



# Influència de la temperatura i durada de la immersió aquàtica sobre el to muscular

## Aplicacions en el rendiment esportiu

Ester Mur Gimeno

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) i a través del Dipòsit Digital de la UB ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) y a través del Repositorio Digital de la UB ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) service and by the UB Digital Repository ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AGUA EN LA INMERSION  
SOBRE EL DESPLAZAMIENTO MUSCULAR Y TIEMPO DE  
CONTRACCION**

**Mur E. [esther\\_mur@yahoo.com](mailto:esther_mur@yahoo.com)  
Lleida A. [agustinlleida@hotmail.com](mailto:agustinlleida@hotmail.com)  
Solé J. [jsolef@gencat.cat](mailto:jsolef@gencat.cat)  
Moras G. [gmoras@gencat.cat](mailto:gmoras@gencat.cat)**

**Instituto Nacional de Educación Física de Barcelona (INEFC)**

Contacto: Esther Mur Gimeno

## ***ABSTRACT***

El uso de hidroterapia como medida de recuperación post esfuerzo, es común en el ámbito de la fisioterapia y la medicina del deporte. La gran variabilidad que existe en su forma de aplicación, ha provocado en los últimos años un creciente interés por la misma. A través de la tensiomiografía (TMG), se mide, de forma objetiva, el desplazamiento muscular (Dm) y el tiempo de contracción (Tc), quedando representados mediante una curva de tiempo/desplazamiento. El propósito de este estudio es observar cómo afecta la temperatura y el tiempo de inmersión en el agua en el Dm y el Tc, valorados mediante TMG. Los resultados se diferenciarán entre un tratamiento de agua fría y otro de agua caliente y hasta los 40' posteriores a la inmersión. *Muestra:* 12 hombres sanos y físicamente activos participaron voluntariamente en el presente estudio. SD: edad  $23 \pm 3$  años; altura  $1,81 \pm 0,08$ m; peso  $74,79 \pm 8,10$ kg; índice de masa corporal  $22,87 \pm 1,35$ ; perímetro medio mínimo de la extremidad inferior (EEII)  $51,69 \pm 2,95$ cm y perímetro medio máximo EEII  $56,21 \pm 2,76$ cm. *Resultados:* Existen diferencias significativas en el Dm para el tiempo ( $p=0,000$ ) y la temperatura ( $p=0,000$ ) y Tc para el tiempo ( $p=0,000$ ) y la temperatura ( $p=0,013$ ). Existen diferencias significativas entre el Dm basal y el post, 10', 30' y 40' ( $p=0,000$ ). Existen diferencias significativas entre el Tc basal y 30' ( $p=0,000$ ).

## ***PALABRAS CLAVE***

Hidroterapia, tensiomiografía, crio hidroterapia, termo hidroterapia.

|

## ***1. INTRODUCCION***

El uso de hidroterapia como medida de recuperación post esfuerzo, es común en el ámbito de la fisioterapia y la medicina del deporte. La gran variabilidad que existe en su forma de aplicación (Myrer et al., 1994; Higgins et al., 1998; Merrick et al., 1999; y Fiscus et al., 2005), ha provocado en los últimos años un creciente interés en conocer la respuesta fisiológica del individuo a ciertos parámetros biofisiológicos (Cobos M y Marín MJ, 2008). Los estudios desarrollados hasta el momento, investigan cómo afecta la temperatura del agua sobre parámetros fisiológicos tales como la temperatura muscular, lactato, CK, Frecuencias cardíacas (FC) y respuesta hormonal, entre otros, utilizando protocolos de temperatura y tiempos de inmersión diversos (Gill ND, Beaven CM y Cook C, 2006; Halson SL et al., 2008; Vaile J et al., 2008; Goodall S and Howatson G, 2008; Becker BE et al., 2009).

Sin embargo existen pocos estudios que analicen la influencia que tiene la hidroterapia sobre las propiedades contráctiles de los grupos musculares, el tono muscular, el tiempo de reacción, de contracción y de relajación.

A finales del siglo pasado aparece una nueva tecnología para medir de forma objetiva el desplazamiento muscular, la tensiomiografía (TMG). La técnica que se presenta está basada en la cuantificación de los desplazamientos radiales del vientre muscular en respuesta a un sólo estímulo eléctrico (Valencic, 1997). Mediante TMG, la valoración del desplazamiento muscular se realiza a través del registro de los parámetros tiempo y máximo desplazamiento del músculo durante su contracción, que quedan representados mediante una curva de tiempo/desplazamiento. La curva tiempo-desplazamiento permite evaluar las propiedades contráctiles del músculo, proporcionando el registro de 5 variables: máximo desplazamiento (Dm), tiempo de contracción (Tc), tiempo de

reacción (Td), tiempo de relajación (Tr) y tiempo de la duración de la contracción (Ts); siendo los mas fiables el Dm y Tc (Dahmane et al., 2001, 2005; Krizaj et al., 2008).

