. Sin embargo, el sujeto B obtiene valores de Pmáx inferiores al obtenido en estado “no potenciado” en todos los momentos de evaluación post-tetánica. Con todo, el valor de *P* obtenido por esta variable está próximo a su significatividad.

Referentes al tiempo necesario para alcanzar la potencia máxima (Tpmáx)

El Tpmáx decreció de forma significativa durante la evaluación efectuada en el “estado potenciado”. Así, mediante el análisis factorial de la varianza se encuentra diferencias significativas (*P* < 0,05) en los valores adoptados por esta variable en todos los momentos de medición preestablecidos (T1 a los 5 s, T2 a los 30 s, T3 a los 60 s, T4 a los 180 s y T5 a los 300 s) (Tabla 4).

Por otro lado, mediante las pruebas de contrastes intra-sujetos se comprueba la existencia de una diferencia significativa

(*P* < 0,05) entre el valor de la Tpmáx en estado no potenciado (PO) y el valor de la Tpmáx en el momento T1, T4 y T5 (Tabla 5).

La figura 2 ilustra un ejemplo representativo de la evolución del Tpmáx generado por un sujeto, en los diferentes momentos de evaluación planificados en los estados “no potenciado” y “potenciado”. Esta gráfica ha sido seleccionada por poderse considerar representativa de la tendencia adoptada por esta variable en todos los sujetos. Así, en este caso, el sujeto experimenta una reducción máxima del Tpmáx de un 6,3 % (25 ms) en el momento T1 (a los 5 s del comienzo del “estado potenciado”), este porcentaje se aumentó ligeramente a lo largo de los diferentes momentos de evaluación alcanzando su valor mayor en el T5 (7,3 %). (Figura 2)

■ TABLA 4. Valores estadísticos derivados del análisis factorial de la varianza para el Tpmáx.

VARIABLE	GI	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIGNIFICACIÓN
Tpmáx	5	6740,65	3,75	,007

■ TABLA 5. Valores estadísticos derivados de la prueba de contraste intra-sujetos para la variable Tpmáx.

MOMENTOS COMPARADOS	GI	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIGNIFICACIÓN
T1-T0	1	38809,0	9,48	,015(*)
T2-T0	1	19321,0	4,68	,062
T3-T0	1	31565,4	4,41	,069
T4-T0	1	38416,0	6,27	,037(*)
T5-T0	1	52441,0	8,86	,018(*)

Discusión

El principal hallazgo del presente estudio es que, sobre un gesto dinámico de carácter multiarticular y generado mediante una acción concéntrica de carácter voluntario, los dos parámetros mecánicos seleccionados (Pmáx y Tpmáx) para cuantificar el efecto de la PPT tienden a mejorar en cada uno de los sujetos estudiados tras la aplicación de un estímulo inductor mediante EEP.

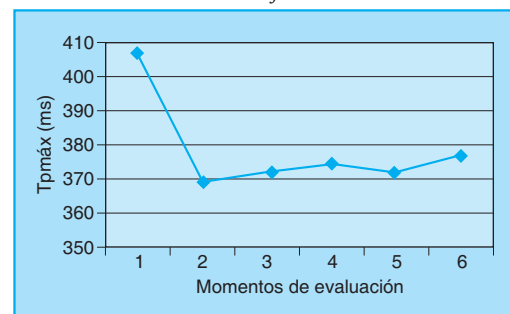
Sólo se ha revisado un estudio en el que se ha medido el efecto de la PPT sobre una acción dinámica concéntrica de carácter voluntario. En éste, Stuart y cols. (1988) cuantificaron el efecto de la PPT sobre la máxima velocidad de extensión de rodilla. Comprobaron como tras la aplicación del estímulo inductor de PPT, la máxima velocidad de extensión tendía a ser mayor en el estado potenciado, aunque dicho incremento (5 %) no fue estadísticamente significativo. En este trabajo, el estímulo inductor consistió en una CMV isométrica de 10 s del cuádriceps con una angulación de rodilla de 90°. Tras la aplicación del estímulo inductor, los sujetos realizaron extensiones máximas de rodilla a los 20, 30, 40, 60 y 120 s. La comparación de los procedimientos empleados entre el trabajo previamente citado y el presente estudio, suscita interés por ser ambos, las únicas investigaciones que han cuantificado la PPT sobre una acción dinámica concéntrica en la musculatura humana y sobre gestos de ejecución similar. Sin embargo, el estudio de Stuart *et al.* (1988) se diferencia fundamentalmente del presente trabajo en que, por un lado, se ha empleado como estímulo inductor de la PPT una CMV de carácter isométrico y, por otro, se ha evaluado el efecto de la PPT sobre una acción concéntrica sin resistencia externa.

Así, en primer lugar, el empleo de una CMV como estímulo inductor de la PPT ha sido ampliamente utilizado en la literatura revisada (Alway y cols., 1987; Belanger y cols., 1983; Green y Jones, 1989; Hamada y cols., 1997; Houston y Grange, 1990, 1991; Petrella y cols., 1989; Stuart y cols., 1988; Vandervoort y McComas, 1986; Vandervoort y cols., 1983), comprobándose como su empleo se ha efectuado en número de estudios mayor que la EEP. En ciertos trabajos (Vandervoort y McComas, 1983, 1986) se han observado aumentos de la PPT mayores mediante el empleo de CMV como estímulo inductor frente a la EEP. O'leary *et al.* (1997) sugieren que la razón más probable ante este fenómeno es que mediante el empleo de la CMV como estímulo inductor de la PPT, un

mayor número de grupos musculares –sinérgicos y fijadores– se potencien y, por tanto, esto resulta en un mayor número de fibras musculares en estado potenciado. Sin embargo, existen varios factores que argumentan que la EEP frente a la CMV, constituye un medio más eficiente para inducir la PPT: 1. La principal limitación del uso de la CMV para provocar la PPT es la incapacidad de algunos sujetos de activar completamente sus músculos. Esto conlleva que no se alcance una potenciación máxima y por tanto, se cause una mayor variación intersujeto (O'Leary y cols., 1997, 1998). 2. El empleo de la EEP a un nivel máximo y constante (O'Leary y cols., 1997), además de producir una activación completa del grupo muscular deseado, permite medir la capacidad de producción de F de los músculos independientemente de la voluntad, del nivel de habilidad y especialmente, del grado de motivación de los sujetos (Petrella y cols., 1989). 3. El empleo de EEP como medio para inducir la PPT en un grupo muscular determinado, resultará más útil, en tanto que se propicia un reclutamiento preferente de las unidades motrices de contracción rápida, y en consecuencia, se generará una mayor PPT por el mayor contenido miofibrilar de CLM de este tipo de fibras (tipo II) (Hamada y cols., 2000b).

Por otro lado, Stuart *et al.* (1988) emplearon como movimiento de evaluación, la extensión monopodal de rodilla sin resistencia externa. En este movimiento, al realizarse sobre una resistencia externa inapreciable, no se puede llegar a manifestar la fuerza explosiva máxima (Zatsiorsky, 1995). Este valor de fuerza se define como la *máxima producción de fuerza por unidad de tiempo* (Siff y Verkoshansky, 1995), y en el se sugiere que el reclutamiento de las unidades motrices fásicas es el máximo voluntario. Así, Hakkinen *et al.* (1984) muestran que este valor de fuerza se alcanza con dos condiciones, por un lado, la resistencia externa se aproxima al ~30 % de la FIM y, por otro, la velocidad media que el sujeto desarrolla es de ~1 m/s. Así mismo, teniendo en cuenta

■ FIGURA 2.
Evolución de la TPmáx en los momentos preestablecidos de evaluación en un sujeto de la muestra.



que el principal factor determinante de la magnitud de la PPT es el tipo de fibra muscular (Hamada y cols., 2000a, 2000b), pues en humanos se demuestra cómo los grupos musculares con los menores tiempos de contracción y la mayor proporción de fibras rápidas (tipo II) muestran la mayor PPT (Hamada y cols., 1997, 2000b; Moore y cols., 1985; O'Leary y cols., 1997).

Con todo, se sugiere que las características del movimiento seleccionado para evaluar la PPT deben ajustarse para así, lograr que en su ejecución se recluten el máximo número de unidades motrices fásicas (o de contracción rápida). Por ello en el presente trabajo: a) Se empleó la resistencia externa en la que cada sujeto desarrollaba su fuerza explosiva máxima, y b) La mecánica del gesto seleccionado fue la de una cadena cinética cerrada y de empuje, en la que la resistencia externa (barra guiada) se tenía que lanzar. La posibilidad de proyectar la resistencia externa, permite al sujeto aumentar la velocidad de la barra guiada durante todo el recorrido en el que ésta se encuentra en contacto con el sujeto (Wilson y cols., 1996).

