



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

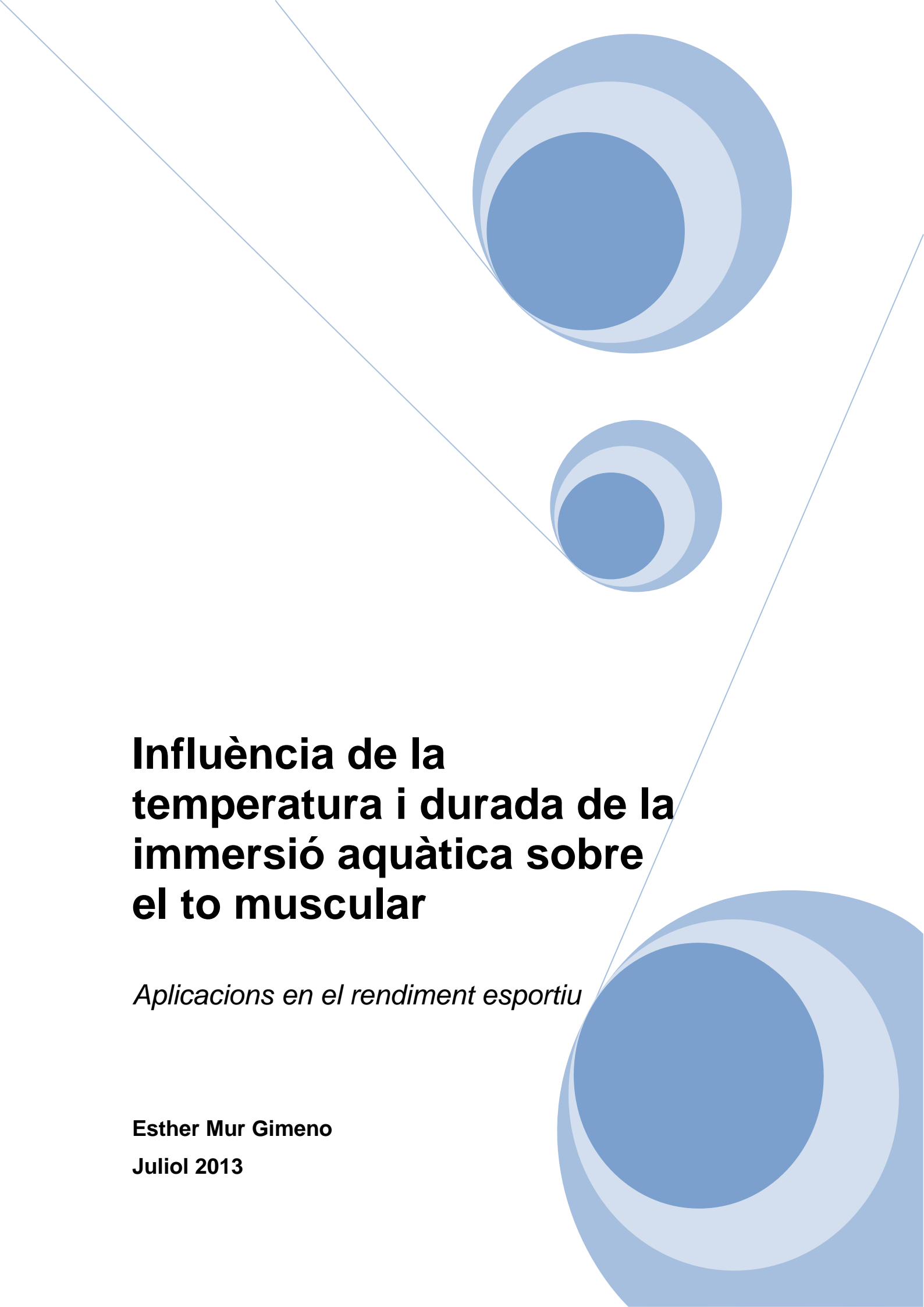
## Aplicacions en el rendiment esportiu

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.

The background features a decorative graphic consisting of three overlapping blue circles of varying sizes, arranged in a vertical line. Two thin blue lines intersect at the top left and extend diagonally across the page, framing the circles and the text.

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

*Aplicacions en el rendiment esportiu*

**Esther Mur Gimeno**

**Juliol 2013**

A tu, Juanjo, perquè ets la meua vitalitat, el meu batec, la meua aigua... el meu TOT... i aconsegueixes cada dia, que l'excursió de la vida al teu costat sigui un viatge inoblidable. I, evidentment a tu, Maria, perquè sempre em carregues d'energia.

Ineludiblement als que ja no hi sou, perquè SEMPRE esteu amb mi... us enyoro.

Si estic aquí ara, davant l'ordinador, és perquè això sembla que ja toca a la seva fi. Veritablement el camí ha semblat llarg i feixuc, però fent repàs de tot plegat, val molt la pena. Val a dir que en realitat, aquesta petita excursió comença molt temps enllà, farà ara ja nou anys... o potser, si ho penso bé, hauria de tirar una mica més enrere... tot just en acabar Fisioteràpia, ara ja fa uns bons onze anys. És per això, que sou molts els que m'heu acompanyat en aquest viatge i, a cadascun de vosaltres és lícit dedicar-vos i agrair-vos el mèrit que us correspon.

Hauré de començar pel principi... recordant a tots aquells professors, tant de fisioteràpia com de l'Inefc, que sense saber-ho, poc a poc anaven encenent la meva curiositat cap al doctorat; a tots vosaltres moltes gràcies per la vostra dedicació a la professió i per fer-me rumiar en més d'una ocasió, perquè gràcies a aquestes reflexions, vaig decidir preparar la motxilla.

Evidentment no puc evitar parar-me i dedicar unes línies al motor del meu coneixement... la meva passió pel treball dins l'aigua neix des del principi del viatge i gràcies a un equip de treball que constantment vol millorar. Els meus companys i amics fisioterapeutes de l'àrea de salut del CEM Marítim que durant tot aquest temps m'han recolzat, animat i sobretot m'han ensenyat, encara que ells no s'ho pensin, TOT el que sé i el que vull continuar sabent del treball dins l'aigua. A més, són els responsables de que m'hagi fet una gran defensora i promotora del treball en equip.

No puc oblidar, dins d'aquest equip, a les dues persones que m'han animat i facilitat la possibilitat de poder estar escrivint aquestes darreres línies de la tesi: les dues "JEFES"... i ho poso en majúscules perquè per a mi, han estat un punt de partida important per poder llençar-me a aquesta aventura.

I, com no, a la resta de l'equip, pel seu suport moral.

A tots vosaltres us agraeixo la vostra saviesa i els vostres ànims.

Indiscutiblement, aquest treball no seria possible sense la paciència de tots els voluntaris que s'han presentat als estudis. Tots aquells nois i noies, estudiants de l'INEFC, que s'han interessat pel que feia i em feien preguntes sobre la Hidroteràpia... per mi, segurament la part més divertida de la tesi, ha estat aquesta, perquè la seva curiositat encara despertava més la meua. I, com no, a tots els pacients que cada dia confien en les meves mans i em mostren el seu afecte. La meua feina m'apassiona i és gràcies a tots ells que en puc gaudir-la.

Òbviament, a l'INEFC i al CAR, per confiar en mi i cedir-me les seves instal·lacions i material, sense ells no hagués estat possible la part experimental, i especialment al Dr. Lluís Til per creure en la meua experiència amb el treball amb l'aigua i donar-me l'oportunitat de compartir-ho amb ell. Espero, en un futur, poder seguir col·laborant amb ell.

És el moment, també, de reconèixer la paciència i dedicació dels meus dos tutors. Ells han estat els mapes del meu viatge, una guia experta que m'ha conduït fins al final del camí. El seu encoratjament en algun moment dur i crític del camí, ha estat la clau per no fer marxa enrere. Gràcies per transmetre'm la calma que en alguna ocasió necessito.

Naturalment, iniciar aquest camí, m'ha permès que d'altres em donessin l'oportunitat d'intentar treballar per difondre els beneficis de la fisioteràpia aquàtica. A tots ells, moltes gràcies per pensar en mi. I en particular, a l'Ana, la gallega que m'ha fet reflexionar altra vegada sobre la grandesa dels petits detalls.