Uno de los últimos trabajos publicados, en el campo de la TMG, es el realizado por Tous et al., (2010), donde se examina la fiabilidad entre evaluadores de las propiedades contráctiles del vasto medial utilizando dicha técnica. Los resultados muestran una buena fiabilidad inter-evaluador en todas las variables, a excepción de Tr, que registró el menor índice de correlación (0,77). El mayor índice de fiabilidad lo dio el Dm con un (0,96-0,97).

Teniendo en cuenta la dificultad y variabilidad en la aplicación de diferentes protocolos de tiempo y temperatura del trabajo de hidroterapia (Cobos M y Marín MJ, 2008) y el interés en saber cómo se comporta el músculo en función de esos parámetros, el propósito de este estudio es conocer cómo evoluciona el Dm y el Tc valorados, objetivamente, mediante TMG. Los resultados se diferenciaran entre un tratamiento de agua fría y otro de agua caliente y los registros se tomaran a lo largo del tiempo y hasta los 40' posteriores a la inmersión.

## **2. METODO**

### **2.1 Sujetos**

Doce sujetos hombres sanos (sin lesión en la extremidad a valorar en los últimos 6 meses) y físicamente activos (10 horas de actividad física semanal) participaron voluntariamente en el presente estudio. SD: edad  $23 \pm 3$  años; altura  $1,81 \pm 0,08$ m; peso  $74,79 \pm 8,10$ kg; índice de masa corporal  $22,87 \pm 1,35$ ; perímetro medio mínimo de la extremidad inferior (EEII)  $51,69 \pm 2,95$ cm y perímetro medio máximo (EEII)  $56,21 \pm 2,76$ cm. Todos los sujetos fueron informados sobre el procedimiento y sus riesgos antes de firmar el consentimiento escrito.

## *2.2 Material*

El desplazamiento radial del bíceps femoral (BF) fue valorado mediante TMG (GK 40, Panoptik d.o.o., Ljubjana, Slovenia), que incorpora un sensor de  $0,17\text{N mm}^{-1}$ . Se utilizaron dos electrodos (4,5 x 4,5 cm, modelo RM 4545 Rehab Medic) y un estimulador TMG-S1 (EMF-Furlan y Co. d.o.o., Ljubljana, Slovenia).

El tratamiento de inmersión acuática en agua fría (10°) y agua caliente (42°) se realizó en una bañera de masaje subacuático modelo Jamaica 131 de 2,00 x 0,85 x 0,73 m de dimensiones y capacidad de 250 l, que incorpora entrada de agua caliente y de agua fría.

## *2.3 Entrenamiento del evaluador*

El evaluador de la investigación se entrenó con un experto durante un mes, a razón de 3 sesiones/semana. Durante ese tiempo, se familiarizó con el material, su colocación y el protocolo de medición. Además durante la última semana se comprobó la reproducibilidad del test. Concretamente, se realizó una serie de 10 valoraciones repetidas a una mujer sana, que no formaba parte de la muestra. En cada uno de los tests los evaluadores realizaron todo el protocolo en el mismo día sin coincidir en ningún momento en la misma sala.

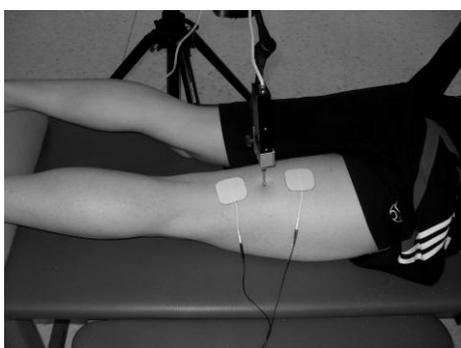
## *2.4 Protocolo*

El desplazamiento radial del bíceps femoral (BF) fue valorado en situación de reposo, con el sujeto situado en decúbito prono y la rodilla de la pierna dominante semi-flexionada a 20° (0° grados corresponden a la extensión total de rodilla). Se utilizó un cojín terapéutico situado en la articulación de tobillo para mantener la flexión de rodilla. El sensor de TMG se situó perpendicular al vientre del BF. La localización del sensor se marcó con un lápiz dermatológico siguiendo la referencia de Delagi et al. (1971).

