

Monograph

Ausencia de Diferencias Sexuales en la Fatigabilidad de los Músculos del Antebrazo durante la Realización de Contracciones Isométricas Intermitentes en el Ejercicio de Presión Palmar

Joaquin U Gonzales y Barry W Scheuermann

Cardiopulmonary and Metabolism Research Laboratory, Department of Kinesiology, The University of Toledo, Toledo, Ohio USA.

RESUMEN

Estudios previos han reportado que las mujeres tienen una mayor resistencia a la fatiga que los hombres durante el ejercicio sostenido de presión palmar; sin embargo, las diferencias sexuales observadas en la fatiga han mostrado ser función del tipo de contracción. El propósito del presente estudio fue determinar si existen diferencias sexuales en la fatiga muscular durante la realización intermitente del ejercicio de presión palmar. Mujeres [$n = 11$, 23.5 ± 1.5 (EE) años] y hombres ($n = 11$, 24.1 ± 1.5 años) realizaron el ejercicio de presión palmar en forma intermitente a una fuerza del 50% de la máxima contracción voluntaria (MVC) durante 5 segundos seguido de 5 s de recuperación hasta el agotamiento. La tasa de fatiga fue calculada a partir de la medición, realizada cada 2 min durante el ejercicio, de la fuerza en una contracción voluntaria máxima, y la recuperación de la fuerza muscular fue medida cada 5 min hasta los 45 min post ejercicio. La fuerza de los músculos del antebrazo fue menor para las mujeres que para los hombres (W: 341.5 ± 11.9 N; M: 480.2 ± 28.0 N; $p < 0.05$). No se observaron diferencias sexuales respecto del tiempo hasta el agotamiento (W: 793.3 ± 92.5 s; M: 684.8 ± 76.3 s) o de la reducción en la capacidad de los músculos para generar fuerza en el momento del agotamiento (W: $-47.6 \pm 1.0\%$; M: $-49.9 \pm 1.3\%$). La tasa de fatiga muscular fue similar entre los hombre y las mujeres (W: -3.6 ± 0.5 %•min⁻¹; M: -4.3 ± 0.6 %•min⁻¹) y no se hallaron diferencias sexuales en la recuperación de la fuerza muscular luego del ejercicio hasta el agotamiento. En resumen, no se hallaron diferencias sexuales en la fatigabilidad de los músculos del antebrazo durante la realización de contracciones isométricas intermitentes de los músculos prensores, independientemente de la fuerza muscular.

Palabras Clave: fatiga muscular, diferencias sexuales, presión palmar

INTRODUCCION

Los eventos subyacentes que derivan en la fatiga muscular, definida como la reducción en la máxima capacidad de los músculos para generar fuerza (Bigland-Ritchie et al., 1978), continúan siendo examinados debido a los efectos limitantes que tiene la fatiga sobre la tolerancia al ejercicio tanto en la salud como en la enfermedad. Estudios previos han mostrado que existen diferencias sexuales en la fatiga muscular (para una revisión ver Hicks et al., 2001), y diversos estudios han demostrado que las mujeres saludables y desentrenadas experimentan una menor reducción en la fuerza muscular luego de realizar ejercicios y/o una tarea motora durante un largo período de tiempo en comparación con los hombres saludables y desentrenados (Fulco et al., 1999; Hunter and Enoka, 2001; Hunter et al., 2004; Russ and Kent-Braun, 2003; West et al., 1995). Este hallazgo ha sido descrito como una mayor resistencia relativa a la fatiga muscular en las mujeres y en comparación con los hombres; sin embargo, este no es un hallazgo universal (Ditor and Hicks, 2000; Kent-Braun et al., 2002).

Las contracciones de los músculos prensores han sido ampliamente utilizadas para examinar la fatiga de los músculos del antebrazo (Ettinger et al., 1996; Pitcher and Miles, 1997) y las respuestas del flujo sanguíneo hacia el antebrazo durante la realización de ejercicios (Barnes, 1980; Kagaya and Ogita, 1992). Los principales músculos del antebrazo involucrados en el ejercicio de presión palmar son el flexor profundo de los dedos, el flexor superficial de los dedos, el cubital posterior y el cubital anterior. Las diferencias sexuales en la fatigabilidad de los músculos del antebrazo han sido previamente investigadas durante la realización de contracciones isométricas sostenidas. Con este tipo de contracción se ha hallado que las mujeres desentrenadas exhiben una mayor resistencia que los hombres entrenados a través de un rango de intensidades (30-75% de la MVC) (Petrofsky et al., 1975; West et al., 1995). Sin embargo, las diferencias sexuales en la fatigabilidad de los músculos del antebrazo durante la realización de contracciones intermitentes en el ejercicio de presión palmar no han sido examinadas, pero sería de interés para los especialistas de la medicina del deporte en vista de que las contracciones intermitentes en este ejercicio son utilizadas con frecuencia en actividades deportivas tales como la escalada (Watts and Drobish, 1998) y los deportes de raqueta (Chow et al., 1999); y además se ha observado que el sobreuso de los músculos del antebrazo deriva en desordenes musculares (Bilic et al., 2001).

Las diferencias sexuales observadas en la fatiga de los músculos del antebrazo luego de la realización de contracciones isométricas sostenidas en el ejercicio de presión palmar pueden atribuirse a la limitación del flujo sanguíneo debido a una mayor presión intramuscular en los hombres, ya que estos contraen los músculos con una mayor fuerza absoluta pero con una intensidad de contracción relativa similar a la de las mujeres. La reducción del flujo sanguíneo contribuye a la fatiga muscular por medio de la reducción en el transporte de oxígeno y de glucosas, y también por la reducción de la remoción de subproductos metabólicos (H^+ , $H_2 PO_4$) asociados con la fatiga muscular (Fitts, 1994). En contraste, la respuesta hiperémica que ocurre durante la realización de contracciones intermitentes en el ejercicio de presión palmar minimiza el efecto de la compresión mecánica que limita el flujo sanguíneo hacia el antebrazo, y por lo tanto se ha reportado que hay un mecanismo diferente responsable de las diferencias sexuales en la fatiga muscular durante este tipo de ejercicio (Fulco et al., 1999; Gonzales and Scheuermann, 2006; Hunter et al., 2004). Utilizando el protocolo descrito por Lewis y Fulco (1998), recientemente hemos mostrado que las mujeres desentrenadas tienen una menor tasa de fatiga de los músculos inspiratorios que los hombres desentrenados, durante la realización de contracciones intermitentes isométricas (Gonzales and Scheuermann, 2006); lo cual es consistente con lo observado en el músculo aductor del pulgar (Fulco et al., 1999). Dado que la activación de los músculos depende en gran medida de la tarea que se realice y a que esta ha mostrado diferir entre los músculos que contribuyen a la carga funcional (Clark et al., 2003; Hunter et al., 2003), hemos postulado que las diferencias sexuales en la fatiga de los músculos del antebrazo producida por el ejercicio intermitente de presión palmar es diferente que la observada en tareas que involucran un solo músculo tal como el aductor del pulgar (Fulco et al., 1999) o el diafragma (Gonzales and Scheuermann, 2006). Para investigar esta hipótesis, reclutamos a los mismos sujetos que examinamos recientemente en el estudio acerca de la fatiga de los músculos inspiratorios (Gonzales and Scheuermann, 2006) y utilizamos el mismo protocolo de ejercicio isométrico intermitente para determinar si las mujeres tienen una menor tasa de fatiga en los músculos del antebrazo y/o una mayor resistencia a la fatiga que los hombres, tal como se ha reportado previamente (Fulco et al., 1999; Gonzales and Scheuermann, 2006).