En consecuencia, se sugiere que en el movimiento de evaluación seleccionado en el presente estudio, y a partir de los condicionantes anteriormente citados, el sujeto desarrollará el máximo reclutamiento voluntario de unidades motrices fásicas y, por tanto, manifestará en mayor grado la magnitud de la PPT. Sin embargo, Gardner (2002) señala que el reclutamiento de unidades motrices en acciones dinámicas

concéntricas a máxima velocidad es un fenómeno aún desconocido. En este sentido, destaca el trabajo de Kossev y Christova (1998) en el que observaron como los movimientos concéntricos provocan una descarga inicial de alta frecuencia (pulsos de alta frecuencia inicial) seguidos por intervalos más amplios entre pulsos (frecuencias más bajas). Estos autores demuestran como la mayor relación fuerza-tiempo se produce al inicio del movimiento, durante la fase estática del movimiento, para vencer la inercia de la resistencia externa. Estos resultados concuerdan con el concepto de fuerza inicial propuesto por Siff y Verkhoshansky (1995). Según este autor, la fuerza inicial es la fuerza que se produce durante los primeros 30 ms del movimiento y bajo condiciones isométricas. Así mismo, González-Badillo (2000) considera que el máximo valor de fuerza inicial coincide con la fuerza explosiva máxima anteriormente nombrada. Además, la fuerza inicial es considerada dependiente de factores genéticos, es decir, es un valor de fuerza difícilmente mejorable mediante el entrenamiento.

Asimismo, ante resistencias muy ligeras o inexistentes, como ocurría en el estudio de Stuart *et al.* (1988), cabría la posibilidad de que la fuerza inicial no llegara a manifestarse en su máximo valor, y por tanto no se alcanzase la fuerza explosiva máxima (González-Badillo, 2000). Con todo, se puede plantear como hipótesis que el mayor reclutamiento voluntario de unidades motrices fásicas que un sujeto puede realizar en un determinado movimiento y en una acción muscular concéntrica, se producirá ante una resistencia externa en la que se genere la fuerza explosiva máxima y, por tanto, el mayor valor de fuerza inicial.

Por otro lado, en el presente trabajo se incluyen otros elementos, a parte de los anteriormente mencionados, que lo diferencian igualmente del trabajo de Stuart *et al.* (1988) y que argumentan las mejoras en la magnitud de la PPT obtenidas. En este sentido, se ha seleccionado un gesto que habitualmente los sujetos lo incluyen en su rutina de entrenamiento semanal, con lo que se pretendió eli-

minar la variable contaminante efecto del aprendizaje (Rutherford y Jones, 1986). Además, el hecho de que sea un gesto habitualmente practicado y entrenado, favorecerá la manifestación de una mayor PPT. Así, Hamada *et al.* (2000a) comprobaron como la PPT era significativamente mayor en los músculos entrenados con el entrenamiento tanto de fuerza como de resistencia, frente a la PPT observada en los grupos musculares no entrenados. Así mismo, la muestra seleccionada ha sido homogénea en cuanto a los factores edad, sexo y nivel de condición física, factores influyentes en la magnitud de la PPT (Pääsuke y cols., 1999, 2000).

En otro sentido, para la valoración de la PPT se han seleccionado dos parámetros mecánicos hasta ahora inéditos en la bibliografía afín a la PPT: la potencia máxima (W) y el tiempo empleado en alcanzarla (ms). De acuerdo con González-Badillo (2000) *lo que interesa medir en el deporte es la fuerza aplicada, pues de ella depende la potencia que se pueda generar, que es, desde el punto de vista del rendimiento físico, el factor determinante del resultado deportivo*. Así mismo, este mismo autor, considera que en la evaluación de la potencia será necesario determinar tanto el pico máximo ($P_{m\acute{a}x}$), como la relación entre $P_{m\acute{a}x}$ y el tiempo empleado para conseguirla ($T_{p_{m\acute{a}x}}$). Esta concepción de la $P_{m\acute{a}x}$ y de la $T_{p_{m\acute{a}x}}$ como descriptores mecánicos de la eficiencia de un gesto deportivo ha sido igualmente propuesto por otros autores (Siff y Verkhoshansky, 1995; Zatsiorsky, 1995). La lógica de este planteamiento reside en que la casi totalidad de especialidades deportivas tienen como objetivo alcanzar un determinado valor de fuerza y velocidad (potencia máxima) al mismo tiempo que se mantiene o se reduce el tiempo para conseguirlo (tiempo para la potencia máxima) (González-Badillo, 2000), por lo que sería necesario medir y valorar tanto el pico de fuerza y velocidad ($P_{m\acute{a}x}$) y el tiempo empleado en conseguirlo ($T_{p_{m\acute{a}x}}$).

Por otro lado, a excepción de Stuart *et al.* (1988), el resto de los trabajos revi-

sados que han provocado la PPT mediante EEP en grupos musculares del cuerpo humano, han evaluado la magnitud de la PPT en acciones isométricas. En todos ellos, la PPT provoca un incremento estadísticamente significativo de la FIM y una disminución (generalmente significativa) en el TFIM y el TR1/2 (Hamada y cols., 2000a, 2000b; O'Leary y cols., 1997, 1998; Vandervoort y McComas, 1986). Además, en estos trabajos, durante el estado potenciado, la magnitud de la PPT se evaluó mediante acciones isométricas provocadas exógenamente mediante EEP y, por tanto, sin la participación voluntaria del sujeto. En consecuencia, existen muchas diferencias metodológicas como para poder establecer comparaciones con los resultados obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, a la luz de los resultados obtenidos en este trabajo, se comprueba como la tendencia es similar a la observada en los trabajos anteriormente citados. Esto es, durante el estado potenciado, el tejido muscular esquelético presenta una mayor capacidad contráctil que se manifiesta en una mayor fuerza generada y en un menor tiempo de aplicación de la misma. En el presente trabajo, se comprueba como el $T_{p_{m\acute{a}x}}$ llega a reducirse en 25 ms en algunos sujetos, mientras el valor de la potencia se mantiene o incluso aumenta, lo cual, desde el punto de vista del rendimiento deportivo es un resultado sorprendente, si se tiene en cuenta que la mayor parte de los gestos deportivos explosivos tienen una duración inferior a 300 ms. Con todo, y a pesar de que no se han empleado los medios técnicos para evidenciar el mecanismo fisiológico responsable de la tendencia observada en cada uno de los sujetos. Esto es, generar más potencia (indicios de significatividad) y en menos tiempo (significativa en los momentos T1, T4 y T5, $P < 0,05$), si se puede concluir que la aplicación del programa de potenciación del electro-estimulador *Compex Sport 3* sobre el tríceps braquial y sobre el gesto de evaluación seleccionado, provocó una mejora en la ejecución mecánica del gesto seleccionado.