Asimismo, los electrodos se situaron a cada lado del sensor con una separación inter-electrodo de 6 cm, previa señalización de su localización con un lápiz dermatológico.

El procedimiento utilizado para la toma de datos fue el seguido por Tous et al. (2010).

Se realizó un protocolo de medición a frecuencias bajas (50mA) en el que se fue incrementando la intensidad en rangos de 10mA, cada 10", hasta llegar a la frecuencia máxima (110mA). El sujeto en ningún caso fue avisado del momento de la descarga (Fig. 1).



*Fig. 1. Colocación del sujeto en decúbito prono con flexión de rodilla de la pierna dominante a 20°. Situación del sensor perpendicular al vientre muscular. Separación inter-electrodo de 6 cm.*

El tratamiento en agua se realizó con el sujeto en sedestación en la bañera de masaje subacuático y el agua a nivel de la línea del ombligo. Se pidió al sujeto que situara la espalda apoyada en el respaldo y los brazos, relajados y fuera de la bañera. El sujeto permaneció con las rodillas semiflexionadas, sin notar tensión en la cadena posterior, asegurando una completa relajación de la EEII (Fig. 2). El control de la temperatura del agua, se realizó mediante un termómetro acuático. El mantenimiento de la temperatura del agua fría, se efectuó añadiendo cubitos de hielo.



*Fig. 2. Protocolo de inmersión. Situación del sujeto en sedestación con la espalda apoyada en el respaldo de la bañera, los brazos apoyados fuera las rodillas semiflexionadas.*

Para el registro de las variables, se realizó una toma basal de datos con TMG, aplicando un test-retest. Posteriormente, el sujeto, de forma aleatoria, realizó la inmersión en agua fría (10°) o caliente (42°) según procediera, durante 20 min. durante los cuales se mantuvo relajado y sin hablar. Inmediatamente después del tiempo de tratamiento, se procedió a la siguiente toma de datos, anotado como post inmediato (que no superó el minuto post inmersión). Cada diez minutos, se procedió a la siguiente toma de datos (a los 10, 20, 30 y 40 min. posteriores a la inmersión). Entre registro y registro, el sujeto se mantuvo en reposo sentado sobre el banco.

### *2.5 Tratamiento estadístico.*

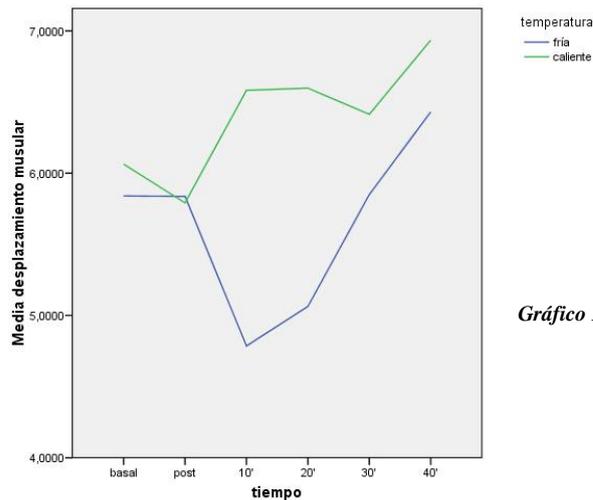
Se utilizó el software SPSS v.15. Se exploraron los estadísticos descriptivos y se realizó la depuración de datos para todas las variables (de la muestra y explicativas). Se estudió la normalidad de las variables mediante Shapiro Wilk. Se estudiaron correlaciones de Pearson y regresiones para variables Dm, Tc. Se aplicó ANOVA factorial con post-hoc (comparaciones dos a dos con corrección de Tukey) para medir la interacción entre el tiempo y la temperatura. Previamente se estudió la fiabilización inter-observador mediante la ANOVA de medidas repetidas.

\* Los niveles de significación establecidos para la aprobación o rechazo de las hipótesis alternativas  $p \leq 0,05$ .