Un record especial d'aquesta darrera fase li dedico al Juanjo i a l'Alba. A ells els hi haig d'agrair la facilitat que tenen, sense imaginar-s'ho, per ajudar-me a carregar la motxilla, que en aquesta última etapa ja pesava molt. Gràcies pel vostre recolzament.

Doncs ara sí que sembla que això s'acaba i no puc evitar pensar en tots aquells que sempre t'acompanyen en TOTS els viatges... ja que, què som tots nosaltres sense tota aquella gent que ens envolta? És el moment d'agrair a tots els amics i família (en especial a ma mare, Dani, Laures, Ari, Maria, Jordi i Marta) que constantment em dediquen el seu temps per construir-me com a persona.

I, finalment, haig d'acabar altra vegada pel principi, donant les gràcies a qui SEMPRE, SEMPRE creu en mi... a tu, Juanjo, GRÀCIES, simplement per ser tu.

<b>Dedicatòria i agraïments</b>	pàg. II
<b>Índex</b>	pàg. 1
<b>Introducció</b>	pàg. 3
<b>Objectius generals</b>	pàg. 7
<b>Part teòrica</b>	pàg. 9
<b>Capítol 1: Bases teòriques de l'aigua</b>	pàg. 9
1.1. Història de la hidroteràpia	pàg. 10
1.2. Propietats de l'aigua	pàg. 17
1.2.1. Propietats físiques	pàg. 18
1.2.2. Propietats tèrmiques	pàg. 40
1.2.3. Propietats químiques	pàg. 48
1.2.4. Propietats elèctriques	pàg. 52
<b>Capítol 2: Efectes – beneficis de l'aigua</b>	pàg. 54
2.1. Efectes – beneficis de l'aigua	pàg. 54
2.1.1. Indicacions	pàg. 59
2.1.1.1. Efectes fisiològics per l'aplicació de calor	pàg. 65
2.1.1.2. Efectes fisiològics per l'aplicació de fred	pàg. 70
2.1.1.3. Efectes fisiològics per l'aplicació de contrast	pàg. 76
2.1.1.4. Efectes fisiològics derivats de les propietats físiques i temps d'immersió	pàg. 81
2.1.2. Contraindicacions	pàg. 86
<b>Capítol 3: Tensiomiografia</b>	pàg. 90
3.1. El to muscular	pàg. 91
3.2. Avaluació del to muscular	pàg. 94
3.3. Tensiomiografia	pàg. 97

3.4. Nou aparellatge	pàg. 104
3.5. Investigacions rellevants	pàg. 106
<b>Part experimental</b>	pàg. 110
<b>Estudi 1:</b> Influència de la temperatura de l'aigua en la immersió sobre el Desplaçament muscular i Temps de contracció	pàg. 111
Abstract – Paraules clau	pàg. 112
Introducció	pàg. 112
Disseny	pàg. 114
Resultats	pàg. 118
Discussió	pàg. 118
Conclusions	pàg. 125
<b>Estudi 2:</b> La hidroteràpia com a mesura de recuperació; valoració mitjançant la Tensiomiografia	pàg. 126
Abstract – Paraules clau	pàg. 126
Introducció	pàg. 127
Disseny	pàg. 128
Resultats	pàg. 134
Discussió	pàg. 135
Conclusions	pàg. 143
<b>Conclusions generals</b>	pàg. 144
<b>Perspectives de futur</b>	pàg. 149
<b>Bibliografia</b>	pàg. 152
<b>Annexos</b>	pàg. 167



# **Introducció**

**“L’aigua que no corre fa un pantà; la ment que no treballa fa un tonto”**

**Víctor Hugo 1802 – 1885**

**(poeta francès)**

Com a llicenciada en Ciències de l'Activitat Física i l'Esport i fisioterapeuta, entenc el moviment com l'essència de l'èxit en el tractament, no en va, ja en el segle V a.C, Hipòcrates (considerat el pare de la medicina) promulgava:

*“...Totes les parts del cos que tenen una funció, si s’usen amb moderació i se les fa treballar en les tasques per a les que cadascuna d’elles està dissenyada, es fan més sanes, es desenvolupen millor i triguen més en envellir. Però si no s’ utilitzen i es deixen, es fan susceptibles d’ emmalaltir, no maduren bé i envelleixen més ràpidament...”.*

És per aquest motiu que la meva activitat professional és una cerca constant del moviment harmònic del cos humà, perquè crec que en el nostre cos es reflexa tot el nostre passat, el present i per què no, el futur i, en definitiva, el moviment és el resum d’aquesta expressió.

Precisament perquè em fascina el moviment, m’agrada entendre el comportament d’un dels grans responsables d’aquesta acció, com és el múscul. I per aquest mateix motiu, crec que és necessari tenir un coneixement sobre les propietats contràctils del múscul, fet que he pogut desenvolupar al poder treballar amb la Tensiomiografia.

El meu dia a dia professional, transcorre dins d’una piscina, on juntament amb un gran equip interdisciplinari, intentem fer ús de les propietats de l’aigua i del moviment dins d’aquesta, per tal de millorar, mantenir o prevenir la qualitat de vida dels nostres pacients. Som uns grans defensors de la fisioteràpia aquàtica (hidroteràpia + hidrocinesiteràpia), però també som molt conscients que tot just es comença a donar la importància que es mereix a aquesta disciplina.

L'objectiu de descriure el comportament del to muscular en immersió i sense moviment, és fruit de l'interès de poder fer de la readaptació - rehabilitació aquàtica una disciplina científica.

Creiem en la importància de realitzar un bon procés de rehabilitació - readaptació per retornar a l'individu al seu estat de màxim rendiment i evitar-ne les recidives. I creiem que l'aigua és un mitjà idoni per desenvolupar-lo, ja que en ell s'hi pot treballar des del primer moment. Es pot reduir les pèrdues al mínim exponent i facilitar el procés psicològic que la persona ha de realitzar en un procés rehabilitador. És evident, però, que per poder establir unes bases en aquest procés, caldrà estudiar i definir què és el que succeeix amb el múscul dins l'aigua. Descriure les característiques bàsiques en funció de paràmetres senzills, ens ofereix la possibilitat d'assentar els fonaments del comportament muscular i serveix de punt de partida per a d'altres investigacions dins del món de la rehabilitació i la readaptació aquàtica.

L'interès creixent en l'ús de la immersió pel seu efecte sobre tots aquells aspectes relacionats amb la recuperació post exercici o post fatiga està observat per diversos autors (Crampton, Donne, Egana, & Warmington, 2011; Vaile, Gill, & Blazeovich, 2007; Wilcock, Cronin, & Hing, 2006b). Les diferents raons per les quals se suggereix l'aplicació de la immersió en aigua durant la recuperació en són ben diverses: des de tractament de lesions de teixits tous (Bleakley, McDonough, & MacAuley, 2004; Cote, Prentice, Hooker, & Shields, 1988), disminució dels factors associats amb el dolor muscular i micro lesions (Bailey et al., 2007; Sellwood, Brukner, Williams, Nicol, & Hinman, 2007; Vaile, Halson, Gill, & Dawson, 2008a, 2008b), o bé per ajudar en la deposició dels metabòlits i la restauració dels sistemes fisiològics, com a mètode per retornar el cos a un estat de pre exercici en la preparació per a l'exercici següent (Barnett, 2006; Hing, White, Bouaaphone, & Lee, 2008).

El camí sembla llarg, des de la finalització de la diplomatura de fisioteràpia ara farà ja onze anys, però l'interès, curiositat i inquietud per desenvolupar aquesta disciplina ha

anat creixent a mida que més m'hi he immers (mai millor dit) en el seu desenvolupament.

Aquesta tesi inclou una fonamentació teòrica, dissenyada en tres grans capítols: un primer capítol on s'exposa una breu descripció del concepte hidroteràpia (la seva història al llarg dels anys i la seva evolució), així com les principals característiques químiques, tèrmiques i, sobretot físiques, que fan de l'aigua un mitjà idoni per al tractament i prevenció de la salut. Tot seguit, un segon capítol que tracta dels beneficis de l'aigua, i que inclou les indicacions i contraindicacions de la hidroteràpia, centrat especialment en la influència de la temperatura. Finalment, un tercer capítol que descriu l'aparell que s'ha fet servir per la valoració del comportament muscular, objectiu principal de la tesi.