Referencias bibliográficas

- Abbate, F.; Sargeant, A. J.; Verdijk, P. W. L. y de Haan, A. (2000). Effects of high-frequency initial pulses and posttetanic potentiation on power output of skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* (88), 35-40.
- Alway, S. E.; Hughson, R. L.; Green, H. J.; Patla, A. E. y Frank, J. S. (1987). Twitch potentiation after fatiguing exercise in man, *Eur. J. Appl. Physiol.* (56), 461-466.
- Belanger, A. Y.; McComas, A. J. y Elder, G. B. C. (1983). Physiological properties of two antagonistic human muscle groups. *Eur. J. Appl. Physiol.* (51), 381-393.
- Decostre, V.; Gillis, J. M. y Gailly, P. (2000). Effect of adrenaline on the post-tetanic potentiation in mouse skeletal muscle. *J. Muscle Res. Cell. Mot.* (21), 247-254.
- Dudley, G. A. y Harris, R. T. (1992). Use of electrical stimulation in strength and power training. (pp. 329-337) En P. V. Komi, *Strength and Power in Sport*. Boston: Blackwell Scientific.
- Eusebi, F.; Miledi, R. y Takahashi, T. (1980). Calcium transients in mammalian muscles. *Nature* (284), 560-561.
- García, J. M. (1999). *La Fuerza*. Madrid: Gymnos.
- Gardiner, P. F. (2002). *Neuromuscular aspects of physical activity*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Gibson, A. S. C.; Lambert, M. I. y Noakes, T. D. (2001). Neural control of force output during maximal and submaximal exercise. *Sports Med.* (31), 637-650.
- González, J. J. (2000). Concepto y medida de la fuerza explosiva en el deporte. Posibles aplicaciones al entrenamiento. *Revista de Entrenamiento Deportivo* (1), 5-16.
- Grange, R. W.; Vandenboom, R.; Xenii, J. y Houston, M. E. (1998). Potentiation of in vitro concentric work in mouse fast muscle, *J. Appl. Physiol.* (84), 236-243.
- Green, H. J. y Jones, S. R. (1989). Does post-tetanic potentiation compensate for low frequency fatigue?, *Clin. Physiol.* (9), 499-514.
- Hakkinen, K.; Alen, M. y Komi, P. V. (1984). Neuromuscular anaerobic and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* (53), 97-105.
- Hamada, T.; Sale, D. G. y MacDougall, J. D. (2000a). Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Med. Sci. Sports. Exerc.* (32), 403-411.
- Hamada, T.; MacDougall, J. D.; Sale, D. G. y Moroz, J. (1997). Twitch potentiation of triceps surae and triceps brachii following voluntary contraction in trained athletes and sedentary controls. *Med Sci Sports Exerc.* (29), Suppl. 5, p. S26.
- Hamada, T.; Sale, D. G.; MacDougall, J. D. y Tarnopolsky, M. A. (2000b). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J. Appl. Physiol.* (88), 2131-2137.
- Hicks, A. L.; Cupido, C. M.; Martin, J. y Dent, J. (1991). Twitch potentiation during fatiguing exercise in the elderly: the effects of training. *Eur J Appl Physiol.* (63), 278-281.
- Houston, M. E. y Grange, W. R. (1990). Myosin phosphorylation, twitch potentiation, and fatigue in human skeletal muscle. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (68), 908-913.
- (1991). Torque potentiation and myosin light chain phosphorylation in human muscle following a fatiguing contraction. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (69), 269-273.
- (1985). Myosin light chain phosphorylation and isometric twitch potentiation in intact human muscle. *Pflügers Arch.* (403), 348-352.
- Kossev, A. y Christova, P. (1998). Discharge pattern of human motor units during dynamic concentric and eccentric contractions. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Electromyogr. Motor Control* (109), 245-255.
- Maffiuletti, N. A.; Pensini, M. y Martin, A. (2002). Activation of human plantar flexor muscles increases after electromyostimulation training, *J. Appl. Physiol.* (92), 1383-1392.
- McIntosh, B. R. y Gardiner, P. F. (1987). Post-tetanic potentiation and skeletal muscle fatigue: interactions with caffeine. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (65), 260-268.
- Moore, R. L.; Houston, M. E.; Iwamoto, G. A. y Stull, J. T. (1985). Phosphorylation of rabbit skeletal muscle myosin in situ. *J. Cell. Physiol.* (125), 301-305.
- Moore, R. L. y Stull, J. T. (1984). Myosin light chain phosphorylation in fast and slow skeletal muscles in situ. *Am. J. Physiol.* (247), C462-C471.
- O'Leary, D. D.; Hope, K. y Sale, D. G. (1997). Posttetanic potentiation of human dorsiflexors. *J. Appl. Physiol.* (83), 2131-2138.
- (1998). Influence of gender on post-tetanic potentiation in human dorsiflexors. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (76), 772-779.
- Pääsuke, M.; Ereline, J. y Gapeyeva, H. (1999). Comparison of twitch contractile properties of plantarflexor muscles in young and middle-aged men. *Acta Kinesiol. Univ. Tartu.* (4), 161-170.
- (2000). Twitch contraction properties of plantar flexion muscles in pre- and post-pubertal boys and men. *Eur. J. Appl. Physiol.* (82), 459-464.
- Patel, J. R.; Diffe, G. M.; Huang, X. P. y Moss, R. L. (1998). Phosphorylation of myosin regulatory light chain eliminates force-dependent changes in relaxation rates in skeletal muscle. *Biophys. J.* (74), 360-368.
- Petrella, R. J.; Cunningham, D. A.; Vandervoort, A. A. y Paterson, D. H. (1989). Comparison of twitch potentiation in the gastrocnemius of young and elderly men. *Eur. J. Appl. Physiol.* (58), 395-399.
- Rassier, D. E.; Tubman, L. A. y MacIntosh, B. R. (1997). Length-dependent potentiation and myosin light chain phosphorylation in rat gastrocnemius muscle. *Am. J. Physiol.* (273), C198-204.
- Rutheford, O. M. y Jones, D. A. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.* (55), 100-105.
- Siff, M. C. y Verkoshansky, Y. V. (2001). *Superentrenamiento*. Barcelona: Paidotribo.
- Stuart, D. S.; Lingley, M. D.; Grange, R. W. y Houston, M. E. (1988). Myosin light chain phosphorylation and contractile performance of human skeletal muscle. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (66), 49-54.
- Sweeny, H. L.; Bowman, B. F. y Stull, J. T. (1993). Myosin light chain phosphorylation in vertebrate striated muscle: regulation and function. *Am. J. Physiol. Cell. Physiol.* (264), C1085-C1095.
- Tubman, L. A.; MacIntosh, B. R. y Maki, W. A. (1996a). Myosin light chain phosphorylation and posttetanic potentiation in fatigued skeletal muscle. *Pflugers Arch.* (431), 882-887.
- Tubman, L. A.; Rassier, D. E. y MacIntosh, B. R. (1996b). Absence of myosin light chain and twitch potentiation in atrophied skeletal muscle. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (74), 723-728.
- Vandervoort, A. A. y McComas, A. J. (1983). A comparison of the contractile properties of the human gastrocnemius and soleus muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* (51), 435-440.
- (1986) Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. *J. Appl. Physiol.* (61) 361-367.
- Vandervoort, A. A.; Quinlan, J. y McComas, A. J. (1983). Twitch potentiation after voluntary contraction. *Exp. Neurol.* (81), 141-152.
- Wilson, G. J.; Murphy, A. J.; Walshe, A. D. y Ness, K. (1996). Stretch shorten cycle performance: detrimental effects of not equating the natural and movement frequencies. *Res. Quarterly Exerc. Sport.* (67), 373-379.
- Zatsiorsky, V. M. (1995). *Science and practice of strength training*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.

Efecte de la inducció de la potenciació posttetànica muscular sobre els factors de rendiment en un gest dinàmic del tren superior

■ **BERNARDO REQUENA SÁNCHEZ**

■ **MIKEL ZABALA DÍAZ**

■ **IGNACIO CHIROSA RÍOS**

Llicenciats en Educació Física

■ **PAULINO PADIAL PUCHE**

■ **MANUEL MARTÍNEZ MARÍN**

Doctors en Educación Física.

Departament d'Educació Física i Esportiva. Universitat de Granada

■ **Paraules clau**

Potenciació posttetànica, Eficiència mecànica, Estimulació elèctrica percutània, Potència muscular

■ Abstract

Posttetanic potentiation (PTP) was induced by means of the electrical stimulator unit Compex Sport 3 on triceps brachialis of 9 team handball players of an intermediate competitive level. By means of an intra subject design or of repeated measures the magnitude of the PTP was evaluated at 5 pre-established moments (5 s, 30 s, 60 s, 180 s, 300 s) after the cessation of the percutaneous electrical stimulation (PES). The magnitude of the PTP was measured by extensions of the triceps and by use of the dynamometer Isocontrol Dinámico 3.0. This dynamometer measured the descriptions of the mechanical efficiency of the selected gesture: maximum power ($P_{m\acute{a}x}$) and the time necessary to reach it ($T_{p_{m\acute{a}x}}$). It was observed that the $P_{m\acute{a}x}$ did not increase significantly in the potentiated state although slight changes were observed ($P = 0.057$). On the contrary, the $T_{p_{m\acute{a}x}}$ decreased significantly during the potentiated state. In addition, there existed a significant difference ($P < 0.05$) between the value of the $T_{p_{m\acute{a}x}}$ in non-potentiated state (P0) and the value of the $T_{p_{m\acute{a}x}}$ in potentiated state at the moments T1, T4 and T5. The data indicate that the PTP caused an improvement in the mechanical efficiency of the specific gesture.

■ Key words

Posttetanic potentiation, Mechanical efficiency, Percutaneous electrical stimulation, Muscular power

Resum

La potenciació posttetànica (PPT) va ser induïda mitjançant l'electroestimulador Compex Sport 3 sobre el tríceps braquial de 9 jugadors d'handbol de nivell competitiu mitjà. A través d'un disseny intra-subjecte o de mesures repetides, es va avaluar la magnitud de la PPT en 5 moments preestablerts (5 s, 30 s, 60 s, 180 s i 300 s) després del cessament de l'estimulació elèctrica percutània (EEP). La magnitud de la PPT es va quantificar sobre el gest d'"extensions de tríceps ajaguts" i mitjançant l'ús del dinamòmetre Isocontrol Dinàmic 3.0. Aquest dinamòmetre va mesurar els descriptors de l'eficiència mecànica del gest seleccionat: potència màxima ($P_{m\acute{a}x}$) i el temps necessari per assolir-la ($T_{p_{m\acute{a}x}}$). Es va observar que la $P_{m\acute{a}x}$ no va augmentar de forma significativa en l'estat "potenciat" encara que es van observar indicis de significació ($P = 0.057$). Per contra, el $T_{p_{m\acute{a}x}}$ va disminuir de forma significativa durant l'"estat potenciat". A més a més, hi va haver una diferència significativa ($P < 0.05$) entre el valor del $T_{p_{m\acute{a}x}}$ en estat "no potenciat" (P0) i el valor del $T_{p_{m\acute{a}x}}$ en estat "potenciat" en els moments T1, T4 i T5. Les dades indiquen que la PPT va provocar una millora en l'eficiència mecànica del gest realitzat.