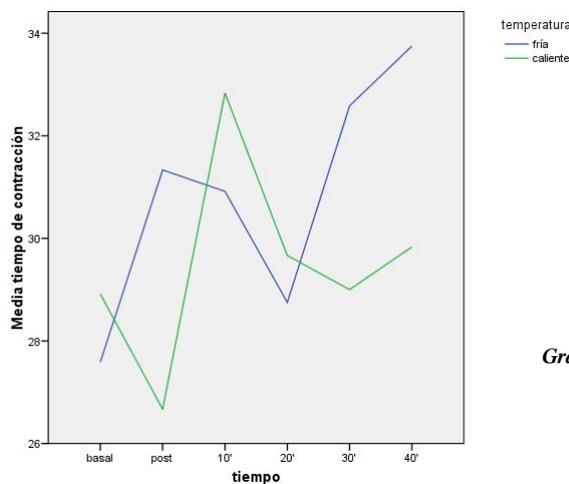
## **3. RESULTADOS**

Existe una relación lineal positiva entre el Dm y el tiempo y la temperatura ( $r = 0,203$  y  $r = 0,530$ ) respectivamente. Que sigue siendo significativa en las correlaciones parciales tanto en el control de la temperatura, como el del tiempo ( $p = 0,0044$  y  $p = 0,000$ ) respectivamente. No existe correlación significativa entre el Tc y el tiempo y la temperatura.

Regresión para  $Dm_{(R=0,013)}$  significativa en tiempo temperatura. Las regresiones para  $Tc$  no son significativas ( $R=0,205$ ). Los gráficos 1 y 2 muestran la evolución del  $Dm$  y  $Tc$ , respectivamente, a lo largo del tiempo y en función de la temperatura, después de la inmersión de 20'.



**Gráfico 1.** Evolución del  $Dm$  en el tiempo en función de la temperatura.



**Gráfico 2.** Evolución del  $Tc$  en el tiempo según temperatura

Existen diferencias significativas en el  $Dm$  para el tiempo ( $p=0,000$ ) y la temperatura ( $p=0,000$ ). La interacción del tiempo y la temperatura ( $p=0,000$ ) indica que al menos una de las diferencias no se mantiene cuando éstas actúan juntas. El tiempo, la temperatura y la interacción de ambas explican un 73% la varianza en el  $Dm$ . Existen diferencias significativas entre el  $Dm$  basal y el post, 10', 30' y 40' ( $p=0,000$ ).

Existen diferencias significativas en el Tc para el tiempo ( $p=0,000$ ) y la temperatura ( $p=0,013$ ). La interacción del tiempo y la temperatura ( $p=0,000$ ) indica que al menos una de las diferencias no se mantiene cuando éstas actúan juntas. El tiempo, la temperatura y la interacción de ambas explican un 48% la varianza en el Tc. Existen diferencias significativas entre el Tc basal y 30' ( $p=0,000$ ).

#### **4. DISCUSION**

La originalidad del presente estudio se halla en el uso de una técnica novedosa, objetiva y no invasiva, para medir el desplazamiento muscular y el tiempo de contracción del músculo, que son los dos parámetros más fiables que nos ofrece el TMG (Tous et al., 2010) a lo largo del tiempo posterior a la inmersión (hasta 40 min. después de la aplicación del tratamiento). El hecho de poder estudiar cómo se comporta el Dm y el Tc después de un tratamiento de hidroterapia, no parece haber sido investigado hasta el momento. Los resultados hallados en el presente estudio, nos muestran que el Dm y el Tc se ven significativamente modificados a lo largo del tiempo posterior a la inmersión. A su vez, otra particularidad en la presentación de este estudio, es poder comparar lo que sucede con dichas variables, en función de otra variable explicativa como la temperatura, ofreciendo una interacción positiva en las mismas. Este aspecto, también brinda una nueva visión que no parece haber sido desarrollada hasta el momento.

Si hablamos en valores absolutos, podemos observar como el Dm en agua fría, presenta una tendencia a disminuir durante los 10' posteriores al tratamiento, para aumentar exponencialmente y alcanzar sus valores máximos a los 40' post tratamiento. En el agua caliente, la tendencia del Dm es de disminuir en el post inmediato, probablemente debido al contraste de temperaturas ambientales, para iniciar una

recuperación de aumento del Dm que obtendrá sus valores más altos en los 10' y 40' posteriores a la inmersión.

Por otro lado, observamos que el Tc en agua fría es más elevado en el post inmediato (lo que se podría relacionar con un músculo más lento), para disminuir a los 20' y volver a aumentar progresivamente hasta los 40' (aunque siempre con valores más elevados que en la toma basal, lo que parecería indicar que la respuesta muscular es más lenta). Sin embargo, en el agua caliente, se produce una disminución del Tc en el post inmediato (lo que parecería indicar un músculo más rápido), para luego ir aumentando sus valores, destacando los valores más altos en los 10' posteriores al tratamiento.