MÉTODOS

Sujetos

La muestra consistió de veintidós sujetos saludables, mujeres desentrenadas (n = 11) y hombres desentrenados (n = 11), quienes dieron su consentimiento informado luego de que se le explicaran todos los procedimientos experimentales, el

protocolo de ejercicio y los posibles riesgos asociados con su participación en el estudio. Las mujeres fueron entrevistadas por un investigador para determinar su ciclo menstrual. Todas las evaluaciones se llevaron a cabo durante la fase folicular temprana (entre los días 1-5) de su ciclo menstrual, cuando los niveles tanto de estradiol como de progesterona son los más bajos. El protocolo experimental fue aprobado por el Comité de Revisión e Investigación en Sujetos Humanos de la Universidad de Toledo y en acuerdo con los lineamientos de la Declaración de Helsinki.

En un subgrupo de mujeres ($n = 5$) y de hombres ($n = 5$), con valores similares de fuerza en una MVC (i.e., fuerza absoluta) se realizaron análisis retrospectivos. Estudios previos han hallado que la fuerza absoluta es un factor independiente que contribuye a la fatiga muscular durante la realización de contracciones isométricas (Hunter and Enoka, 2001). Por lo tanto, la comparación entre sujetos con valores similares de fuerza permitiría determinar si las diferencias sexuales en la fatigabilidad de los músculos del antebrazo se deben a diferencias en la fuerza absoluta.

Protocolo Experimental

Los sujetos se reportaron al Laboratorio de Investigación Cardiopulmonar y del Metabolismo de la Universidad de Toledo en dos ocasiones separadas por al menos 48 hs. Cada sujeto fue instruido para que consumiera una comida ligera y que evitara realizar ejercicios vigorosos y consumir cafeína en las = 12 hs previas al día de evaluación.

Se llevaron a cabo pruebas preliminares para que los sujetos se familiarizaran con los procedimientos de evaluación y para determinar su máxima capacidad aeróbica (VO_{2pico}), la cual fue utilizada como un indicador del nivel de aptitud física global. El VO_{2pico} fue definido como el mayor consumo de oxígeno registrado en un período de 30 segundos. El test de aptitud cardiorrespiratoria fue llevado a cabo en un cicloergómetro con cupla electromagnética (Excalibur Sport, Lode, The Netherlands). El test de ejercicio máximo comenzó con 5 min de pedaleo a baja intensidad (20 W) luego de lo cual se incremento progresivamente la carga hasta el agotamiento. La carga se incrementó progresivamente a una tasa de 20 y 25 W/min para las mujeres y los hombres respectivamente. Los sujetos fueron instruidos para que mantuvieran una cadencia de pedaleo constante seleccionada por los mismos sujetos, para lo que se utilizó retroalimentación visual y estimulación verbal. Luego de la vuelta a la calma, los sujetos fueron instruidos para acerca del protocolo de evaluación que se realizaría en la segunda sesión, y se les dio tiempo suficiente para que practicara las tareas. Durante la segunda sesión de evaluación, los sujetos realizaron el ejercicio intermitente submáximo de prensión palmar hasta el agotamiento.

Intercambio de Gases Pulmonares

El intercambio de gases pulmonares y la ventilación fueron medidas utilizando un sistema de medición del metabolismo automático en circuito abierto (Jaeger, Oxycon Alpha, Germany). El flujo de gases espirados fue medido utilizando una turbina. La señal de flujo fue integrada para producir una señal de volumen que fue calibrada utilizando una jeringa de volumen conocido (3.0 L). Antes de cada test de ejercicio, los analizadores de O_2 y CO_2 fueron calibrados utilizando muestras de concentración conocida. Se realizaron las correcciones de temperatura y vapor de agua para las mediciones que se realizan en proximidad a la boca.

Fuerza y Fatigabilidad de los Músculos del Antebrazo

Antes de realizar el protocolo de ejercicio, los sujetos realizaron dos contracciones voluntarias máximas (MVC), separadas por dos minutos de recuperación, utilizando un dinamómetro para la determinación de la fuerza máxima de los músculos del antebrazo en kilogramos (Takei, Japan). Luego de una pausa de 5 min, los sujetos utilizaron el dinamómetro conectado a un sistema de adquisición de datos (ADInstruments, MCT 300/D, Grand Junction, CO), que permitió observar en una pantalla las variaciones en la fuerza. Para determinar la confiabilidad test-retest de la fuerza en una MVC, se calculó el coeficiente de correlación interclase que fue de 0.98 (Intervalo de Confianza = 0.96-0.99). La mayor variación en la fuerza fue ajustada de manera que el pico de fuerza fuera el 100% y la fuerza objetivo para el protocolo de inducción de fatiga (i.e., 50% de la MVC) se pudiera observar claramente en el monitor.

El ejercicio de prensión palmar realizado con el brazo dominante fue utilizado para provocar la fatiga de los músculos del antebrazo utilizando el mismo enfoque descrito previamente por Lewis y Fulco (1998). Los sujetos, sentados con el codo flexionado en un ángulo de aproximadamente 90° , realizaron contracciones repetidas al 50% de su MVC durante 5 s seguidas por 5 min de relajación con el antebrazo en posición neutral. El dinamómetro utilizado en el presente estudio no permitió su ajuste para los diferentes tamaños de manos, y poseía una distancia de prensión de 5 cm. Nosotros no creemos que esto haya influenciado los resultados del presente estudio, ya que la fatiga del músculo flexor superficial de los dedos, inferida a través de cambios en la frecuencia del EMG, ha mostrado no cambiar en función del tamaño de agarre (Blackwell et al., 1999). Los sujetos pudieron monitorear visualmente la fuerza generada durante el protocolo y se les brindó estimulación verbal durante todo el test. Se les pidió a los sujetos que realizaran un único esfuerzo máximo cada dos minutos para registrar la declinación en la máxima producción de fuerza. El fallo muscular fue determinado como el momento en el cual los sujetos no pudieran producir una MVC mayor al 50% de su MVC de reposo durante cada esfuerzo máximo, o como la incapacidad de alcanzar el 50% de la MVC durante tres contracciones consecutivas. Luego de que se

produjera el fallo muscular, los sujetos fueron instruidos para que realizaran dos MVC inmediatamente y cada 5 min hasta alcanzar los 30 min post ejercicio, tomándose la última medición a los 45 min post ejercicio. Esto fue llevado a cabo para monitorear la recuperación de la fuerza de los músculos del antebrazo.