En la darrera part de la tesi, es presenten els dos estudis que s'han dut a terme mitjançant la valoració amb Tensiomiografia. Un primer estudi, que descriu què succeeix en les propietats contràctils del múscul quan se'l sotmet a una immersió de 20 min, comparant l'aigua freda amb l'aigua calenta. I un segon estudi, que comprova l'efectivitat de la hidroteràpia com a mesura de recuperació post fatiga, fent servir una immersió de 15 min.

Per acabar la introducció, simplement dir-vos que espero contagiar-vos una mica de l'interès que em desperta a mi l'aigua, així com deixar-vos amb la mateixa sensació que m'he quedat jo finalitzant aquestes línies... **AMB GANES DE CONTINUAR SABENT MÉS.**

Finalment, s'adjunten com a annexos, dos estudis pilots presentats a dos Congressos:

- Lleida A., Mur E., Solé J., Díaz J. & Vallejo L. (2010). *Influencia del estiramiento estático pasivo forzado sobre el tono muscular*. Comunicació presentada al World Congress on Science in Athletics. Barcelona.
- Mur E., Lleida A., Solé J. & Moras G. (2011). *Influencia de la temperatura del agua en la inmersión sobre el desplazamiento muscular y tiempo de contracción*. Comunicació presentada al 1er Congrés de Futbol RCDE / INEFC. Barcelona.

# **Objectius**

**“L’aigua és una de les substàncies químiques més investigades, però segueix sent la menys compresa”**

**John Emsley**

**(escriptor de divulgació científica del *Imperial College* de Londres)**

**Objectius Generals:**

- Determinar el comportament muscular en funció de la temperatura de l'aigua amb la qual es realitza la immersió (estudi 1) i establir quina és la millor estratègia per recuperar la fatiga, l'aigua freda, l'aigua calenta o la recuperació passiva ( estudi 2).

**Objectius de la part teòrica:**

- Establir l'estat de la qüestió pel que fa a l'ús de l'aigua com a agent terapèutic i preventiu i de la Tensiomiografia com a mètode per mesurar l'afectació de la immersió en les propietats contràctils del múscul.

**Objectius de l'estudi 1:**

- Determinar, a través del mètode tensiomiogràfic, els efectes de la temperatura de l'aigua sobre les propietats contràctils del múscul, després d'una immersió de 20 min.

**Objectius de l'estudi 2:**

- Detectar, mitjançant la Tensiomiografia, la fatiga muscular produïda després de l'aplicació d'un protocol d'inducció a la fatiga.
- Establir si la hidroteràpia és una mesura de recuperació adequada per restablir els paràmetres afectats del vast medial del quàdriceps fatigat, a través de la Tensiomiografia.

# **Bases teòriques de l'aigua**

**“L'aigua és el principi de totes les coses”**

**Tales de Milet**

**(filòsof)**

### **1.1. Història de la hidroteràpia: de la hidroteràpia a la hidrocinesiteràpia.**

Com la resta de procediments terapèutics naturals, l'origen de la Hidroteràpia es remunta a l'antiguitat. Les aplicacions de l'aigua amb finalitats terapèutiques constitueixen un dels més vells procediments curatius (egipcis, hitites, macedonis, grecs i romans han estat grans impulsors d'aquesta tècnica).

Tenint en compte que les  $\frac{3}{4}$  parts de la superfície terrestre estan cobertes per mars i oceans (l'anomenada HIDROSFERA, on es va iniciar la vida) i la majoria del nostre cos està constituït per aigua, no és estrany que per a l'home hagi estat un element fonamental de vida, tant en la seva composició com en les seves utilitats (Perez Fernández, 2005).

Prendre aigua, submergir-se en els banys i descansar en els anomenats "SPA" (*salute per aqua*) va esdevenir un rol social i espiritual molt important a les riberes de grans civilitzacions com Mesopotàmia, Egipte, Índia i Xina. Les civilitzacions antigues creien que netejar el cos i purificar l'ànima facilitava la vida eterna (Cole & Becker, 2004). Així, doncs, podem trobar antics escrits, llibres i referències datades d'aquestes èpoques que ens parlen d'un bon mètode per guarir. L'ús de l'aigua es duia a terme amb finalitats tant higièniques – preventives, com curatives, tot i que en aquest últim cas, es relaciona sempre amb la pràctica religiosa (Perez Fernández & Novoa, 2002).

El terme hidroteràpia, deriva dels vocables grecs *hydor* (aigua) i *therapeia* (curació), així doncs la hidroteràpia s'interpreta com l'aplicació tòpica de l'aigua, amb finalitats terapèutiques. És per aquest motiu que, la civilització grega, ha deixat un gran llegat a la història de la medicina.



*Hipòcrates* (460 – 377 a. C.), considerat el pare de la medicina, i tots els seus deixebles (l'Escola Hipocràtica o del Cos), defensaven que la medicina era tot un art.

En quant a la Hidroteràpia, Hipòcrates la va considerar com a mètode terapèutic de primer ordre, remarcant la importància de posseir una llarga experiència en els processos hidroteràpics. Si no era així, i s'aplicaven inadecuadament o amb massa freqüència, tant les aplicacions d'aigua freda com calenta, podien esdevenir perjudicials per a la salut (Vinyes, 2004).

La temperatura de l'aigua, depenia de l'estat i sensibilitat de cada pacient (Perez Fernández, 2005), recomanant en cada cas, el més adequat (aigua freda, aigua calenta o aigua tèbia). Així doncs, molts dels procediments hidroteràpics bàsics que es fan servir avui en dia, ja van ser duts a terme per Hipòcrates (Vinyes, 2004).

Si per als grecs era important l'ús terapèutic de l'aigua, per als romans va suposar un element gairebé indispensable. Pràcticament la totalitat de les ciutats de l'Imperi, van ser dotades de termes públiques (Perez Fernández, 2005). Grans edificis es dedicaven a promoure les activitats hidroteràpiques entre els seus ciutadans, rics o pobres. Avui en dia, encara es conserven runes, on hom pot observar la magnificència i la importància d'aquests espais; aquest és el cas de les reconegudes *Termes de Caracalla*, situades a la ciutat de Roma (Fig.1).

Feien ús de les instal·lacions tant pel plaer de banyar-se, simplement, com per fomentar la salut entre els ciutadans d'una manera preventiva, alhora que guarien els malalts (Vinyes, 2004).



*Fig. 1: Termes de Caracalla situades a Roma. Les runes conserven els espais bàsics: Frigidarium, Caldarium, Natatio, Palestra i Templarium. Foto de l'autora*

Els romans consideraven els banys com una funció social que havia d'incloure l'exercici físic al gimnàs o *palestra* (Cole & Becker, 2004). Tant és així, que Galè (129 – 199 a. C.), un dels pares de la medicina occidental, parla de la combinació de l'aigua, la dieta i l'exercici físic com a mesura preventiva. És per aquest motiu, que les termes disposaven de diverses cambres o piscines, que incloïen aigües fredes, tèbies, calentes, zones de relaxació i gimnàs (Fig.2); d'aquí la seva grandesa.



Fig. 2: Dibuixos situats a l'entrada de les Termes de Caracalla, representant alguna de les estances: la Natatio (espai per a la recreació aquàtica i xorros) i el Frigidarium (zona d'aigües fredes). Foto de l'autora

Amb l'arribada de l'Edat Mitja i la caiguda de l'Imperi romà, el culte al cos, i com a conseqüència, totes les pràctiques de medicina natural, queden rellevades a un segon terme, fent valdre per sobre de tot, el culte a l'esperit (Vinyes, 2004). Són èpoques obscures pel desenvolupament de la hidroteràpia. No succeeix el mateix amb la cultura islàmica, que amb *Avicena* (980 – 1037 d. C.), respectable metge de l'època i gran exponent, prescriu la balneoteràpia, aconsellant l'ús d'aigua freda per a diferents aplicacions. Al mateix temps, Mahoma, es fa adepte a la hidroteràpia, entre d'altres aspectes, per la importància que se li dóna a la higiene a la cultura islàmica. D'aquí, que en l'Espanya àrab, es conservin els usos terapèutics de l'aigua, renovant les instal·lacions heretades de l'Imperi Romà (Maraver et al., 2012; Molina, 2010; Rodríguez, 2007).