Introducció

És assumit comunament que l'activitat prèvia pot influir en el funcionament posterior del múscul esquelètic (Abbate i col., 2000). L'activació muscular precedent a la contracció pot produir tant una disminució de la capacitat de rendiment neuromuscular (produint fatiga i entenent aquesta com un decreixement en la producció de força –F– (Gibson i col., 2001) com augmentar-la. Aquest increment en la F desenvolupada com a resultat d'una activació prèvia és anomenada potenciació (Abbate i col., 2000). D'aquesta forma, la F de contracció és més gran després d'una breu tetània muscular que abans d'aquesta. Aquest increment és anomenat potenciació posttetànica (PPT). En humans, la PPT s'ha evocat de manera exògena mitjançant contraccions voluntàries de caràcter màxim (CVM) no superiors a 10 s de durada (Alway i col., 1987; Green i Jones, 1989; Houston i Grange, 1985; Petrella i col., 1989; Vandervoort i col., 1983) o mitjançant estimulació elèctrica percutània (EEP) de caràcter tetànic (Hamada i col., 1997, 2000a, 2000b; O'Leary i col., 1997, 1998; Pääsuke i col., 1999, 2000). Igualment, la potenciació pot desencadenar-se de forma endògena, en general a través de polsos d'alta freqüència inicial, fenomen esdevingut a l'inici de moviments balístics (Abbate i col., 2000).

Després de l'aplicació de l'estímul inductor de la potenciació (múscul en "estat potenciat"), la magnitud de la PPT minva fins als valors basals (propis de l'estat "no potenciat") en un període de temps que oscil·la entre 5 i 20 min, amb un temps mitjà de 10 min (Houston i Grange, 1985; O'Leary i col., 1997; Vandervoort i col., 1983).

Als estudis revisats en què s'ha induït de manera exògena la PPT, aquesta s'ha mesurat mitjançant accions musculars isomètriques generades per polsos elèctrics aïllats i sobre gests monoarticulats. Només s'ha revisat un estudi en què s'ha avaluat l'efecte de la PPT sobre un gest dinàmic de caràcter voluntari (Stuart i cols., 1988). En aquests treballs s'ha mostrat com la inducció exògena de la PPT, provoca un increment significatiu de la punta de força màxima i una disminució igualment significativa del temps per arribar-hi (Alway i col., 1987; Hamada i col., 2000a, 2000b; O'Leary i col., 1997, 1998; Petrella i col., 1989). A més a més, es comprova que la PPT s'associa a un ritme de producció de força per unitat de temps incrementat (O'Leary i col., 1997; Palmer i Moore, 1989; Vanderboom i col., 1995). Així per exemple, Hamada i col. (2000b) mostren un increment en la força màxima isomètrica (FMI) d'un 70,6 % respecte a la FMI observada en estat "no potenciat" del quàdriceps de subjectes sedentaris.

Entre els diversos processos fisiològics que expliquen la major capacitat contràctil del teixit muscular esquelètic després de la inducció exògena de la PPT, la fosforilació de la cadena lleugera de miosina reguladora (CLMr) (Decostre i col., 2000; Grange i col., 1998; Patel i col., 1998; Rassier i col., 1997) i la incrementada disponibilitat de Ca^{2+} intracel·lular durant l'activació muscular esdevinguda en l'"estat potenciat" (Pääsuke i col., 2000; Tubman i col., 1996a, 1996b), constitueixen els dos mecanismes principals a l'hora d'explicar la PPT. La magnitud de la PPT es troba afectada per les característiques dels músculs avaluats i més concretament pel tipus de fibra muscular (O'Leary i col., 1997). En humans es demostra que els grups musculars amb els temps de contracció més

curts i la major proporció de fibres ràpides (tipus II) mostren la major PPT (Hamada i col., 2000a, 2000b; O'Leary i col., 1997, 1998). Així per exemple, els gastrocnemis, amb més percentatge de fibres tipus II, mostren un major PPT que no pas el solí (Vandervoort i col., 1983). La major magnitud de la PPT a les fibres tipus II probablement està relacionada amb la seva major capacitat per a fosforilar les CLMr en resposta a una alta freqüència d'estimulació (Hamada i col., 2000a, 2000b; Hicks i col., 1991). En aquest sentit, es comprova que l'activitat de la quinasas de la CLMr és tres vegades més gran en fibres tipus II davant de fibres tipus I (Eusebi i col., 1980) i, contràriament, l'activitat de la fosfatasa de la CLMr és aproximadament quatre vegades més gran a les fibres tipus I (Moore i Stull, 1984; Stuart i col., 1988). D'altra banda, s'ha mostrat que durant l'aplicació d'EEP es produeix un aplegament selectiu i preferent de les unitats motrius de contracció ràpida (Dudley i Harris, 1992; Maffiuletti i col., 2002). En aquest sentit, se suggereix que l'ús d'EEP com a mitjà per induir la PPT en un grup muscular determinat, resultarà més útil, per tal com es propicia un aplegament preferent de les unitats de contracció ràpida i, per tant, es generarà una major PPT. En aquest treball es pretén de comprovar l'efecte que tindria la inducció de la PPT mitjançant EEP sobre els paràmetres mecànics de rendiment d'un gest multiarticular dinàmic concèntric en ésser avaluat mitjançant un dinamòmetre específic en diferents moments de l'estat potenciat.

Material i mètode

Subjectes

Hi van participar nou individus sans de gènere masculí. Les seves característiques físiques es troben recollides a la *Taula 1*. Tots són jugadors d'handbol pertanyents a la Divisió d'Honor B masculina nacional. Cap no va presentar, al seu historial mèdic, trastorns neuromusculars. Els subjectes no van participar en programes d'entrenament de força del tren superior en les 72 h prèvies. Se'ls va recomanar abstenir-se d'ingerir cafeïna en les 24 h

■ TAULA 1.

Edat i principals dades antropomètriques de la mostra seleccionada.

VARIABLE	VALOR MOSTRAL (MITJANA ± DT)
Edat	22,7 ± 2,9
Alçada (cm)	181,0 ± 7,9
Massa corporal (kg)	79,8 ± 8,6

precedents a l'experiment (McIntosh i Gardiner, 1987). Els subjectes van participar sota consentiment informat.

Material

La magnitud de la PPT es va avaluar mitjançant la utilització del dinamòmetre Isocontrol Dinàmic 3.0 (JLML I+D, Madrid, Espanya). Aquest dinamòmetre posseeix un sensor extern que li permet de realitzar un mesurament directe de l'espai (amb una precisió directa de $\pm 0,2$ mm) relacionat amb el temps (freqüència 1KHz); obtenia una dada cada mil·lsegon. El dispositiu d'acoblament del sensor extern va ser col·locat a la barra guiada d'un pòrtic de musculació (Gerva Sports, Madrid, Espanya) de 2 m d'alçada. L'ús del pòrtic va permetre una trajectòria vertical de la barra guiada i, per tant, un desplaçament vertical del dispositiu d'acoblament del sensor de força dinàmica, cosa que va evitar el desplaçament del sensor respecte a l'eix zero graus, tot reduint l'error de mesura del dinamòmetre a un 0 %. També es va emprar un banc de musculació clàssic (Gerva Sports, Madrid, Espanya) de 0,60 m d'alçada, sobre el qual es van posicionar els subjectes per a l'avaluació.

D'altra banda, la PPT es va provocar mitjançant el programa de potenciació inclòs al menú de l'electroestimulador Compex Sport 3[®] (MediCompex SA, Ecublens, Switzerland). Es tracta d'un aparell d'electroestimulació portàtil, dissenyat de forma exclusiva per a l'entrenament esportiu. Es caracteritza bàsicament per: a) l'alliberació d'un corrent polsat compost d'impulsos elèctrics rectangulars bifàsics simètrics amb una amplitud de 400 μs , b) presentar un rang d'intensitat de corrent modulable entre 0 i 120 mA. Els electro-



Posició de partida del moviment d'avaluació seleccionat.

des (2 mm de gruix) utilitzats per a l'EEP van ser de tipus elastòmers i autoadhesius. Així, sobre el ventre de cada tríceps braquial, es va situar un elèctrode negatiu de més superfície (10 cm x 5 cm) i dos de positius més petits (5 cm x 5 cm).

Procediment

Per a la descripció coherent del procediment seguit durant la fase experimental, cal fer la distinció dels apartats següents:

Moviment d'avaluació

El moviment seleccionat per a ser analitzat és conegut amb la denominació "extensions de tríceps ajaguts" (García, 1999) (Foto). Consisteix en el desplaçament de la barra guia del pòrtic mitjançant una extensió de tots dos colzes, mentre el subjecte roman ajagut supí sobre el banc d'avaluació i amb els braços perpendiculars al cos. La barra descansa de forma estàtica sobre els suports del pòrtic; es troba situada aprox. 5 cm sobre el front del subjecte, tot permetent una acció fonamentalment concèntrica. D'altra banda, aquest moviment era practicat assíduament pels subjectes, com un dels moviments bàsics del seu programa de musculació.

Estimulació elèctrica

Amb 24 h d'antelació a l'inici de la sessió principal, el grup va participar en una sessió pràctica que els va permetre de familiaritzar-se amb els diferents paràmetres de l'EEP. A més a més, cap dels subjectes no havia utilitzat l'EEP anteriorment.