Variable	Diferente Valor de Fuerza		Valores de Fuerza Similar	
	Mujeres (n=11)	Hombres (n=11)	Mujeres (n=5)	Hombres (n=5)
Edad (años)	23.1 (2.0)	24.0 (2.0)	22.4 (2.0)	24.6 (1.0)
Talla (m)	1.69 (.02) *	1.76 (.02)	1.71 (.03)	173.7 (2.4)
Peso (kg)	65.8 (3.6) *	78.1 (4.4)	74.0 (6.3)	71.2 (4.6)
Área de Superficie Corporal (m ²)	1.7 (.1) *	1.9 (.1)	1.9 (.1)	1.8 (.1)
VO ₂ pico (mL/kg/min)	34.8 (1.6) *	41.2 (2.5)	34.6 (3.4)	39.8 (1.3)
Fuerza en una MVC en reposo (N)	341.5 (11.9) *	488.5 (31.3)	376.6 (10.6)	407.8 (27.3)
Fuerza en una MVC al momento del fallo muscular (N) at task failure	179.7 (7.6) *#	242.7 (12.8) #	199.0 (8.1) #	208.7 (16.0) #
Tiempo hasta el agotamiento (s)	793.3 ± 92.5	684.8 (76.2)	706.6 (117.0)	831.8 (118.7)

Tabla 1. Características de los sujetos. Los valores son medias (\pm EE). * Diferencias significativa dentro de cada grupo ($p < 0.05$). # Diferencia significativa entre la fuerza en una MVC de reposo y el respectivo valor en el momento del fallo muscular ($p < 0.05$).

Análisis Estadísticos

La tasa de fatiga muscular (i.e., pendiente) en Newtons por minuto fue determinada utilizando el análisis de regresión lineal y utilizando los valores de la fuerza máxima obtenidos cada dos minutos durante el test. Las pendientes individuales fueron promediada para obtener valores grupales promedios para cada sexo. Las comparaciones entre los sexos respecto de la información demográfica, el tiempo hasta el agotamiento, y la tasa de fatiga fueron llevadas a cabo utilizando la prueba t de Student. Se llevaron a cabo correlaciones bivariadas para evaluar las relaciones entre las variables. Las diferencias sexuales en la fuerza de los músculos del antebrazo fueron analizadas utilizando el análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas con el sexo y el tiempo como los efectos principales. Todos los valores se reportan como medias \pm SE y la significancia fue establecida a priori a $p = 0.05$.

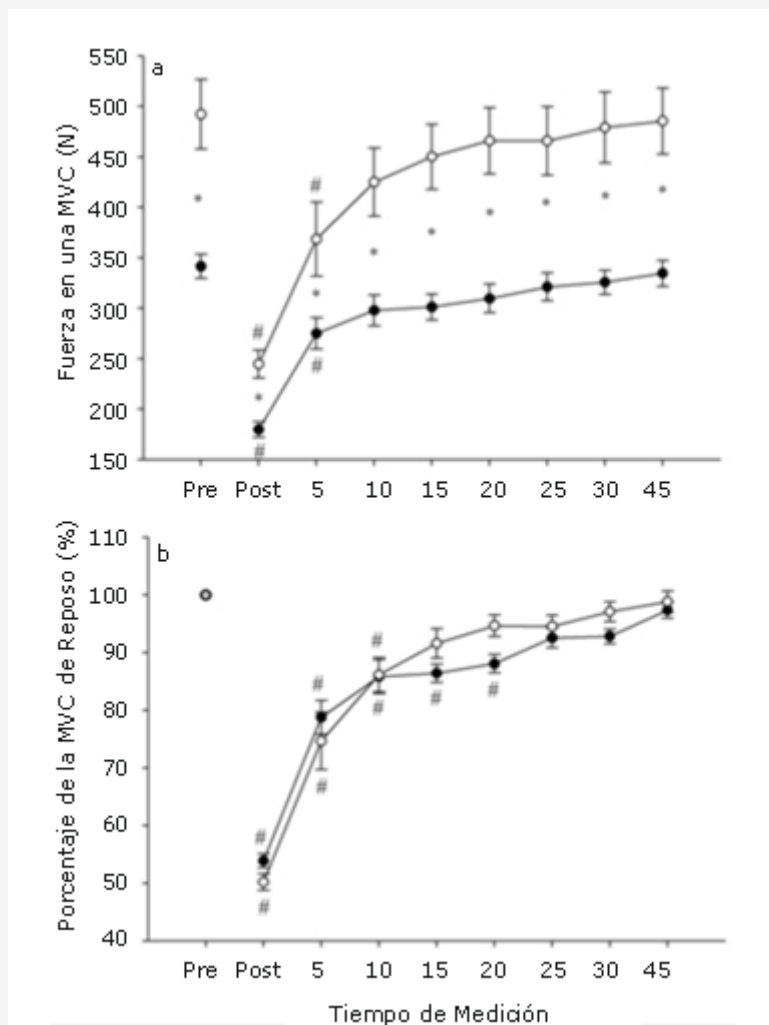


Figura 1. Cambios en la fuerza de los músculos del antebrazo en reposo (Pre), al momento del fallo muscular (post) y durante la recuperación posterior al ejercicio intermitente (5-45 min) entre mujeres (●) y hombres (○). a) Los hombres generaron una mayor fuerza muscular que las mujeres durante todo el test. En ambos sexos la fuerza en una contracción voluntaria máxima retornó a los valores de reposo dentro de los 10 min posteriores al agotamiento. b) no se hallaron diferencias en el porcentaje de fuerza en una MVC a lo largo del test. * Diferencias sexuales significativas ($p < 0.05$). # Diferencia del valor pre ($p < 0.05$).

RESULTADOS

Sujetos

Las características físicas de los sujetos se muestran en la Tabla 1. No se intentó reclutar hombre y mujeres con valores similares de fuerza de los músculos del antebrazo. Por lo tanto, la edad media de las mujeres y los hombres fue similar, pero en promedio, las mujeres presentaron una menor talla y una menor masa corporal, y menores valores de $VO_{2\text{pico}}$ que los hombres. Los sujetos reportaron ser sedentarios o estar involucrados regularmente actividades recreacionales, pero ninguno era considerado altamente entrenado ($VO_{2\text{pico}} < 42 \text{ mL/kg/min}$).