Hem de realitzar un salt en la història per poder continuar parlant de la divulgació de la hidroteràpia. Són dos grans doctors, *Sigmund Hahn* (1664 - 1742) i el seu fill *Johann Hahn* (1696 - 1773), fermes defensors i impulsors de l'ús terapèutic de l'aigua (especialment freda o fresca), els que influenciaran a dues de les grans figures de la hidroteràpia, com veurem a continuació. Se'ls pot considerar, doncs, com dos metges especialistes decisius en la història de la hidroteràpia moderna. Tot i que no en van ser els únics, ja que durant els segles XVII i XVIII, hi van haver diversos metges que van dedicar els seus esforços a destacar les bones possibilitats terapèutiques que s'obtenien de l'aplicació d'aigua (Llor, 2008; Remondière, 2009; Vinyes, 2004); aquests, però, no sempre van ser presos amb seriositat per la seva societat.

És al segle XVIII, que apareixien els primers establiments de banys marins que marcaran els primers passos cap a la Talassoteràpia. Al mateix temps, a Dieppe (França), neix el primer centre de Balneoteràpia per als malalts reumàtics (Armijo & San Martín, 1994; Molina, 2010; Perez Fernández, 2005).

A principis del segle XIX, apareix en escena *Vinzenz Priessnitz* (1799 - 1851). Aquest empíric (terapeuta sense formació acadèmica), passarà a la història de la hidroteràpia com un dels seus grans reimpulsors. *Priessnitz* elabora un senzill, però efectiu sistema terapèutic basant-se en la intuïció, la observació i la experimentació, fent ressorgir la hidroteràpia (Perez Fernández, 2005). Els procediments més usats eren els rentats, totals i parcials, les compreses, les dutxes, els banys (tots ells d'aplicació freda), la beguda d'aigua fresca, una bona dieta i l'exercici físic; combinació oblidada des de *Galè*. *Priessnitz* va transmetre de paraula tots els seus coneixements, són mundialment reconegudes algunes de les seves frases. Eren molts els seus seguidors, entre els que en destacaven molts metges. Centenars d'obres i escrits sobre la seva manera de guarir, van ser publicats i traduïts fins a onze idiomes, tot i que ell no en va escriure cap línia (Vinyes, 2004).

L'altre figura de l'època que no podem oblidar és la de *Sebastian Kneipp* (1821 - 1897). Afectat de tuberculosi, segueix les indicacions exposades en un llibre de *Johann Hahn* (finals s. XVII i principis del s. XVIII). A través de l'aplicació de friccions i banys amb aigua freda, complementats amb intensos exercicis físics i la ingesta d'aigua, aconsegueix millorar la seva salut. Inicia, doncs, la posada en pràctica d'aquests coneixements i n'estudia més sobre el tema en antics llibres o informes del mateix *Priessnitz*. Considerava que la majoria de les malalties eren produïdes per substàncies patògenes en sang, o una mala circulació de la mateixa; mitjançant l'aplicació d'aigua, aconseguia reactivar la circulació i eliminar aquests patògens (Perez Fernández & Novoa, 2002; Rodríguez, 2007).

Al 1845 l'Abate Kneipp recolza la teoria de que ment i cos estan profundament integrats per formar una única entitat psicofísica, dirigida a recuperar l'equilibri alterat d'un estat de malaltia. És aleshores quan escriu un manual sobre la teràpia amb l'aigua i les seves aplicacions. Neix la hidroteràpia de Kneipp (reconeguda mundialment, encara en l'actualitat) basada en cinc punts (la hidroteràpia, la fitoteràpia, la dietètica, el moviment i un equilibrat estil de vida). Al 1880, el mateix Kneipp, és el creador del primer establiment termal alemany a Worishofen. En ell, les aplicacions d'hidroteràpia eren realitzades en banyeres d'aigua freda i calenta amb l'aigua a l'alçada del genoll i amb el fons irregular (amb pedres, arena, etc ), on hi feia caminar als pacients, però a la vegada, venien acompanyades de nombrosos consells dietètics i de fitoteràpia (Kneipp, 1893, 1913).

Veiem ara com, fins la segona meitat del s. XIX, la Hidroteràpia era una disciplina, un mètode de reconeixement popular, però sense cap base d'estudi científic. *Winternitz* (1834 - 1912), capdavanter d'un grup de metges, assenta les bases fisiològiques de la Hidroteràpia (amb més de 200 publicacions sobre les mateixes), donant els primers passos per a la consideració de la Hidroteràpia com a ciència mèdica. *Winternitz*, transforma les tècniques empíriques en ciència; d'ell és, al 1877, l'obra "*Die Hydrotherapie*" i ell és, qui introdueix la Hidroteràpia en el pla d'estudis de la Facultat de Medicina d'Àustria (Winternitz, 1886).

Fins el moment, però, la Hidroteràpia era una disciplina passiva. A causa de les dues Guerres Mundials, es desenvoluparà la fisioteràpia, i per extensió la hidrocinesiteràpia, com a mesura per tractar els ferits. Un dels països que aposta clarament per la teràpia aquàtica és EEUU, on s'implica l'administració naval, de l'armada i de veterans, transformant els hospitals militars per a la pràctica de programes de rehabilitació. Succeeix el mateix amb l'epidèmia de poliomièlitis, on, només als EEUU afecta prop de 58000 persones, i es decideix invertir en complexes aquàtics per poder desenvolupar amb garanties el tractament (Cole & Becker, 2004). Són aquestes necessitats, les que provoquen el pas de la Hidroteràpia (tècnica passiva) a la Hidrocinesiteràpia (tècnica activa).

En cal destacar les aportacions de grans figures en la disciplina d'Hidrocinesiteràpia com són Lowman, 1924 (amb l'anomenada "*Hidrogimnasia*") i Hubbard, 1928 (que idea un tanc per facilitar la teràpia dins de l'aigua) (Chillón Martínez, Rebollo Roldan, & Meroño Gallut, 2008; Remondière, 2009).

Posteriorment als anys 50, amb la reducció en la incidència de la Poliomeitis gràcies a les vacunes, les piscines comencen a ser menys importants als hospitals, i els terapeutes en perden l'interès, en detriment a les noves i sofisticades tècniques de la medicina moderna (Cole & Becker, 2004). La Hidroteràpia i la Hidrocinesiteràpia, comencen a caure altra vegada en l'oblit.

Però és gràcies al concepte *wellness* (a la dècada dels 90) , que es reintrodueix el treball a dins de l'aigua i es produeix un boom dins del món de l'activitat física. Aquesta nova filosofia, fa que es desenvolupin tota classe d'activitats aplicades a dins de l'aigua (aichi, aquapilates, watsu, aquacycling, aquaboxing...i una llarga llista d'activitats). És en aquest moment, que diferents professionals de l'activitat física i l'esport, decideixen establir l'estat de la qüestió en matèria de paràmetres biofisiològics i s'interessen per les respostes del cos humà a la immersió.

## 1.2. Propietats de l'aigua.

Ja hem pogut veure en l'apartat d'història que el terme "Hidroteràpia" es remunta a la civilització grega. Si tenim en compte la semàntica de la paraula (vocables grecs *hydor* (aigua) i *therapeia* (curació)), entendrem que la hidroteràpia s'interpreti com l'aplicació tòpica de l'aigua, en qualsevol forma, estat o temperatura, amb finalitats terapèutiques. És a dir que la hidroteràpia s'entén com el procés terapèutic que consisteix en el tractament del cos (total o parcialment) amb aigua potable a diferents temperatures i pressions.

Per tant, la hidroteràpia fa ús de l'aigua com a agent terapèutic en qualsevol forma, estat o temperatura. L'aplicació específica de diferents estímuls sobre el cos immers en aigua (físics, tèrmics, químics i elèctrics) produiran uns efectes beneficiosos per al pacient (Mur, Verdú, Cirera, Ferrer, & Nadal, 2012).

Podem dir que l'èxit del tractament resulta de l'aplicació d'estímuls químics, tèrmics, físics i elèctrics. Per aquest motiu, és imprescindible dedicar un capítol al coneixement de les principals propietats de l'aigua que actuen sobre el cos humà, ja sigui pel simple fet d'estar immers o quan aquest es posa en moviment.