En totes dues sessions, de familiarització i principal, els subjectes van ser sotmesos al mateix programa d'EEP.

Aquest tenia una durada de 180 s, i constava d'una estimulació de baixa freqüència (10 Hz) alternada amb intervals d'alta freqüència (120 Hz) en els quals s'aconsegueix un estat de tetània muscular fugaç (1,5 s). Així, durant els 180 s de durada total del programa, es generen un total de 8 tetànies.

Durant l'estimulació, els subjectes es van posicionar ajaguts d'esquena sobre el banc de musculació, amb tots dos peus recolzats sobre el terra i els genolls flexionats aproximadament 90°. Els braços es van situar en la posició d'inici del moviment d'avaluació, tal com s'ha descrit en l'apartat anterior. En aquesta actitud articular, els subjectes van ser sotmesos al programa d'EEP inductor de la PPT. La barra, durant l'aplicació de l'EEP, estava fixa i, per tant, l'acció muscular induïda elèctricament va ser de tipus isomètric.

D'altra banda, es va estimular mitjançant EEP el tríceps braquial de tots dos braços de forma simultània. Aquest múscul va ser seleccionat tant per ser l'únic agonista del moviment d'avaluació, com per la seva ubicació anatòmica superficial, la qual cosa en facilita l'estimulació percutània mitjançant EEP.

Els dos elèctrodes positius, van ser situats sobre la porció distal dels ventres medial i lateral del tríceps braquial. L'elèctrode negatiu, es va situar sobre el cap llarg del tríceps. La intensitat (0-120 mA) va ser monitorada directament i incrementada gradualment fins al nivell de màxima tolerància, el qual va oscil·lar entre 35 i 66 mA, segons les diferències en el llindar del dolor inter subjecte. Cap subjecte no va mostrar símptomes significatius de desconfort.

Protocol

Sessió de familiarització. De forma prèvia (24 h abans) a l'inici de la sessió de recollida de dades o sessió principal, els subjectes van ser sotmesos a una sessió de familiarització. En aquesta, es van pretendre els objectius següents: a) proporcionar la informació necessària sobre els procediments a seguir, b) afavorir l'habitució dels subjectes al programa de potenciació, i per tant, a les sensacions ocasionades per la contrac-

ció induïda mitjançant EEP, atès que cap subjecte no tenia experiència en l'ús d'EEP, c) determinar el valor d'intensitat màxim (rang 0-120 mA) per a cada subjecte, d) trobar i registrar el valor de la resistència externa específica (REE). El valor de la REE equival al valor en el qual el subjecte manifesta la seva potència màxima, és a dir, arriba a una velocitat mitjana d'aproximadament 1m/s (González-Badillo, 2000).

La primera part de la sessió de familiarització es va centrar en la transmissió de la informació relacionada amb els procediments a seguir. Aquesta part informativa es va realitzar al mateix lloc de l'avaluació, mitjançant comunicació verbal i audiovisual. Tot seguit, els subjectes van executar un escalfament protocol·litzat. Aquest consistia en la realització de: 5 minuts de rem a una intensitat de 80 W, extensions de tríceps davant de resistència lleu (10 kg), estiraments passius de la musculatura implicada i 4 repeticions del gest del test a velocitat moderada.

Després de l'escalfament, es va passar a executar la resta dels objectius indicats anteriorment. Així, d'una banda, es va determinar la REE mitjançant l'execució d'un test progressiu. Aquest test va consistir en la realització de dues repeticions per cada pes, començant tots els subjectes pel pes de la mateixa barra (20 kg). A partir d'aquesta primera resistència, la resta de les sèries es va realitzar amb 5 o 10 kg més en funció de la velocitat desenvolupada pel subjecte amb el pes precedent. Es va pretendre que no es realitzessin més de quatre sèries fins a determinar la REE. La recuperació entre sèries va ser completa (3 min.).

D'altra banda, un cop establerta la REE, cada subjecte va experimentar el protocol d'EEP inductor de la potenciació. La intensitat del corrent va ser incrementada gradualment fins a assolir la màxima tolerable per a cada subjecte, i aquest valor va ser registrat. Mitjançant l'ús d'un llapis dèrmic, es va dibuixar el contorn de cada elèctrode sobre la pell del subjecte.

Sessió principal. A l'arribada al lloc d'avaluació, els subjectes es van asseure i van descansar durant 20 minuts abans de co-

mençar el protocol preestablert. A continuació, els subjectes van executar el protocol següent: a) Escalfament estandarditzat, igual com el realitzat a la sessió de familiarització; b) Dos minuts de repòs després de l'escalfament, temps necessari per a la ubicació del subjecte en la posició estandarditzada (posició prèvia a l'execució del moviment d'avaluació) i per a la predisposició d'aquest per a les fases següents del protocol; c) Avaluació de la Pmàx (P0) i Tpmàx (TPO) en estat "no potenciat". Els subjectes van efectuar el moviment d'avaluació i davant la REE establerta en la sessió de familiarització. Es van realitzar tres repeticions del moviment d'avaluació amb 30" de recuperació entre cada intent. Als subjectes se'ls va recordar reiteradament que cada una d'aquestes tres repeticions havia de realitzar-se amb una intensitat màxima. El millor dels tres intents –prenent com a referència la Pmàx– va ser seleccionat com a valor de referència en estat no potenciat d) Cinc minuts de repòs absolut, és a dir, es va procurar que els subjectes realitzessin el menor nombre de moviments possible. Per això, els subjectes van romandre en decúbit supí damunt del mateix banc de musculació sobre el qual es va realitzar el moviment d'avaluació. Durant aquest interval de temps, els elèctrodes van ser col·locats sobre el tríceps braquial a tots dos braços. La col·locació es va realitzar sobre les marques dèrmiques realitzades en la sessió de familiarització i, per tant, la posició dels elèctrodes va ser idèntica en ambdues sessions; e) Inducció de la PPT mitjançant EEP. El valor d'intensitat màxima tolerada per cada subjecte, obtingut en la sessió de familiarització, es va prendre com a referència. Tanmateix, es va pretendre d'incrementar aquest valor fins arribar al llindar del dolor de cada subjecte; es va comprovar que la intensitat mitjana assolida pel total de la mostra, va ser 13 mA superior a la recollida en la sessió anterior; f) Avaluació de la Pmàx i Tpmàx en estat "potenciat". Tot just finalitzat el programa d'EEP inductor de la PPT, es va tornar a executar el moviment d'avaluació davant la REE. Aquest es va efectuar en cada un dels instants següents: 5 s (T1), 30 s (T2), 60 s (T3), 180 s (T4) i 300 s (T5); un cop finalitzada l'estimulació

elèctrica. Així per exemple, al T1 es van obtenir els valors P1 –referit al valor de la Pmàx al T1– i TP1 –que indica el valor del Tpmàx en l'instant T1–, en el T2 els valors P2 i TP2... i així successivament. En cada un dels moments preestablerts durant l'estat "potenciat" (T1, T2, T3, T4 i T5), el moviment d'avaluació es va realitzar una sola vegada, per això es va informar reiteradament cada subjecte (especialment durant l'aplicació de l'EEP) sobre la necessitat d'aplicar la màxima intensitat en cadascuna de les execucions.

Mesures

Les mesures realitzades sobre cada execució del moviment d'avaluació han estat la Pmàx i el Tpmàx. D'una banda, la Pmàx denota el major valor de potència obtingut en tot el moviment, i s'expressa en watts (W). D'una altra, el Tpmàx indica el temps necessari per assolir el màxim valor de potència, i s'expressa en mil·lisegons (ms). El mesurament es va realitzar en el mode Test Manual de l'Isocontrol Dinàmic 3.0. Sota aquest mode, l'enregistrament de cada repetició es va poder ajustar als instants preestablerts (T0, T1, T2, T3, T4 i T5).

Estadística

El registre de les dades i el tractament gràfic d'aquestes es va portar a terme al Full de Càlcul Excel (Microsoft Windows 2000), mentre que el tractament estadístic es va efectuar mitjançant el programa estadístic SPSS 10 per a Windows. Es va aplicar l'anàlisi de variància per a mesu-

res repetides, comparant els valors de Pmàx i Tpmàx en els moments preestablerts (T0, T1, T2, T3, T4 i T5) per determinar les diferències significatives entre les diferents mesures per a cada subjecte. Així mateix, es van utilitzar les proves de contrast intrasubjectes per poder determinar en quin dels moments preestablerts s'esdevenen diferències significatives entre l'estat "no potenciat" i el "potenciat". Es va seleccionar com a nivell de significació un valor de $P < 0.05$.

Resultats

Referents

a la potència màxima (Pmàx)

La Pmàx no va augmentar de forma significativa durant l'estat potenciat. Així, mitjançant l'anàlisi de variància de mesures repetides no es troben diferències significatives ($P = 0.057$) en els valors adoptats per aquesta variable en cada un dels moments de mesurament preestablerts, tant en l'estat "no potenciat" (P0) com "potenciat" (P1 als 5 s, P2 als 30 s, P3 als 60 s, P4 als 180 s i P5 als 300 s) (Taula 2). Així mateix, com que hi ha indicis de significació, es va procedir a realitzar una anàlisi de contrast *a posteriori* mitjançant les proves de contrast intrasubjectes. Així, es comprova l'existència d'una diferència significativa ($P < 0.05$) entre el valor de la Pmàx en estat no potenciat (P0) i el valor de la Pmàx en el moment P2 (Taula 3).