Fatiga de los Músculos del Antebrazo

La fuerza máxima isométrica generada por las mujeres en reposo fue menor que la de los hombres (Mujeres: $341.5 \pm 11.9 \text{ N}$; Hombres: $488.5 \pm 31.3 \text{ N}$; $p < 0.05$) indicando que los hombres tenían una fuerza muscular significativamente mayor que las mujeres. El área de superficie corporal, calculada a través de la ecuación de Mosteller [talla (cm) x peso (kg)]/3600^{1/2}, se correlacionó significativamente con la fuerza en una MVC en reposo tanto en los hombres como cuando se agruparon los datos de los hombres y las mujeres (Mujeres: $r = 0.11$, $p > 0.05$; M: $r = 0.82$, datos agrupados: $r = 0.75$, p

< 0.01). La mayor fuerza absoluta de los hombres persistió a través de todo el protocolo de ejercicio (Figura 1a).

La fatiga temprana de los músculos del antebrazo fue valorada luego de 2 min de ejercicio intermitente. La declinación inicial en la máxima producción de fuerza fue similar entre los hombres y las mujeres (reducción del $19.5 \pm 2.4\%$ y del $18.6 \pm 2.5\%$ a partir del valor de MVC en reposo, para mujeres y hombres respectivamente) (Figura 2a). La tasa de fatiga de los músculos del antebrazo, determinada por la pendiente de cambio en la fuerza en una MVC durante el ejercicio de presión palmar, fue menor en las mujeres que en los hombres (Mujeres: -12.2 ± 1.8 N/min, Hombres: -21.8 ± 4.4 N/min, $p < 0.05$), y se correlacionó significativamente con la fuerza muscular de reposo (datos agrupados, $r = 0.62$, $p < 0.01$). Sin embargo, cuando la tasa de fatiga de los músculos del antebrazo fue expresada en relación con la fuerza en una MVC de reposo, corrigiendo así las diferencias en la fuerza absoluta, la tasa relativa de fatiga fue similar entre los sexos (Mujeres: reducción del $-3.6 \pm 0.5 \%$ a partir de la fuerza en una MVC por min; Hombres: -reducción del $4.3 \pm 0.6 \%$ a partir de la fuerza en una MVC por min) (Figura 3).

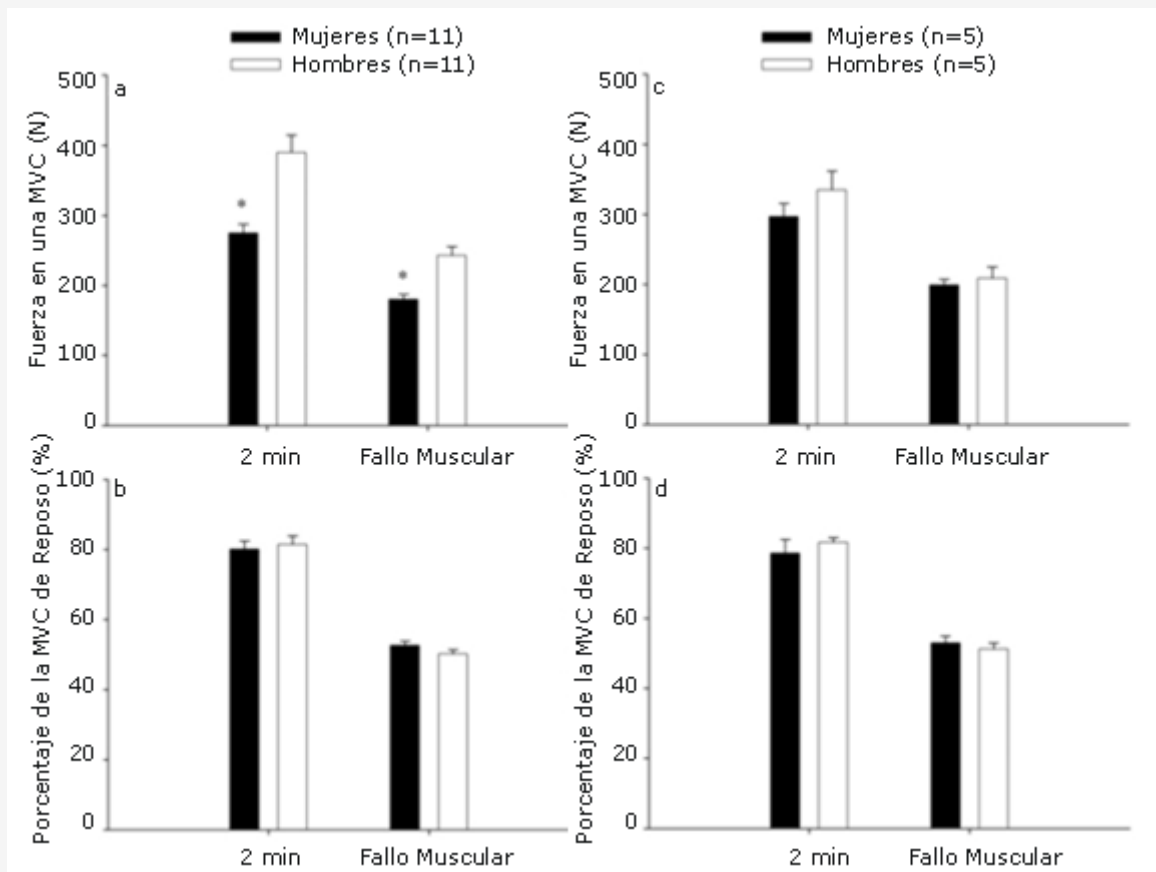


Figura 2. Cambios en la fuerza de los músculos del antebrazo luego de 2 min de ejercicio intermitente del antebrazo y en el momento del agotamiento. a) Fuerza absoluta en una MVC fue mayor en los hombres que en las mujeres a los 2 min y al momento del agotamiento. b) No se observaron diferencias en la fuerza del antebrazo expresada en relación a la fuerza en una MVC en reposo. Las comparaciones entre los sexos mostraron cambios similares en la producción de fuerza a los 2 min y en el momento del agotamiento cuando se expresaron en términos (c) absolutos o (d) relativos. *Diferencia significativa entre los sexos ($p < 0.05$).

Como se esperaba, la reducción en la máxima producción de fuerza al momento del agotamiento fue similar en los hombres y las mujeres (Mujeres: reducción del $47.6 \pm 1.0 \%$ a partir de la fuerza en una MVC; Hombres: reducción del $49.9 \pm 1.3 \%$ a partir de la fuerza en una MVC). El tiempo hasta el agotamiento no fue significativamente diferente entre los sexos (Mujeres: 793.3 ± 92.5 s; Hombres: 684.8 ± 76.2 s) y se correlacionó estrechamente con el cambio absoluto en la tasa de fatiga muscular (Mujeres: $r = 0.85$, Hombres: $r = 0.84$, datos agrupados: $r = 0.74$, $p < 0.01$). La relación entre el tiempo hasta el agotamiento y los datos agrupados de los cambios absolutos y relativos en la tasa de fatiga fueron descritos por una ecuación de decaimiento exponencial (absoluta: $r = 0.87$, $y = 7.7 + 181.3^{-0.005x}$, relativa: $r = 0.96$, $y = 1.8 + 20.7^{-0.0037x}$), con las mujeres y los hombres exhibiendo una respuesta similar (Figura 4).