Quan parlem de propietats de l'aigua, les classifiquem en quatre grans grups:

- Físiques: efectes mecànics que produeix l'aigua (hidrostàtics i hidrodinàmics)
- Tèrmiques: temperatura de l'aigua
- Químiques: composició de l'aigua
- Elèctriques: composició elèctrica de la molècula d'aigua

Per poder comprendre quines són les propietats de l'aigua, cal conèixer quina és l'estructura de l'aigua, de la qual se'n derivaran aquestes característiques que la fan tan única.

Qualsevol cosa que ocupa un espai es coneix com a matèria. La matèria està composta de molècules que alhora estan formades d'àtoms. Tota matèria existeix en tres formes: sòlid, líquid o gasós. Per tant, l'aigua és una substància que pot existir en qualsevol dels tres estats (gel, aigua o vapor).

Per sota dels 0°C (32°F) l'aigua és sòlida, entre 0°C i 100°C (212°F) és líquida, i per sobre dels 100°C, gasosa (Duffield, 1985).

Vegem quina és la composició de la molècula d'aigua, ja que tant les propietats físiques, químiques com tèrmiques, deriven d'aquesta estructura.

La molècula d'aigua està constituïda per dos àtoms d'hidrogen i un d'oxigen, units per un enllaç covalent que li dóna estabilitat (Llor, 2008) i forma una xarxa cristal·lina que és el que li confereix gran part de les seves propietats (L. Rodriguez, 2002).

El total d'electrons que componen els àtoms de la molècula és 10, distribuïts de la següent manera:

- 2 situats a prop del nucli
- 2 parells se situen lluny del nucli
- 2 parells no són compartits, pel que estableixen enllaços d'hidrogen amb d'altres molècules.

Estudiem, ara, quines són aquestes propietats.

### **1.2.1. Propietats físiques:**

Quan parlem de les propietats físiques, hem de diferenciar entre les característiques físiques que conformen l'estructura de l'aigua, les propietats físiques que afecten al cos humà pel simple fet d'estar immers en aquesta substància (és el que anomenem



hidrostàtica) i les característiques físiques que afecten al cos immers un cop aquest es posa en moviment (el que definim com hidrodinàmica). Expliquem cadascuna d'elles.

→ *Característiques físiques:*

### Densitat:

La densitat d'una substància és la relació entre la massa i el seu volum (Cole & Becker, 2004; Duffield, 1985).

$$\text{Densitat} = \frac{\text{Massa}}{\text{Volum}}$$

En el sistema internacional es mesura amb kilograms per metre cúbic i, ocasionalment, per grams per centímetre cúbic (Cole & Becker, 2004).

La densitat és una variable depenent de la temperatura, el que fa que sigui molt menor en sòlids, que en líquids que en gasos. L'aigua té una densitat màxima a 4°C (39,2°F) (G. Rodriguez & Iglesias, 2002). S'expandeix a temperatures més altes i més baixes, i per tant, el gel és menys dens que l'aigua i flota (Fig.3) (Duffield, 1985).

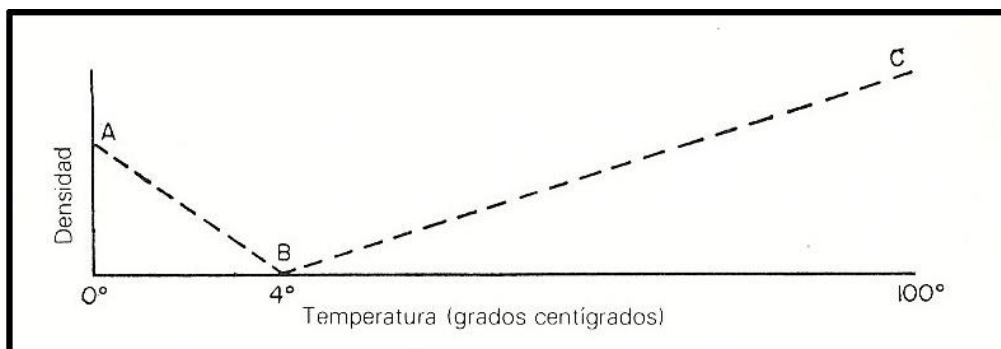


Fig. 3: Canvi de la densitat de l'aigua amb la variació de la temperatura. La línia de punts mostra l'expansió de l'aigua. Duffield MH, 1985.

Un exemple interessant és el de l'aigua de mar; les substàncies dissoltes que conté fan augmentar la seva densitat de l'aigua (la densitat de l'aigua del mar és de  $1024 \text{ kg/m}^3$ , mentre que la de l'aigua dolça és de  $1000 \text{ kg/m}^3$ ). Aquesta característica s'utilitza en la pauta dels diferents exercicis d'hidrocinesiteràpia.

Uns altres exemples interessants són la densitat del gel ( $920 \text{ kg/m}^3$ ), la del ferro ( $7,700 \text{ kg/m}^3$ ), i la de la fusta ( $750 \text{ kg/m}^3$ ). De tal manera que una massa de fusta que pesi una tona flotarà, però un clau de ferro que tan sols pesi uns grams s'enfonsarà (Duffield, 1985).

Pel que fa a la densitat mitja del cos humà, és de  $950 \text{ kg/m}^3$ . Aquest concepte serà important per entendre més endavant, com actuen les propietats físiques estàtiques sobre el cos immers a l'aigua.

### **Densitat relativa:**

La densitat relativa o pes específic d'una substància és la relació que existeix entre la massa d'un volum concret de substància amb la massa del mateix volum d'aigua. La densitat relativa de l'aigua és 1; un cos amb un pes específic inferior a 1 flotarà, i un altre amb pes específic superior a 1 s'enfonsarà a l'aigua (Duffield, 1985).

Aquest concepte ens servirà per entendre com es comporta el cos quan es troba immers a l'aigua, especialment quan parlem de la idea de flotació.

### **Pes específic:**

Arquímedes el va definir com la relació entre la densitat d'una substància i la densitat de l'aigua. Podríem dir que es tracta d'una forma còmoda de relacionar dos cossos físics; en el cas que ens ocupa, el cos humà i l'aigua (Koury, 2000).

El pes específic mig del cos humà és molt semblant al de l'aigua, fluctuant molt poc per sobre o per sota de 1.0 (Koury, 2000). El pes del cos humà submergit a l'aigua és d'uns pocs Kg, perquè el pes específic del cos humà no és molt diferent al de l'aigua (Astrand, Rodahl, Dahl, & Stromme, 2003).

### **Cohesió i adhesió:**

La cohesió és la força d'atracció entre les molècules veïnes del mateix tipus de matèria. Parlem d'adhesió fent referència a la força d'atracció entre molècules veïnes de diferents tipus de matèria (Duffield, 1985).

### **Tensió superficial:**

Es tracta de la força que es genera entre les molècules de la superfície d'un fluid. La força és deguda, probablement a la cohesió entre les molècules i es manifesta com una pell elàstica en la superfície del fluid (Duffield, 1985).

La tensió superficial actua com una resistència al moviment quan una extremitat es troba submergida parcialment; per tant, costarà més realitzar un moviment a la superfície, que amb tota l'extremitat immersa a l'aigua, ja que s'haurà de trencar aquesta tensió superficial (Duffield, 1985; Kemoun, Watelain, & Carette, 2006).

### **Viscositat:**

Aquestes són les forces de fricció entre les molècules d'un fluid o explicat d'una altra manera, el lliscament intern produït entre dos estrats d'un fluid en moviment. Aquesta fricció genera una resistència, com una oposició al flux del fluid. Es tracta de la resistència interna a fluir d'un líquid (Chevutschi, Dengremont, Lensele, & Thevenon, 2007).

L'aigua té una viscositat baixa (a 20°C, l'aigua presenta una viscositat de: 1.0020 cP, mesura en el sistema cegesimal d'unitats, que en aquest cas és el més utilitzat i on 1cP equival a 1mPa·s) (G. Rodriguez & Iglesias, 2002). La viscositat és depenent de la temperatura del fluid, si aquesta s'eleva, disminueix. En canvi, augmenta amb la salinitat, és a dir, amb l'aigua de mar (Kemoun et al., 2006). Això farà que els moviments realitzats dins d'un vas d'aigua salada (el que es coneix com Talassoteràpia) siguin més costosos que en un vas d'aigua dolça; ja que com més viscos és un fluid, major és la seva resistència al moviment dins seu (Armijo & San Martin, 1994).