Los protocolos de hidroterapia anteriores al 2008 (2°, 8°, 14° y 20° durante 8,8±4,5 min., 14,5±5,3 min., 17,3±4,5 min. y 18,2±12,9 min.) para comprobar el descenso de la temperatura en atletas, después de trabajo en ambiente caluroso, así como para conocer las respuestas terapéuticas a los mismos, resultaron ser tiempos insuficientes y estrategias no adecuadas, ya que eran series de inmersión intermitente, de tres minutos (Myrer et al., 1994; Higgins et al., 1998; Merrick et al., 1999; y Fiscus et al., 2005). Es por ese motivo que posteriormente se han ido modificando tanto las temperaturas, como los tiempos de exposición, sin llegar a un consenso (Cobos M y Marín MJ, 2008). Por esta razón, el presente estudio, escoge un tiempo de exposición lo suficientemente largo como para poder hallar diferencias en los parámetros estudiados. Así mismo, aunque los rangos de temperatura están muy definidos, se escogen dos tipos de temperatura bien alejadas entre sí (10° y 42°) y de la temperatura indiferente (32° - 35° ± 3°), ya que más allá de las mismas se activan los nociceptores.

Precisamente la originalidad en el planteamiento de este estudio, no permite comparar los resultados obtenidos en el mismo, con otras experiencias similares y anteriores; tanto en el estudio de sus variables, como en el planteamiento de protocolos.

Es por este motivo, creemos sería interesante continuar investigando mediante TMG, la aplicación de la hidroterapia y sus efectos en las propiedades contráctiles del músculo. El uso de esta técnica objetiva y no invasiva, nos permitirá cerrar protocolos de tiempo y temperatura para la aplicación de los mismos, en las medidas de recuperación post esfuerzo; así mismo, el control de dichos parámetros después de realizar sesiones de trabajo que induzcan a la fatiga, nos permitirá desarrollar con profundidad tanto la TMG como la aplicación adecuada de la hidroterapia, en función de las necesidades del deportista.

## 5. **BIBLIOGRAFIA**

- Myrer JW, Draper D, Durrant E. (1994). Contrast therapy and intramuscular temperature in the human leg. *Journal of athletic training*, 29 (4): 318-22.
- Higgins D, Kaminski T. (1998) Contrast therapy does not causes fluctuations in human gastrocnemius intramuscular temperature. *Journal of athletic training*, 33 (4): 336-40.
- Merrick MA, Rankin JM, Andress FA and Hinman CL. (1991) A preliminary examination of cryotherapy and secondary injury in skeletal muscle. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31: 1516-1521.
- Fiscus KA, Kaminski T, Powers M. (2005). Changes in Lower leg blood flow during warm, cold and contrast water therapy. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*, 86: 1404-10.
- Cobos M y Marín MJ. (2008) Variabilidad en la aplicación de los baños de contraste en la práctica de la Fisioterapia. *Cuestiones de fisioterapia*, 37 (1): 3-12.
- Gill ND, Beaven CM and Cook C. (2006) Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *Journal of Sports Medicine*, 40: 260-263.

- Halson SL, Quod MJ, Martin DT, Gardner AS, Ebert TR and Laursen PB. (2008) Physiological Responses to Cold Water Immersion Following Cycling in the Heat. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, (3): 331-346.
- Vaile J, Halson S, Gill N and Dawson B. (2008) Effect of cold water immersion on repeat cycling performance and thermoregulation in the heat. *Journal of Sports Sciences*, 26 (5): 431-440.
- Goodall S and Howatson G. (2008) The effects of multiple cold water immersion on indices of muscle damage. *Journal of Sports Science and Medicine*, (7): 235-241.
- Becker BE, Hildenbrand K, Whitcomb RK and Sanders JP (2009). Biophysiological effects of warm water immersion. *International Journal of Aquatic Research and Education*, (3):24-37.
- Valencic V, Knez N. Measuring of skeletal muscle's dynamic properties. *Artif Organs* 1997;21(3):240–2.
- Dahamane R, Valencic V, Knez N, Erzen I. (2001) Evaluation of the ability to make non-invasive estimation of muscle contractile properties on the basis of the muscle belly response. *Med Biol Eng Comput*, 39(1):51-5.
- Dahamane R, Djordjevic S, Simunic B, Valencic V. (2005) Spatial fiber type distribution in normal human muscle: histochemical and tensiomyographical evaluation. *J Biomech*, 38 (12):2451-9
- Krizaj D, Simunic B, Zagar T. (2008) Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *J Electromyogr Kinesiol*, 18(4):645-51.
- Tous-Fajardo, J. et al. (2010) Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *J Electromyogr Kinesiol*, doi:10.1016/j.jelekin.