Cuando se analizaron los cambios absolutos en la fuerza, se observó que la recuperación de la máxima capacidad de

producción de fuerza fue similar entre las mujeres y los hombres (10 min) (Figura 1a). Cuando estos cambios se expresaron en relación con la fuerza en una MVC en reposo, el análisis de varianza ANOVA de dos vías no exhibió efectos significativos para el sexo o una interacción significativa entre el sexo y el tiempo. Para analizar el tiempo de recuperación de la máxima capacidad de producción de fuerza en cada sexo se utilizó el análisis de varianza ANOVA de una vía, y se halló que este fue de 25 y 15 min post ejercicio en mujeres y hombres respectivamente (Figura 1b).

Comparaciones Sexuales entre Sujetos con Valores Similares de Fuerza

Las mujeres y los hombres con valores similares de fuerza en una MVC tuvieron características físicas similares (ver Tabla 1). La fuerza en una MVC en reposo fue de 376.6 ± 10.6 M y 407.8 ± 27.3 N para las mujeres y los hombres, respectivamente ($p=0.05$). Luego de 2 min de ejercicio, las mujeres y los hombres exhibieron una reducción similar en la fuerza muscular (Mujeres: reducción del 21.4 ± 3.9 % a partir de la fuerza en una MVC de reposo; Hombres: reducción del 18.2 ± 1.3 % a partir de la fuerza en una MVC de reposo) (Figura 2b). La tasa de fatiga de los músculos del antebrazo durante el ejercicio de prensión palmar fue similar entre los hombres y las mujeres tanto en valores absolutos (Mujeres: -15.0 ± 3.1 N/min; Hombres: -14.3 ± 3.3 N/min) como relativos (Mujeres: reducción del -3.9 ± 0.8 % a partir de la fuerza en una MVC en reposo por min; Hombres: reducción -3.4 ± 0.7 % a partir de la fuerza en una MVC en reposo por min) (Figura 3). Al momento del agotamiento, tanto los hombres como las mujeres exhibieron fatiga muscular de acuerdo con el protocolo de ejercicio (Mujeres: reducción del 47.1 ± 2.0 % a partir de la fuerza en una MVC en reposo; Hombres: reducción del 48.8 ± 1.7 % a partir de la fuerza en una MVC en reposo) (Figura 2b). El tiempo hasta el agotamiento fue similar entre los sexos con valores similares de fuerza (Mujeres: 706.6 ± 117.0 s; Hombres: 831.8 ± 118.7 s) y por último, la recuperación de la máxima capacidad de producción de fuerza retornó al valor pre ejercicio dentro de los 5 min de finalizado el ejercicio tanto en hombres como en mujeres.

DISCUSION

Para nuestro conocimiento, este es el primer estudio que comparó la fatigabilidad de los músculos del antebrazo durante contracciones repetidas submáximas de los prensores palmares entre hombres y mujeres. En base a comparaciones previas entre hombres y mujeres que involucraron la realización de contracciones intermitentes en otros músculos esqueléticos (Fulco et al., 1999; Gonzales and Scheuermann, 2006; Hunter et al., 2004), nosotros hipotetizamos que las mujeres exhibirían una menor tasa de fatiga de los músculos del antebrazo y por lo tanto exhibirían un mayor tiempo hasta el agotamiento que los hombres (i.e., una mayor resistencia a la fatiga). En contraste con nuestra hipótesis, en el presente estudio hallamos que el tiempo hasta el agotamiento y la tasa de fatiga de los músculos del antebrazo fueron similares entre los sexos, tanto cuando se compararon a sujetos con diferentes valores de fuerza como cuando se compararon sujetos con valores similares de fuerza. Estos resultados sugieren que tanto hombres como mujeres poseen similares procesos de producción de fatiga durante la realización de contracciones isométricas de los músculos del antebrazo.