Per acabar i tenint en compte totes aquestes característiques, cal recordar que en l'estat líquid, que és el que ens interessa per al nostre estudi, les molècules d'aigua no es troben estàtiques, sinó que es freguen les unes respecte les altres, quedant subjectes a la Llei de Pascal (Perez Fernández, 2005):

*"La pressió exercida per un fluid incompressible i en equilibri dins d'un recipient de parets rígides, es transmet sense variació en totes les direccions i a tots els punts del fluid".*

Blaise Pascal (1623–1662)

→ *Propietats físiques estàtiques (hidrostàtica):*

### **Pressió hidrostàtica:**

La pressió és definida com la força per unitat d'àrea, on la força, s'entén com una acció perpendicular sobre la superfície d'àrea (Cole & Becker, 2004).

La pressió d'un líquid sobre un cos submergit és igual al pes de la columna de líquid situat per sobre del cos. La pressió hidrostàtica exercida per l'aigua és perpendicular a la superfície de la pell del cos submergit i té lloc per igual en totes les direccions del pla horitzontal (Kemoun et al., 2006).

No depèn de la forma del recipient ni de la quantitat de líquid (G. Rodriguez & Iglesias, 2002), però sí que és directament proporcional a la densitat del fluid (Cole & Becker, 2004; Duffield, 1985; Kemoun et al., 2006; Perez Fernández, 2005) i augmenta amb la profunditat a raó de 1 bar cada 10 m, aproximadament (Esnault, 1991).

La pressió hidrostàtica es la responsable de la sensació de subjecció que hom té quan es troba submergit a l'aigua; així com de l'augment del retorn venós, degut a que en els peus, la pressió exerceix una major força que l'afavoreix.

En hidrocinesiteràpia, es fa ús de la pressió hidrostàtica per treballar l'esquema corporal i la respiració; no en va, durant l'immersió completa, el perímetre toràcic disminueix d'0.010 m a 0.035 m i l'abdominal de 0.025 m a 0.065 m (Vinyes, 2004).

### **Principi d'Arquímedes:**

*"Un cos insoluble total o parcialment submergit en un fluid (líquid o gas) en repòs rep una força de baix cap a dalt igual al pes del volum del fluid que desallotja".*

Arquímedes de Siracusa (287 - 212 aC.)

La seva fórmula és (Grossiord & Held, 1981):

$$F = \rho * V$$

On es pot interpretar:

- F: força d'empenta (N)
- P: densitat del fluid ( $1 \text{ Kg/m}^3$  per a l'aigua dolça;  $1.021 \text{ Kg/m}^3$  per a l'aigua de mar)
- V: volum del líquid desallotjat (l)

Per tant, un cos submergit es troba influenciat per dos tipus de força: el seu pes o força de gravetat, que actua en sentit descendent, i la seva força d'empenta que actua en sentit ascendent (Collot & Griveaux, 2007) (Fig.4).

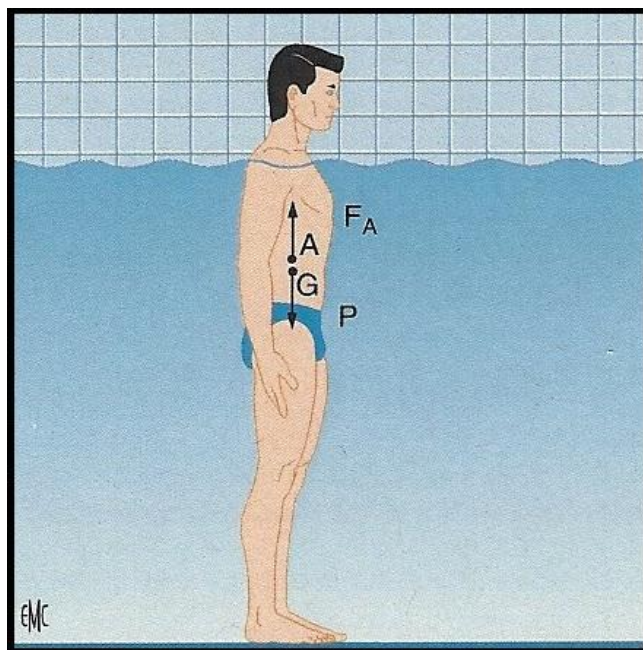


Fig. 4: Forces a les que es troba sotmès un cos en immersió. On:  $F_A$  és la força d'empenta; P la força de gravetat o pes; A en centre de flotació; G el centre de gravetat (Imatge extreta de Kemoun, 2006).

Un experiment molt pràctic per comprendre com actua el Principi d'Arquímedes, es pot realitzar de forma domèstica. Es tracta d'omplir una banyera d'aigua fins a vessar (prèviament cal conèixer la capacitat exacte de la banyera). Un individu es pesa i posteriorment s'introdueix dins de la banyera fins quedar totalment immers. Pel Principi d'Arquímedes, el líquid vessarà, ja que el cos de l'individu el desplaçarà. Si recollim el líquid que vessa en un recipient i el pesem, podrem observar com és igual al pes del l'individu que ha realitzat l'immersió a la banyera.

Com veurem tot seguit, aquest Principi dóna sentit a la relació existent entre la força d'empenta, el pes aparent, la densitat i el concepte de flotació.

### **Flotació o força d'empenta:**

Es tracta de la força experimentada en sentit ascendent i que actua en direcció oposada a la gravetat. Per tant, un cos es veu sotmès a dues forces oposades a l'aigua, la gravetat que actua a través del centre de gravetat i la flotació que actua a través del centre de flotació (que és el centre de gravetat del líquid desplaçat) (Duffield, 1985).

Aquesta força ascendent que produeix l'aigua, té una quantia equivalent al pes del volum de líquid que ocupa o desplaça la part del cos submergida. En conseqüència, com major sigui la part del cos submergida, major serà l'empenta cap a dalt que rebí (Koury, 2000).

Però cal tenir cura amb el terme "flotació". Cal no confondre el mot *flotació* (que en anglès es tradueix com *buoyancy* i es tracta de la força d'empenta) amb el verb *flotar* (que en anglès es tradueix com *to float* i es tracta de l'equilibri estàtic entre el centre de gravetat i el centre de flotació).

Tenint en compte aquestes diferències semàntiques, per poder parlar de flotar, el cos s'ha de mantenir en equilibri estable i, per a que això es produeixi calen dues premisses (Duffield, 1985):

- que el pes del cos surant iguali al del líquid desplaçat
- que els dos centres (el de flotació i el de gravetat) es trobin en la mateixa línia vertical (Fig.5)

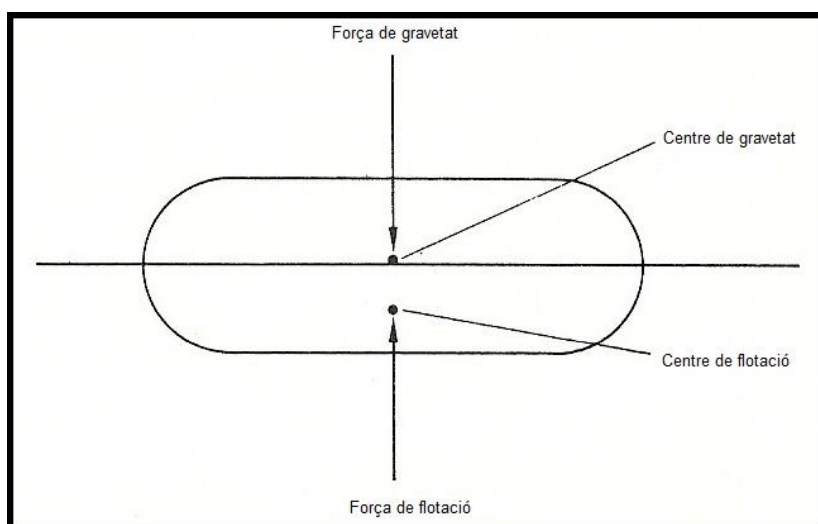


Fig. 5: Cos flotant en equilibri estable on el centre de gravetat i el centre de flotació es troben en la mateixa línia vertical i per tant la força de gravetat i la de flotació actuen en la mateixa direcció però sentits oposats. Imatge extreta de Duffield, 1985.