■ TAULA 2.

Valors estadístics derivats de l'anàlisi factorial de la variància per a la Pmàx.

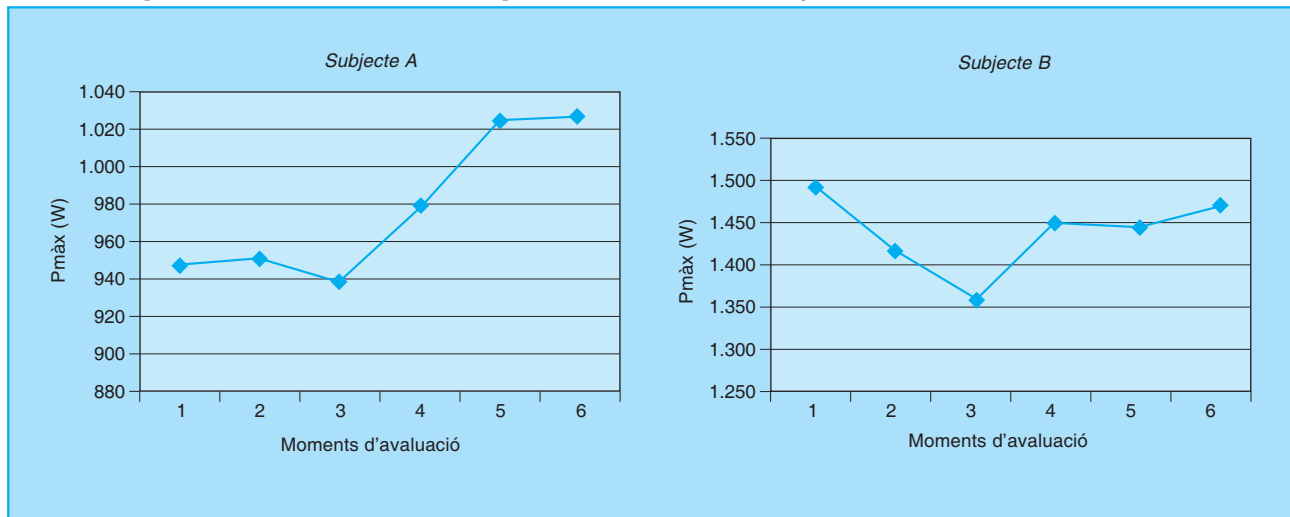
VARIABLE	GI	MITJANA QUADRÀTICA	F	SIGNIFICACIÓ
Pmàx	3	13435,62	2,17	,076

■ TAULA 3.

Valors estadístics derivats de la prova de contrast intrasubjectes per a la variable Pmàx.

MOMENTS COMPARATS	GI	MITJANA QUADRÀTICA	F	SIGNIFICACIÓ
P1-P0	1	19302,47	4,95	,057
P2-P0	1	36967,75	6,27	,037
P3-P0	1	24672,03	,70	,427
P4-P0	1	4869,24	,47	,511
P5-P0	1	3199,41	,34	,572

■ FIGURA 1. Evolució de la potència màxima (Pmàx) en els moments preestablerts d'avaluació en dos subjectes de la mostra (A i B).



La figura 1 il·lustra un exemple representatiu de l'evolució de la Pmàx en els moments d'avaluació seleccionats en els estats "no potenciat" i "potenciat" en dos subjectes participants de l'estudi. A tots dos gràfics, es comprova l'enorme variabilitat existent en tots dos casos. Així, el subjecte A va generar un increment del 8,47 % en el P5 (300s) respecte al valor de Pmàx generat en l'estat "no potenciat". Tanmateix, el subjecte B obté valors de Pmàx inferiors a l'obtingut en estat "no potenciat" en tots els moments d'avaluació posttetànica. Tot i amb això, el valor de P obtingut per aquesta variable es troba prop de la seva significança.

Referents al temps necessari per aconseguir la potència màxima (TPmàx)

El TPmàx va créixer de forma significativa durant l'avaluació efectuada en l'"estat potenciat". Així, mitjançant l'anàlisi factorial de la variància es troben diferències significatives ($P < 0.05$) en els valors adoptats per aquesta variable en tots els moments de mesurament preestablerts (T1 als 5 s, T2 als 30 s, T3 als 60 s, T4 als 180 s i T5 als 300 s) (Taula 4).

D'altra banda, mitjançant les proves de contrast intrasubjectes es comprova l'existència d'una diferència significativa ($P < 0.05$) entre el valor de la TPmàx

en estat no potenciat (PO) i el valor de la TPmàx en el moment T1, T4 i T5 (Taula 5).

La figura 2 il·lustra un exemple representatiu de l'evolució del TPmàx generat per un subjecte, en els diferents moments d'avaluació planificats en els estats "no potenciat" i "potenciat". Aquest gràfic ha estat seleccionat perquè es pot considerar representatiu de la tendència adoptada per aquesta variable en tots els subjectes. Així, en aquest cas, el subjecte experimenta una reducció màxima del TPmàx d'un 6,3 % (25 ms) en el moment T1 (als 5 s del començament de l'"estat potenciat"), aquest percentatge va créixer lleugerament al llarg dels diferents moments d'avaluació, i va arribar al seu valor més gran en el T5 (7,3 %). (Figura 2)

■ TAULA 4. Valors estadístics derivats de l'anàlisi factorial de la variància per al TPmàx.

VARIABLE	GI	MITJANA QUADRÀTICA	F	SIGNIFICACIÓ
Tpmàx	5	6740,65	3,75	,007

■ TAULA 5. Valors estadístics derivats de la prova de contrast intrasubjectes per a la variable TPmàx.

MOMENTS COMPARATS	GI	MITJANA QUADRÀTICA	F	SIGNIFICACIÓ
T1-T0	1	38809,0	9,48	,015(*)
T2-T0	1	19321,0	4,68	,062
T3-T0	1	31565,4	4,41	,069
T4-T0	1	38416,0	6,27	,037(*)
T5-T0	1	52441,0	8,86	,018(*)

Discussió

La principal troballa de l'estudi que presentem és que, sobre un gest dinàmic de caràcter multiarticular i generat mitjançant una acció concèntrica de caràcter voluntari, els dos paràmetres mecànics seleccionats (Pmàx i TPmàx) per quantificar l'efecte de la PPT tendeixen a millorar en cadascun dels subjectes estudiats després de l'aplicació d'un estímul inductor mitjançant EEP.

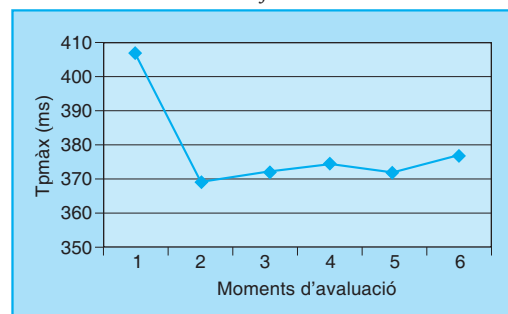
Només s'ha revisat un estudi en què s'ha mesurat l'efecte de la PPT sobre una acció dinàmica concèntrica de caràcter voluntari. En aquest estudi, Stuart i col. (1988) van quantificar l'efecte de la PPT sobre la màxima velocitat d'extensió de genoll. Van comprovar que després de l'aplicació de l'estímul inductor de PPT, la màxima velocitat d'extensió tendia a ser més gran en l'estat potenciat, encara que l'increment esmentat (5 %) no va ser estadísticament significatiu. En aquest treball, l'estímul inductor va consistir en una CMV isomètrica de 10 s del quàdriceps, amb un angle de genoll de 90°. Després de l'aplicació de l'estímul inductor, els subjectes van realitzar extensions màximes de genoll als 20, 30, 40, 60 i 120 s. La comparació dels procediments entre el treball citat prèviament i l'estudi present, suscita interès pel fet de ser tots dos, les úniques investigacions que han quantificat la PPT sobre una acció dinàmica concèntrica en la musculatura humana i sobre gests d'execució similar. Tanmateix, l'estudi de Stuart *et al.* (1988) es diferencia fonamentalment del nostre treball en el fet que, d'una banda, s'ha utilitzat com a estímul inductor de la PPT una CMV de caràcter isomètric i, d'altra banda, s'ha avaluat l'efecte de la PPT sobre una acció concèntrica sense resistència externa.