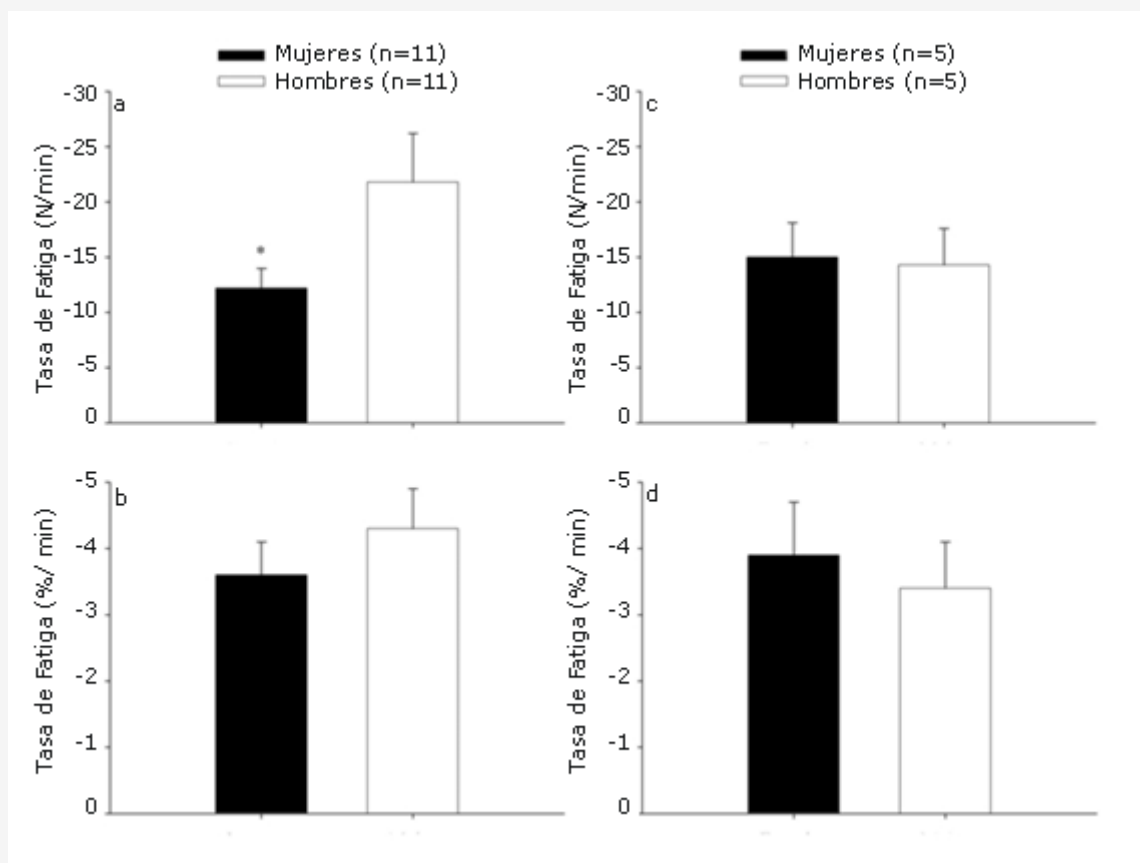


Figura 3. Comparación de las tasas de fatiga entre los hombres y las mujeres durante contracciones intermitentes de los prensosres palmares. a) La tasa absoluta de fatiga fue menor para las mujeres que para los hombres, b) pero no se observaron diferencias sexuales en la tasa de fatiga relativa a la fuerza en una MVC de reposo. La comparación entre sujetos como similares valores de fuerza mostró similares cambios (c) absolutos y (d) relativos en la tasa de fatiga de los músculos del antebrazo. *diferencia significativa entre los sexos ($p < 0.05$).

Los músculos del antebrazo son músculos muy utilizados durante actividades físicas tales como el tenis (Chow et al., 1999) y la escalada (Watts and Drobish, 1998). Además, los músculos del antebrazo son frecuentemente utilizados en actividades cotidianas por lo que la fuerza de presión palmar es utilizada como un indicador de la fuerza muscular global, y se ha reportado que produce una buena estimación de la incapacidad asociada con la edad (Rantanen et al., 1999). La frecuente utilización de los músculos del antebrazo puede resultar en un diferente patrón de activación muscular que el observado en otros músculos esqueléticos. Además, el patrón de activación dentro de un grupo muscular ha mostrado variar entre los músculos que comprenden el grupo funcional. Hunter et al (20003) ha demostrado que, cuando se realiza una actividad fatigante, la activación de los diversos flexores del codo es diferente a medida que transcurre el tiempo y lo mismo ocurre con un mismo músculo durante diferentes tareas motoras. Chow et al (1999) también ha demostrado que el cubital anterior tiene una mayor activación que el cubital posterior durante la presión palmar en el ejercicio de voleas de tenis. Por lo tanto, es razonable sospechar que los músculos del antebrazo podrían exhibir diversos patrones de activación dentro de un mismo músculo o a nivel sinérgico en el grupo muscular, que podrían resultar en diferentes procesos de fatiga que los observados en otros grupos musculares. Si bien es una especulación, la similar tasa de fatiga observada en los hombres y las mujeres en el presente estudio sugiere que el patrón de activación neuromuscular fue el mismo durante el ejercicio de presión palmar intermitente.

Las diferencias en la morfología muscular y por lo tanto en la utilización de los sustratos es un mecanismo que explica parcialmente la inconsistencia entre los hallazgos del presente estudio y los otros estudios que han examinado el músculo aductor del pulgar (Fulco et al., 1999) y los músculos inspiratorios (Gonzales and Scheuermann, 2006). El aductor del pulgar y los músculos inspiratorios son músculos que dependen altamente del metabolismo oxidativo y están comprendidos en gran proporción por fibras musculares Tipo I. Por otra parte, los músculos del antebrazo (los flexores de los dedos) tienen una misma proporción de fibras Tipo I y II (Johnson et al., 1973). Debido a que las mujeres han mostrado tener un mayor potencial para la fosforilación oxidativa en relación con la glucólisis que los hombres (Simoneau et al., 1985), es razonable suponer que las mujeres tendrían una menor tasa de fatiga que los hombres durante la realización de ejercicios

llevados a cabo por un músculo resistente a la fatiga. En contraste, la similar proporción de los distintos tipos de fibras en los músculos del antebrazo podría sugerir que no se dependería de una vía metabólica en particular para la producción de ATP durante el ejercicio. Esto está respaldado por mediciones llevadas a cabo con espectroscopia de resonancia magnética utilizando ^{31}P , tomadas en el músculo flexor superficial de los dedos y que mostraron que la fosforilación oxidativa, la hidrólisis de la PCr y la glucólisis contribuyen igualmente a la producción de ATP tanto en hombres como en mujeres durante 3 min de flexiones intermitentes de los dedos (Mattei et al., 1999).

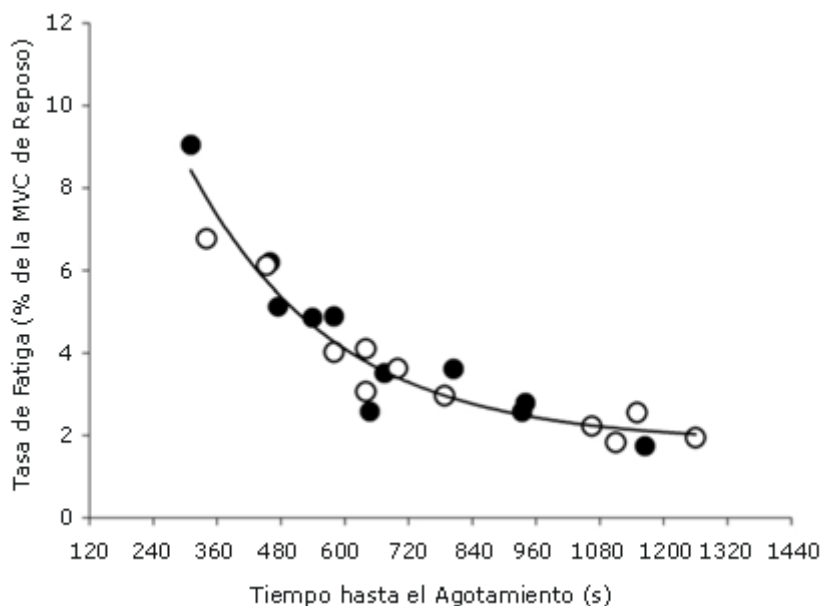


Figura 4. Relación entre la tasa de fatiga de los músculos del antebrazo y el tiempo hasta el agotamiento durante la realización de contracciones isométricas intermitentes. Las similares respuestas observadas en las mujeres (○) y hombres (●) con diferentes valores de fuerza muscular fue descrita por una ecuación de decaimiento exponencial ($y = 1.8 + 20.7^{0.0037x}$, $r = 0.96$).

En el presente estudio, la fuerza relativa de los músculos del antebrazo declinó similarmente en los hombres y las mujeres durante los primeros dos min del ejercicio intermitente de presión palmar. Mattei et al (1999) han provisto evidencia, a partir de mediciones llevadas a cabo con espectroscopia de resonancia magnética utilizando ^{31}P que indican que la actividad muscular del antebrazo tiene preferencia por las vías anaeróbicas durante el primer minuto de ejercicio intermitente de presión palmar tanto en hombres como en mujeres. Además, Pitcher y Miles (1997) han observado reducciones similares en la fuerza de los músculos del antebrazo durante los primeros dos minutos del ejercicio de presión palmar entre condiciones isquémicas y de libre circulación sanguínea, sugiriendo que estos músculos utilizan principalmente las vías metabólicas anaeróbicas. En conjunto, estos hallazgos indican que las similares reducciones en la fuerza de los músculos del antebrazo entre hombres y mujeres luego de 2 min de ejercicio intermitente se debieron a la utilización de las mismas vías metabólicas, que probablemente fueron las vías anaeróbicas.