En el cas que els dos centres no es trobin en la mateixa línia vertical, les dues forces que actuen sobre el cos faran que giri fins que trobi la posició d'equilibri estable (Duffield, 1985) (Fig.6).



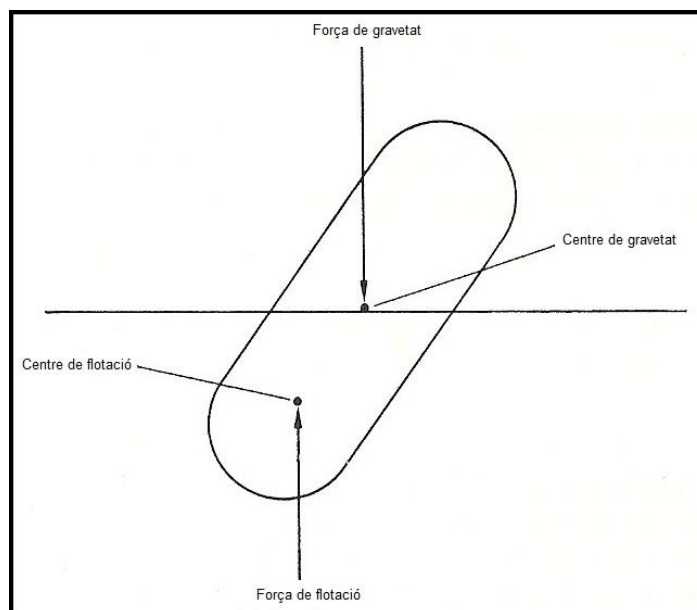


Fig. 6: Interacció de la gravetat i la flotació on el centre de gravetat i el centre de flotació no es troben en la mateixa línia vertical, i per tant, el cos gira cercant aquest equilibri. Imatge extreta de Duffield, 1985.

Si relacionem ara, per una banda, com actua la flotació i la seva relació amb el Principi d'Arquimedes i, per altra banda, el concepte de densitat i densitat relativa definits anteriorment, podem entendre com es comporta un cos submergit en relació a la seva flotabilitat.

Tenint en compte que la densitat de l'aigua és igual a  $1 \text{ Kg/m}^3$ , si la densitat relativa del cos submergit és (Armijo & San Martin, 1994; Bagot, 1971):

- Densitat relativa del cos  $< \text{H}_2\text{O}$   $\rightarrow$  sura (el pes de l'objecte és menor que el de l'aigua desplaçada)
- Densitat relativa del cos  $= 1 \text{ Kg/m}^3$   $\rightarrow$  parcialment submergit (justament per sota de la superfície de l'aigua)
- Densitat relativa del cos  $> \text{H}_2\text{O}$   $\rightarrow$  s'enfonsa

Aquestes apreciacions són fàcils d'entendre i veure com es produeixen quan el fluid i el cos que es troba submergit són homogenis, ja que el centre de gravetat coincideix amb el centre de flotació, mantenint l'equilibri. Però aquest fenomen no es produeix en el cos humà, ja que no es homogeni i, per tant, haurà de modificar la seva estàtica per trobar aquesta coincidència (Belton, Peltier, & Santisteban, 2007).

Si ara pensem en que la densitat relativa del cos humà, amb l'aire als pulmons, és de  $0.95 \text{ Kg/m}^3$  (Duffield, 1985) i tenim en compte la relació de densitats relatives, entendrem que el cos humà flotarà. Quan el cos està flotant, la relació entre les parts submergides i les que no ho estan és de  $0.95:0.05 \text{ Kg/m}^3$ , respectivament (Fig.7).

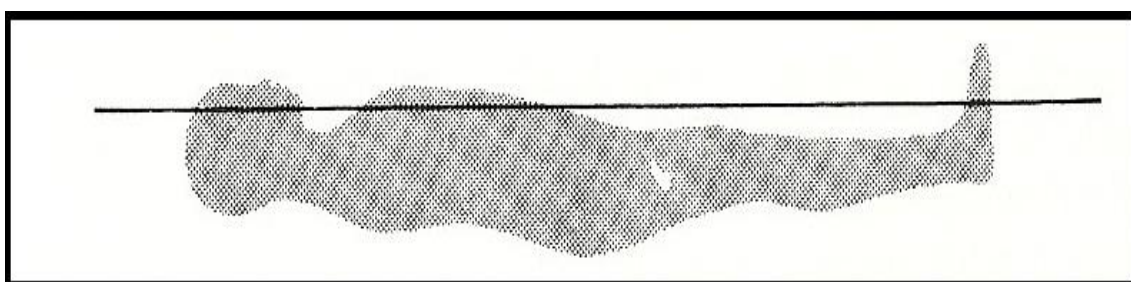


Fig. 7: Cos flotant en repòs on es respecta la proporció  $0.95:0.05 \text{ Kg/m}^3$ . Imatge extreta de Duffield, 1985.

En el cas que la part del cos no submergida superi els  $0,05 \text{ Kg/m}^3$  (fet que succeeix quan la persona té el cap i els braços fixos per sobre del nivell de l'aigua) la quantitat d'aigua desplaçada per la resta del cos serà insuficient per suportar el pes del cos, el que farà que la pelvis i les cames tendixin a enfonsar-se (Duffield, 1985) (Fig.8).

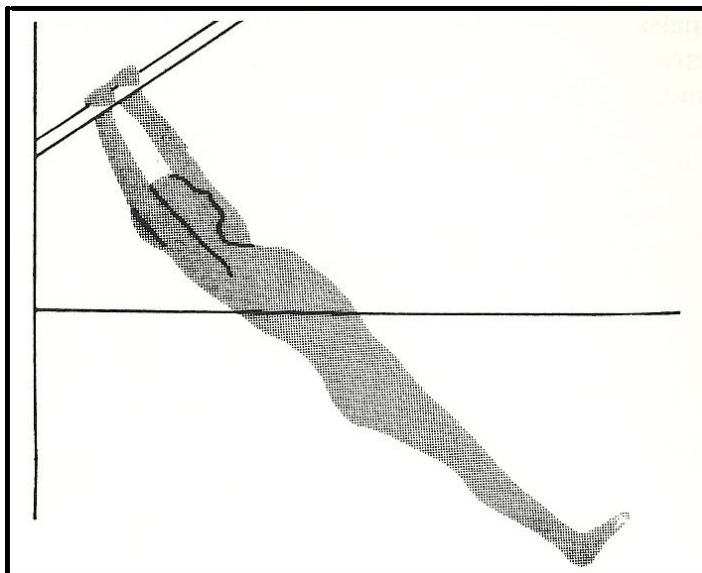


Fig. 8: Cos que s'enfonsa de cames i pelvis degut a l'insuficient desplaçament de l'aigua per suportar el pes del cos. Imatge extreta de Duffield, 1985.

Per contra, si es col·loca un suport com, per exemple, un flotador al voltant de la pelvis, la part inferior del cos no s'enfonsarà, ja que augmentarà la força d'empenta i la densitat relativa del cos (Duffield, 1985) (Fig.9).

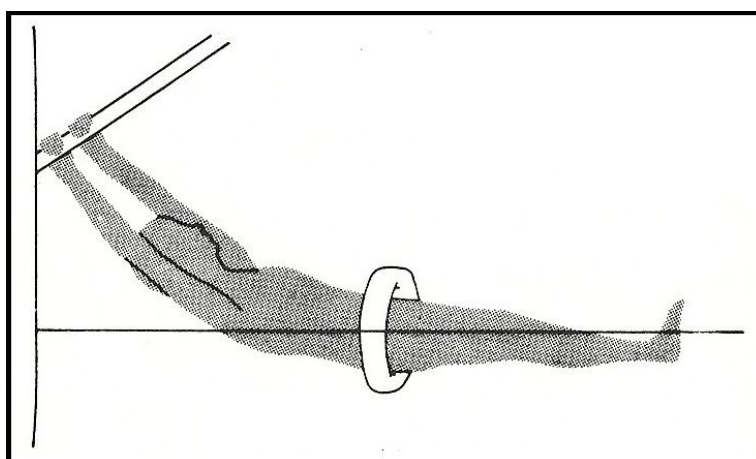


Fig. 9: Cos flotant per l'ajut d'un flotador pèlvic. Imatge extreta de Duffield,

Ja hem comentat que quan un cos flota (o sura) és degut a que ha desplaçat la quantitat de líquid suficient per contrarestar el seu pes, i com hem vist fins el moment, la magnitud d'aquesta força, depèn de la quantitat i de la densitat del líquid desallotjat (Koury, 2000). Però en l'individu, a més a més, ve donada per la composició del seu cos (quantitat de teixit de greix / quantitat de teixit magre) i per la distribució d'ambdues masses de teixit (greix i magre).