Així, en primer lloc, l'ús d'una CMV com a estímul inductor de la PPT ha estat àmpliament utilitzat en la literatura revisada (Alway i col., 1987; Belanger i col., 1983; Green i Jones, 1989; Hamada i col., 1997; Houston i Grange, 1990, 1991; Petrella i col., 1989; Stuart i col., 1988; Vandervoort i McComas, 1986; Vandervoort i col., 1983), i s'ha comprovat que el seu ús s'ha efectuat en un nombre d'estudis més gran que no pas l'EEP. En certs treballs (Vandervoort i McComas, 1983, 1986) s'han observat augments de la PPT més grans mitjançant l'ús de CMV com a estímul inductor davant de l'EEP. O'Leary *et al.* (1997) suggereixen que la raó més probable davant d'aquest fenomen és que mitjançant l'ús de la CMV com a estímul inductor de la PPT, un major nombre de grups musculars –sinergistes i fixadors– es potencien i, per tant, això

doni com a resultat un major nombre de fibres musculars en estat potenciat. Tanmateix, existeixen diversos factors que argumenten que l'EEP davant de la CMV, constitueix un mitjà més eficient per induir la PPT: 1) la principal limitació de l'ús de la CMV per provocar la PPT és la incapacitat d'alguns subjectes d'activar completament els seus músculs. Això comporta que no s'assoleixi una potenciació màxima i per tant, que es causi una major variació intersubjecte (O'Leary i col., 1997, 1998). 2) L'ús de l'EEP a un nivell màxim i constant (O'Leary i col., 1997), a més a més de produir una activació completa del grup muscular desitjat, permet de mesurar la capacitat de producció de F dels músculs, independentment de la voluntat, del nivell d'habilitat i especialment, del grau de motivació dels subjectes (Petrella i col., 1989). 3) L'ús d'EEP com a mitjà per induir la PPT en un grup muscular determinat, resultarà més útil, per tal com es propicia un aplegament preferent de les unitats motrius de contracció ràpida, i en conseqüència, es generarà una major PPT a causa del major contingut miofibrillar de CLM d'aquesta mena de fibres (tipus II) (Hamada i col., 2000b).

D'altra banda, Stuart *et al.* (1988) van utilitzar com a moviment d'avaluació, l'extensió monopodal de genoll sense resistència externa. En aquest moviment, en realitzar-se sobre una resistència externa inapreciable, no es pot arribar a manifestar la força explosiva màxima (Zatsiorsky, 1995). Aquest valor de força es defineix com la *màxima producció de força per unitat de temps* (Siff i Verkoshansky, 1995), i s'hi suggereix que l'aplegament de les unitats motrius fàsiques és al màxim, voluntari. Així, Hakkinen *et al.* (1984) mostren que aquest valor de força s'assoleix amb dues condicions; d'una banda, la resistència externa s'aproxima al ~30 % de la FIM i, d'altra banda, la velocitat mitjana que el subjecte desenvolupa és de ~1 m/s. Així mateix, tenint en compte que el principal factor determinant de la magnitud de la PPT és el tipus de fibra muscular (Hamada i col., 2000a, 2000b), atès que en humans es demostra de quina forma els grups musculars amb

■ FIGURA 2.
Evolució de la TPmàx en els moments preestaberts d'avaluació en un subjecte de la mostra.



els temps de contracció més curts i la major proporció de fibres ràpides (tipus II) mostren la major PPT (Hamada i col., 1997, 2000b; Moore i col., 1985; O'Leary i col., 1997).

Tot i amb això, se suggereix que les característiques del moviment seleccionat per avaluar la PPT han d'ajustar-se per tal d'aconseguir que en la seva execució s'aplegui el màxim nombre d'unitats motrius fàsiques (o de contracció ràpida). Per això, en aquest treball: a) Es va utilitzar la resistència externa en la qual cada subjecte desenvolupava la seva força explosiva màxima i b) la mecànica del gest seleccionat va ser la d'una cadena cinètica tancada i d'empenta, en la qual la resistència externa (barra guiada) s'havia de llançar. La possibilitat de projectar la resistència externa, permet al subjecte d'augmentar la velocitat de la barra guiada durant tot el recorregut en què aquesta es troba en contacte amb el subjecte (Wilson i col., 1996).

En conseqüència, se suggereix que en el moviment d'avaluació seleccionat en el nostre estudi, i a partir dels condicionants esmentats anteriorment, el subjecte desenvoluparà el màxim aplegament voluntari d'unitats motrius fàsiques i, per tant, manifestarà en més alt grau la magnitud de la PPT. Tanmateix, Gardiner (2002) assenyala que l'aplegament d'unitats motrius en accions dinàmiques concèntriques a màxima velocitat és un fenomen encara desconegut. En aquest sentit, destaca el treball de Kossev i Christova (1998) en el qual van observar que els moviments concèntrics provoquen una

descàrrega inicial d'alta freqüència (polsos d'alta freqüència inicial) seguits per intervals més amplis entre polsos (freqüències més baixes). Aquests autors demostren que la major relació força-temps es produeix a l'inici del moviment, durant la fase estàtica del moviment, per vèncer la inèrcia de la resistència externa. Aquests resultats concorden amb el concepte de força inicial proposat per Siff i Verkoshansky (1995). Segons aquest autor, la força inicial és la força que es produeix durant els primers 30 ms del moviment i sota condicions isomètriques. González-Badillo (2000) també considera que el màxim valor de força inicial coincideix amb la força explosiva màxima esmentada anteriorment. A més a més, la força inicial és considerada dependent de factors genètics, és a dir, és un valor de força difícilment millorable mitjançant l'entrenament.

Igualment, davant de resistències molt lleugeres o inexistents, com s'esdevenia a l'estudi de Stuart *et al.* (1988), cabria la possibilitat que la força inicial no arribés a manifestar-se en el seu màxim valor, i per tant no s'arribés a la força explosiva màxima (González-Badillo, 2000). Tot i això, es pot plantejar com a hipòtesi que el major aplegament voluntari d'unitats motrius fàsiques que un subjecte pot realitzar en un determinat moviment i en una acció muscular concèntrica, es produirà davant una resistència externa en què es generi la força explosiva màxima i, per tant, el major valor de força inicial.

D'altra banda, en el nostre treball s'inclouen d'altres elements, a part dels esmentats anteriorment, que també el diferencien del treball de Stuart *et al.* (1988) i que argumenten les millores obtingudes en la magnitud de la PPT. En aquest sentit, s'ha seleccionat un gest que habitualment els subjectes inclouen en la seva rutina d'entrenament setmanal, amb la qual cosa es va pretendre d'eliminar la variable contaminant causada per l'aprenentatge (Rutherford i Jones, 1986). A més a més, que sigui un gest habitualment practicat i entrenat, afavorirà la manifestació d'una major PPT. Així, Hamada *et al.* (2000a) van comprovar que la PPT era significativament més gran en els músculs entre-

nats amb l'entrenament tant de força com de resistència, davant la PPT observada en els grups musculars no entrenats. Igualment, la mostra seleccionada ha estat homogènia pel que fa als factors edat, sexe i nivell de condició física, factors influents en la magnitud de la PPT (Pääsuke i col., 1999, 2000).

En un altre sentit, per a la valoració de la PPT han estat seleccionats dos paràmetres mecànics fins ara inèdits en la bibliografia afí a la PPT: la potència màxima (W) i el temps utilitzat per assolir-la (ms). En correspondència amb González-Badillo (2000) el que interessa de mesurar en l'esport és la força aplicada, perquè d'aquesta depèn la potència que es pugui generar, que és, des del punt de vista del rendiment físic, el factor determinant del resultat esportiu. Així mateix, aquest mateix autor, considera que en l'avaluació de la potència caldrà determinar tant la punta màxima (P_{màx}), com la relació entre P_{màx} i el temps utilitzat per aconseguir-la (TP_{màx}). Aquesta concepció de la P_{màx} i de la TP_{màx} com a descriptors mecànics de l'eficiència d'un gest esportiu ha estat igualment proposat per altres autors (Siff i Verkoshansky, 1995; Zatsiorsky, 1995). La lògica d'aquest plantejament resideix en el fet que gairebé la totalitat d'especialitats esportives tenen com a objectiu arribar a un determinat valor de força i velocitat (potència màxima) al mateix temps que es manté o es redueix el temps per aconseguir-lo (temps per a la potència màxima) (González-Badillo, 2000), i en conseqüència caldria mesurar i valorar tant la punta de força i velocitat (P_{màx}) com el temps emprat a aconseguir-ho (TP_{màx}).

D'altra banda, a excepció de Stuart *et al.* (1988), la resta dels treballs revisats que han provocat la PPT mitjançant EEP en grups musculars del cos humà, han avaluat la magnitud de la PPT en accions isomètriques. En tots, la PPT provoca un increment estadísticament significatiu de la FIM i una disminució (en general significativa) en el TFIM i el TR1/2 (Hamada i col., 2000a, 2000b; O'Leary i col., 1997, 1998; Vandervoort i McComas, 1986). A més a més, en aquests treballs,

durant l'estat potenciat, la magnitud de la PPT es va avaluar mitjançant accions isomètriques provocades de manera exògena mitjançant EEP i, per tant, sense la participació voluntària del subjecte. En conseqüència, hi ha massa diferències metodològiques com per poder establir comparacions amb els resultats obtinguts en el nostre estudi. Tanmateix, a la llum dels resultats obtinguts en aquest treball, es comprova que la tendència és similar a l'observada als treballs citats anteriorment. És a dir, durant l'estat potenciat, el teixit muscular esquelètic presenta una major capacitat contràctil que es manifesta en una major força generada i en un temps més curt d'aplicació d'aquesta. En el present treball, es comprova com el TP_{màx} arriba a reduir-se en 25 ms en alguns subjectes, mentre el valor de la potència es manté o fins i tot augmenta, i això, des del punt de vista del rendiment esportiu és un resultat sorprenent, si es té en compte que la major part dels gests esportius explosius tenen una durada inferior a 300 ms.