La interrupción del flujo sanguíneo hacia los músculos a través de un incremento significativo en la presión intramuscular ha sido estudiada extensamente durante la realización de contracciones isométricas, y sobre todo mediante la realización del ejercicio de presión palmar (Barnes, 1980; Kagaya and Homma, 1997). La limitación del flujo sanguíneo hacia los músculos contribuye a la fatiga muscular mediante la reducción del transporte de oxígeno y glucosa y también la reducción de la remoción de los subproductos metabólicos (H^+ , Pi , $\text{H}^+ \text{PO}_4$) asociados con la fatiga muscular (Fitts, 1994). Estos mecanismos de la fatiga han sido propuestos como la causa de la reducción del tiempo hasta el agotamiento observado en hombres durante la realización del ejercicio de presión palmar con limitación del flujo sanguíneo (Petrofsky et al., 1975; West et al., 1995). En el presente estudio, los hombres generaron mayores valores de fuerza absoluta que las mujeres, y por lo tanto, probablemente generaron mayores subproductos metabólicos que las mujeres (Ettinger et al., 1996). Sin embargo, las mujeres y los hombres exhibieron una similar tasa relativa de fatiga durante las contracciones musculares intermitentes, y no se observaron diferencias en los cambios absolutos en la tasa de fatiga cuando se compararon sujetos con similares valores de fuerza. Esto sugiere que el flujo sanguíneo hacia los músculos del antebrazo fue suficiente como

para evitar la acumulación local de subproductos metabólicos durante el ejercicio intermitente de prensión palmar. La respuesta hiperémica que ocurre durante las contracciones intermitentes probablemente minimizó el efecto de la compresión mecánica que reduce el flujo sanguíneo hacia los músculos del antebrazo (Kagaya and Ogita, 1992).

Si bien en el presente estudio no se midió la masa muscular del antebrazo, los hombres en promedio fueron más altos y más pesados (i.e., superficie de área corporal 10% mayor) que las mujeres. Aunque esto no explica completamente la diferencia del 25% en la fuerza del antebrazo entre los hombres y las mujeres, se observó una correlación significativa entre el área de superficie corporal y la fuerza en un MVC de reposo (datos agrupados: $r = 0.75$, $p < 0.01$). Por lo tanto, es probable que los hombres también tuvieran una mayor masa muscular en el antebrazo que las mujeres para generar fuerza. A pesar de esto, las mujeres y los hombres exhibieron similares tasas de declinación de la fuerza lo que resultó en similares tiempos hasta el agotamiento durante el ejercicio de prensión palmar isométrica. Esto es consistente con lo reportado por West et al (1995) quienes hallaron bajas correlaciones entre la fuerza en una MVC y el tiempo de resistencia durante el ejercicio de prensión palmar isométrica en hombres y mujeres con diferentes valores de fuerza. El presente estudio extiende estos hallazgos al ejercicio intermitente, ya que el tiempo hasta el agotamiento no se correlacionó con la fuerza del antebrazo (datos agrupados: $r = 0.08$). Estos resultados son consistentes con el concepto de que la fuerza absoluta no es un factor que influye en la fatigabilidad de los músculos del antebrazo durante el ejercicio de prensión palmar.

Luego de alcanzar el fallo muscular, tanto en hombres como en las mujeres, la fuerza en una MVC retornó a los valores pre ejercicio dentro de los 10 min. Cuando las mediciones de la fuerza fueron analizadas en relación a la fuerza en una MVC de reposo, no se hallaron diferencias entre los sexos en la tasa de recuperación. Sin embargo, los análisis dentro de cada sexo mostraron que la fuerza en una MVC retornó a los valores pre ejercicio dentro de los 25 y 15 min para las mujeres y los hombres respectivamente. Aunque esto podría interpretarse como que las mujeres exhibieron una mayor fatiga muscular que los hombres, el hecho de que cada sexo tuviera valores similares de la tasa de fatiga muscular y del tiempo hasta el agotamiento sugiere que la fatiga muscular fue igual entre los hombres y las mujeres. El mayor tiempo de recuperación exhibido por las mujeres podría deberse a diversos factores. Por ejemplo, las mujeres del presente estudio tuvieron, en promedio, valores del $\dot{V}O_{2pico}$ un 15% menor (i.e., capacidad aeróbica) que los hombres, lo cual pudo haberse trasladado a una reducida capacidad para restaurar la fuerza en una MVC (Hakkinen and Myllyla, 1990). No obstante, es importante reconocer que los hombres y mujeres con valores similares de fuerza en una MVC mostraron tasas de recuperación similares luego del agotamiento, confirmando que no hubo diferencias sexuales en la magnitud de la fatiga muscular durante el ejercicio intermitente de prensión palmar. Sin embargo, en relación con la recuperación inicial (1-3 min) de la fuerza en una MVC, esta pudo haber sido diferente entre los hombres y las mujeres tal como se ha reportado en otros músculos esqueléticos durante la realización de contracciones intermitentes (Fulco et al., 1999; Kent-Braun et al., 2002)

CONCLUSIONES

En conclusión, las mujeres no exhiben una mayor capacidad de resistencia a la fatiga muscular que los hombres durante el ejercicio intermitente y submáximo de prensión palmar. En cambio, en el presente estudio se halló que las mujeres y los hombres tienen una similar tolerancia al ejercicio durante la realización de contracciones musculares. Este hallazgo fue el mismo sin considerar la fuerza absoluta, lo que indica que la fuerza máxima de prensión palmar no es un factor determinante de la tolerancia al ejercicio durante la realización de contracciones isométricas. En efecto, Mermier et al (2000) recientemente reportaron que similares tiempos hasta el agotamiento durante contracciones estáticas (50% de la MVC) entre hombres y mujeres entrenados en escalada, a pesar de que los hombres tenían una mayor fuerza de prensión palmar que las mujeres. Los mecanismos precisos que causan similares procesos de fatiga para los hombres y mujeres durante contracciones isométricas repetidas todavía deben ser determinados, pero sería de gran interés considerar las diferencias sexuales en la fatiga muscular observadas en otros músculos esqueléticos.

Puntos Clave

El propósito del presente estudio fue determinar si existen diferencias sexuales en la fatiga de los músculos del antebrazo durante la realización de contracciones isométricas intermitentes.