Tot i això, i encara que no s'han utilitzat els mitjans tècnics per evidenciar el mecanisme fisiològic responsable de la tendència observada en cada un dels subjectes, és a dir, generar més potència (indicis de significança) i en menys temps (significativa en els moments T1, T4 i T5, $P < 0.05$), sí que es pot concloure que l'aplicació del programa de potenciació de l'electroestimulador Compex Sport 3 sobre el tríceps braquial i sobre el gest d'avaluació seleccionat, va provocar una millora en l'execució mecànica del gest seleccionat.

Referències bibliogràfiques

- Abbate, F.; Sargeant, A. J.; Verdijk, P. W. L. i De Haan, A. (2000). Effects of high-frequency initial pulses and posttetanic potentiation on power output of skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* (88), 35-40.
- Alway, S. E.; Hughson, R. L.; Green, H. J.; Patla, A. E. i Frank, J. S. (1987). Twitch potentiation after fatiguing exercise in man, *Eur. J. Appl. Physiol.* (56), 461-466.
- Belanger, A. Y.; McComas, A. J. i Elder, G. B. C. (1983). Physiological properties of two anta-

- gonistic human muscle groups. *Eur. J. Appl. Physiol.* (51), 381-393.
- Decostre, V.; Gillis, J. M. i Gailly, P. (2000). Effect of adrenaline on the post-tetanic potentiation in mouse skeletal muscle. *J. Muscle Res. Cell. Mot.* (21), 247-254.
- Dudley, G. A. i Harris, R. T. (1992). Use of electrical stimulation in strength and power training. A. P. V. Komi, *Strength and Power in Sport.* (p. 329-337) Boston: Blackwell Scientific.
- Eusebi, F.; Miledi, R. i Takahshi, T. (1980). Calcium transients in mammalian muscles. *Nature* (284), 560-561.
- García, J. M. (1999). *La Fuerza.* Madrid: Gymnos.
- Gardiner, P. F. (2002). *Neuromuscular aspects of physical activity.* Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Gibson, A. S. C.; Lambert, M. I. i Noakes, T. D. (2001). Neural control of force output during maximal and submaximal exercise. *Sports Med.* (31), 637-650.
- González, J. J. (2000). Concepto y medida de la fuerza explosiva en el deporte. Posibles aplicaciones al entrenamiento. *Revista de Entrenamiento Deportivo* (1), 5-16.
- Grange, R. W.; Vandenboom, R.; Xení, J. i Houston, M. E. (1998). Potentiation of in vitro concentric work in mouse fast muscle. *J. Appl. Physiol.* (84), 236-243.
- Green, H. J. i Jones, S. R. (1989). Does post-tetanic potentiation compensate for low frequency fatigue? *Clin. Physiol.* (9), 499-514.
- Hakkinen, K.; Alen, M. i Komi, P. V. (1984). Neuromuscular anaerobic and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* (53), 97-105.
- Hamada, T.; Sale, D. G. i MacDougall, J. D. (2000a). Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Med. Sci. Sports. Exerc.* (32), 403-411.
- Hamada, T.; MacDougall, J. D.; Sale, D. G. i Moroz, J. (1997). Twitch potentiation of triceps surae and triceps brachii following voluntary contraction in trained athletes and sedentary controls. *Med Sci Sports Exerc.* (29), Suppl. 5, p. S26.
- Hamada, T.; Sale, D. G.; MacDougall, J. D. i Tarnopolsky, M. A. (2000b). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J. Appl. Physiol.* (88), 2131-2137.
- Hicks, A. L.; Cupido, C. M.; Martin, J. i Dent, J. (1991). Twitch potentiation during fatiguing exercise in the elderly: the effects of training. *Eur J Appl Physiol.* (63), 278-281.
- Houston, M. E. i Grange, W. R. (1990). Myosin phosphorylation, twitch potentiation, and fatigue in human skeletal muscle. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (68), 908-913.
- (1991). Torque potentiation and myosin light chain phosphorylation in human muscle following a fatiguing contraction. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (69), 269-273.
- (1985). Myosin light chain phosphorylation and isometric twitch potentiation in intact human muscle. *Pflügers Arch.* (403), 348-352.
- Kossev, A. i Christova, P. (1998). Discharge pattern of human motor units during dynamic concentric and eccentric contractions. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Electromyogr. Motor Control* (109), 245-255.
- Maffiuletti, N. A.; Pensini, M. i Martin, A. (2002). Activation of human plantar flexor muscles increases after electromyostimulation training. *J. Appl. Physiol.* (92), 1383-1392.
- McIntosh, B. R. i Gardiner, P. F. (1987). Post-tetanic potentiation and skeletal muscle fatigue: interactions with caffeine. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (65), 260-268.
- Moore, R. L.; Houston, M. E.; Iwamoto, G. A. i Stull, J. T. (1985). Phosphorylation of rabbit skeletal muscle myosin in situ. *J. Cell. Physiol.* (125), 301-305.
- Moore, R. L. i Stull, J. T. (1984). Myosin light chain phosphorylation in fast and slow skeletal muscles in situ. *Am. J. Physiol.* (247), C462-C471.
- O'Leary, D. D.; Hope, K. i Sale, D. G. (1997). Posttetanic potentiation of human dorsiflexors. *J. Appl. Physiol.* (83), 2131-2138.
- (1998). Influence of gender on post-tetanic potentiation in human dorsiflexors. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (76), 772-779.
- Pääsuke, M.; Erelina, J. i Gapeyeva, H. (1999). Comparison of twitch contractile properties of plantarflexor muscles in young and middle-aged men. *Acta Kinesiol. Univ. Tartu.* (4), 161-170.
- (2000). Twitch contraction properties of plantar flexion muscles in pre- and post-pubertal boys and men. *Eur. J. Appl. Physiol.* (82), 459-464.
- Patel, J. R.; Diffe, G. M.; Huang, X. P. i Moss, R. L. (1998). Phosphorylation of myosin regulatory light chain eliminates force-dependent changes in relaxation rates in skeletal muscle. *Biophys. J.* (74), 360-368.
- Petrella, R. J.; Cunningham, D. A.; Vandervoort, A. A. i Paterson, D. H. (1989). Comparison of twitch potentiation in the gastrocnemius of young and elderly men. *Eur. J. Appl. Physiol.* (58), 395-399.
- Rassier, D. E.; Tubman, L. A. i MacIntosh, B. R. (1997). Length-dependent potentiation and myosin light chain phosphorylation in rat gastrocnemius muscle. *Am. J. Physiol.* (273), C198-204.
- Rutheford, O. M. i Jones, D. A. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.* (55), 100-105.
- Siff, M. C. i Verkoshansky, Y. V. (2001). *Superentrenamiento.* Barcelona: Paidotribo.
- Stuart, D. S.; Lingley, M. D.; Grange, R. W. i Houston, M. E. (1988). Myosin light chain phosphorylation and contractile performance of human skeletal muscle. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (66), 49-54.
- Sweeny, H. L.; Bowman, B. F. i Stull, J. T. (1993). Myosin light chain phosphorylation in vertebrate striated muscle: regulation and function. *Am. J. Physiol. Cell. Physiol.* (264), C1085-C1095.
- Tubman, L. A.; MacIntosh, B. R. i Maki, W. A. (1996a). Myosin light chain phosphorylation and posttetanic potentiation in fatigued skeletal muscle. *Pflugers Arch.* (431), 882-887.
- Tubman, L. A.; Rassier, D. E. i MacIntosh, B. R. (1996b). Absence of myosin light chain and twitch potentiation in atrophied skeletal muscle. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (74), 723-728.
- Vandervoort, A. A. i McComas, A. J. (1983). A comparison of the contractile properties of the human gastrocnemius and soleus muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* (51), 435-440.
- (1986) Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. *J. Appl. Physiol.* (61) 361-367.
- Vandervoort, A. A.; Quinlan, J. i McComas, A. J. (1983). Twitch potentiation after voluntary contraction. *Exp. Neurol.* (81), 141-152.
- Wilson, G. J.; Murphy, A. J.; Walshe, A. D. i Ness, K. (1996). Stretch shorten cycle performance: detrimental effects of not equating the natural and movement frequencies. *Res. Quarterly Exerc. Sport.* (67), 373-379.
- Zatsiorsky, V. M. (1995). *Science and practice of strength training.* Champaign, Illinois: Human Kinetics.