Las comparaciones sexuales entre sujetos con valores diferentes y con valores similares de fuerza mostraron que los hombres y las mujeres exhiben valores similares de tolerancia al ejercicio, tasa de fatiga y recuperación de la fuerza luego de la realización de contracciones isométricas repetidas.

Estos resultados indican que la fuerza máxima de prensión palmar no es un factor determinante de la tolerancia al ejercicio durante la realización del ejercicio intermitente de prensión palmar llevado a cabo a una moderada intensidad de

contracción.

REFERENCIAS

1. Barnes, W. S (1980). The relationship between maximum isometric strength and intramuscular circulatory occlusion. *Ergonomics* 23, 351-357
2. Bigland-Ritchie, B., Jones, D. A., Hosking, G. P. and Edwards, R. H. T (1978). Central and peripheral fatigue in sustained maximum voluntary contractions of human quadriceps muscle. *Clinical Science (Lond)* 54, 609-614
3. Bilic, R., Kolundzic, R. and Jelic, M (2001). Overuse injury syndromes of the hand, forearm and elbow. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology* 52, 403-414
4. Blackwell, J. R., Kornatz, K. W. and Heath, E. M (1999). Effect of grip span on maximal grip force and fatigue of flexor digitorum superficialis. *Applied Ergonomics* 30, 401-405
5. Chow, J. W., Carlton, L. G., Lim, Y. T., Shim, J. H., Chae, W. S. and Kuenster, A. F (1999). Muscle activation during tennis volley. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31, 846-854
6. Clark, B. C., Manini, T. M., The, D. J., Doldo, N. A. and Ploutz-Snyder, L. L (2003). Gender differences in skeletal muscle fatigability are related to contraction type and EMG spectral compression. *Journal of Applied Physiology* 94, 2263-2272
7. Ditor, D. S. and Hicks, A. L (2000). The effect of age and gender on the relative fatigability of the human adductor pollicis muscle. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 78, 781-790
8. Ettinger, S. M., Silber, D. H., Collins, B. G., Gray, K. S., Sutliff, G., Whisler, S. K., McClain, J. M., Smith, M. B., Yang, Q. X. and Sinoway, L. I (1996). Influences of gender on sympathetic nerve responses to static exercise. *Journal of Applied Physiology* 80, 245-251
9. Fitts, R. H (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews* 74, 49-94
10. Fulco, C. S., Rock, P. B., Muza, S. R., Lammi, E., Cymerman, A., Butterfield, G., Moore, L. G. and Braun, B (1999). Slower fatigue and faster recovery of the adductor pollicis muscle in women matched for strength with men. *Acta Physiologica Scandinavica* 167, 233-239
11. Gonzales, J. U. and Scheuermann, B. W (2006). Gender differences in the fatigability of the inspiratory muscles. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 38, 472-479
12. Hakkinen, K. and Myllyla, E (1990). Acute effects of muscle fatigue and recovery on force production and relaxation in endurance, power and strength. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 30, 5-12
13. Hicks, A. L., Kent-Braun, J. and Ditor, D. S (2001). Sex differences in human skeletal muscle fatigue. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 29, 109-112
14. Hunter, S. K., Critchlow, A., Shin, I.-S. and Enoka, R. M (2004). Men are more fatigable than strength-matched women when performing intermittent submaximal contractions. *Journal of Applied Physiology* 96, 2125-2132
15. Hunter, S. K. and Enoka, R. M (2001). Sex differences in the fatigability of arm muscles depends on absolute force during isometric contractions. *Journal of Applied Physiology* 91, 2686-2694
16. Hunter, S. K., Lepers, R., MacGillis, C. J. and Enoka, R. M (2003). Activation among the elbow flexor muscles differs when maintaining arm position during a fatiguing contraction. *Journal of Applied Physiology* 94, 2439-2447
17. Johnson, M. A., Polgar, J., Weightman, D. and Appleton, D (1973). Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles. An autopsy study. *Journal of Neurological Science* 18, 111-129
18. Kagaya, A. and Homma, S (1997). Brachial arterial blood flow during static handgrip exercise of short duration at varying intensities studied by a Doppler ultrasound method. *Acta Physiologica Scandinavica* 160, 257-265
19. Kagaya, A. and Ogita, F (1992). Blood flow during muscle contraction and relaxation in rhythmic exercise at different intensities. *Annals of Physiology and Anthropology* 11, 251-256
20. Kent-Braun, J. A., Ng, A. V., Doyle, J. W. and Towse, T. F (2002). Human skeletal muscle responses vary with age and gender during fatigue due to incremental isometric exercise. *Journal of Applied Physiology* 93, 1813-1823
21. Lewis, S. F. and Fulco, C. S (1998). A new approach to studying muscle fatigue and factors affecting performance during dynamic exercise in humans. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 26, 91-116
22. Mattei, J. P., Bendahan, D., Roussel, M., Lefur, Y. and Cozzone, P. J (1999). Gender modulates the energy cost of muscle contraction in untrained healthy subjects. A ³¹P magnetic resonance spectroscopy analysis. *FEBS Letters* 450, 173-177
23. Mermier, C. M., Janot, J. M., Parker, D. L. and Swan, J. G (2000). Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. *British Journal of Sports Medicine* 34, 359-366
24. Petrofsky, J. S., Burse, R. L. and Lind, A. R (1975). Comparison of physiological responses of women and men to isometric exercise. *Journal of Applied Physiology* 38, 863-868
25. Pitcher, J. B. and Miles, T. S (1997). Influence of muscle blood flow on fatigue during intermittent human hand-grip exercise and recovery. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 24, 471-476
26. Rantanen, T., Guralnik, J. M., Foley, D., Masaki, K., Leveille, S., Curb, J. D. and White, L (1999). Midlife hand grip strength as a predictor of old age disability. *Journal of the American Medical Association* 281, 558-560
27. Russ, D. W. and Kent-Braun, J. A (2003). Sex differences in human skeletal muscle fatigue are eliminated under ischemic conditions. *Journal of Applied Physiology* 94, 2414-2422
28. Simoneau, J.-A., Lortie, G., Boulay, M. R., Thibault, M. C., Theriault, G. and Bouchard, C (1985). Skeletal muscle histochemical and biochemical characteristics in sedentary male and female subjects. *Canadian Journal of Applied Physiology* 63, 30-35

29. Watts, P. B. and Drobish, K. M (1998). Physiological responses to stimulated rock climbing at different angles. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30, 1118-1122
30. West, W., Hicks, A., Clements, L. and Dowling, J (1995). The relationship between voluntary electromyogram, endurance time and intensity of effort in isometric handgrip exercise. *European Journal of Applied Physiology* 71, 301-305

Cita Original

Joaquin U. Gonzales and Barry W. Scheuermann. Absence of Gender Differences in the Fatigability of the Forearm Muscles during Intermittent Isometric Handgrip Exercise. *Journal of Sports Science and Medicine* (2007) 6, 98 - 105.