Si tenim en compte que el pes del greix és lleugerament menor a 1.0 Kg (Koury, 2000), una persona amb una composició del seu cos predominantment de teixit greixós, és a dir, de densitat corporal baixa, experimentarà una força de flotació o empenta major que una persona amb una densitat corporal més alta (composició predominantment de teixit muscular).

El tipus de composició corporal dóna lloc a la relació de l'individu i la seva capacitat de flotar (Chevutschi, Dengremont, Linsel, & Thevenon, 2007) (Fig.10).

Per tant, una persona amb densitat corporal baixa li serà més fàcil moure's cap endavant en aigua profunda (a nivell barbata), o mantenir-se en una posició prona o supina a la piscina. Pel contrari, una persona amb densitat corporal alta, haurà de realitzar un esforç major per mantenir-se flotant, el que dificulta el desplaçament cap endavant en aigua profunda (tot i que, en aquest cas, solen tenir una massa muscular major, que pot compensar la seva menor flotabilitat i els ajuda a avançar) (Collot & Griveaux, 2007).

Fins el moment, hem parlat del que li succeeix al cos en conjunt, però la força de flotació o d'empenta s'exerceix no només sobre el cos en conjunt, sinó també sobre un segment del cos en desplaçament.

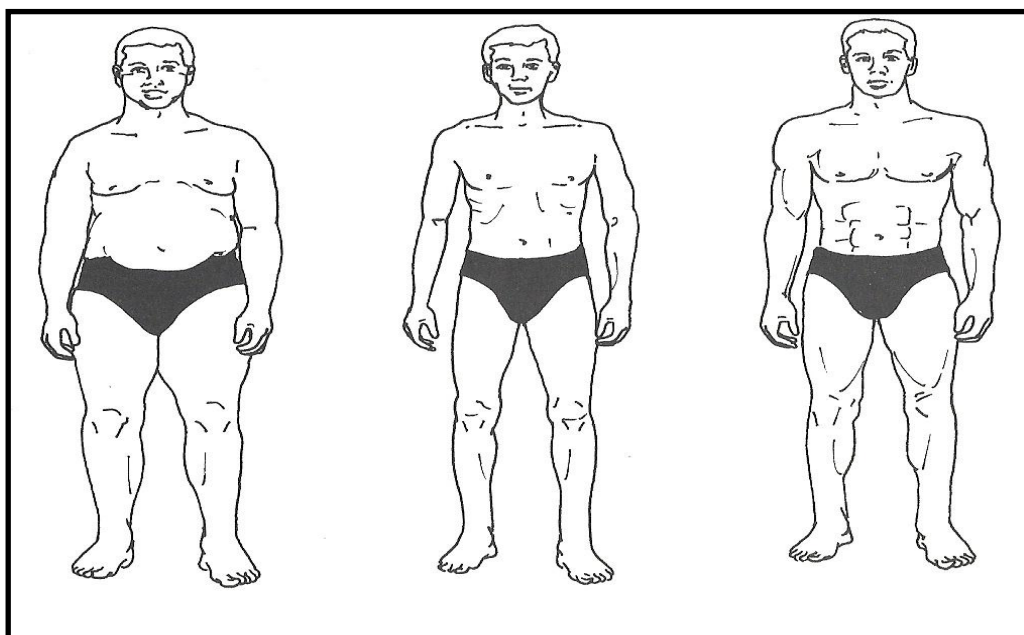


Fig. 10: Imatge extreta de Koury MJ, 2000, on s'aprecia:

**Endomorf:** rodó i tou; sovint canells i turmells fins; caràcters facials poc acusats. Major percentatge de teixit greixós, pel que tendeix a flotar més fàcilment en posició horitzontal.

**Ectomorf:** cames i braços relativament llargs, dits fins, estructura òssia delicada. Alguns subjectes, a excepció del tipus atlètic, tenen tendència a flotar horitzontalment.

**Mesomorf:** ossos grans, bon desenvolupament muscular, mans grans, pit musculós. Per la seva estructura musculosa i sòlida, acostuma a tenir dificultats per la flotació en posició horitzontal.

D'aquesta manera, podem entendre que el moviment d'un segment induït per una força (resultant) i mitjançant un punt fix, es tradueix amb el desplaçament del braç de palanca al voltant d'aquest punt (Kemoun et al., 2006).

Posem un exemple pràctic, si tenim un subjecte que es troba immers a nivell esternal, el braç de palanca augmenta a mesura que el segment s'aproxima a l'horitzontal, és a dir, a la superfície de l'aigua. Així, el moment de la força que representa la flotació o força d'empenta, augmenta. Per tant, en aquest cas, el moviment d'abducció de l'espatlla es troba facilitat, ja que en posició vertical, el moment és nul (Fig.11).

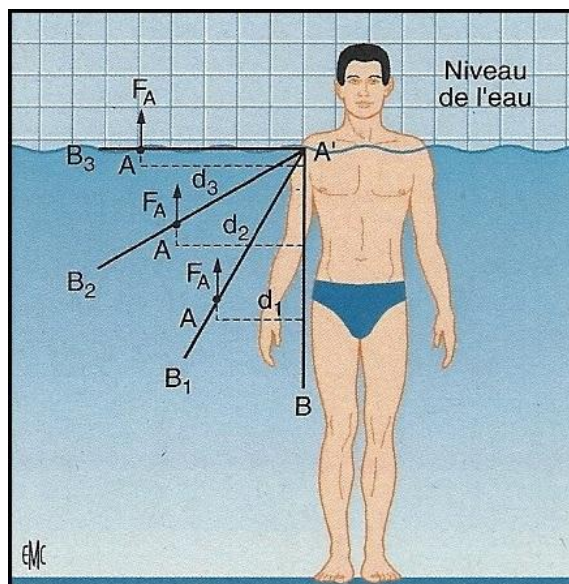


Fig. 11: Incidència de la posició d'un segment sobre el moment de la força de flotació o d'empenta. On: A'B = segment immers;  $F_A$  = força de flotació o empenta; A = centre de flotació;  $d$  = braç de palanca. Imatge extreta de Kemoun, 2006

Cal pensar, però, que aquest moment es pot modificar variant el braç de palanca, per exemple flexionant el colze, o bé, afegint un flotador que farà que la força de flotació o d'empenta augmenti en proporció al volum d'aigua desplaçat. Variant aquests factors, afavorirem la força de flotació, que en aquest exemple, beneficiarà al moviment d'abducció (G. Rodriguez & Iglesias, 2002).

En hidrocinesiteràpia, s'utilitza la força d'empenta o flotació per poder afavorir un moviment que es troba restringit, o bé resistir-lo.

**Pes aparent:**

L'acció més evident de la immersió és l'aparent disminució en el pes corporal (Grossiord & Held, 1981). Existeix una diferència entre el pes del cos submergit i la força d'empenta o flotació que rep de l'aigua (G. Rodriguez & Iglesias, 2002). Aquesta diferència és el que es coneix com Pes aparent i s'expressa amb la diferència algebraica (Kemoun et al., 2006):

$$Pa = P - F_A$$

On:

Pa = pes aparent

P = pes real

F<sub>A</sub> = força de flotació o empenta

Per tant, podem dir que el pes aparent depèn directament del nivell d'immersió.

Segons Lecrenier, el pes aparent d'un subjecte en bipedestació varia en les següents proporcions (Perez Fernández, 2005):

- 7,5% fins al coll
- 20% fins a les aixelles
- 33% fins al pit
- 50% fins melic
- 66% fins trocànter
- 90% fins genolls

Tot i així, existeix una considerable variació individual de pes aparent en un mateix nivell d'immersió, d'acord amb els canvis de morfologia, la fase respiratòria, i de vegades fins i tot la patologia de cada pacient (Kemoun et al., 2006). Igualment, la densitat de l'aigua, fa variar aquesta relació entre el pes real i la força de flotació o empenta, pels motius que hem explicat anteriorment (Fig.12).

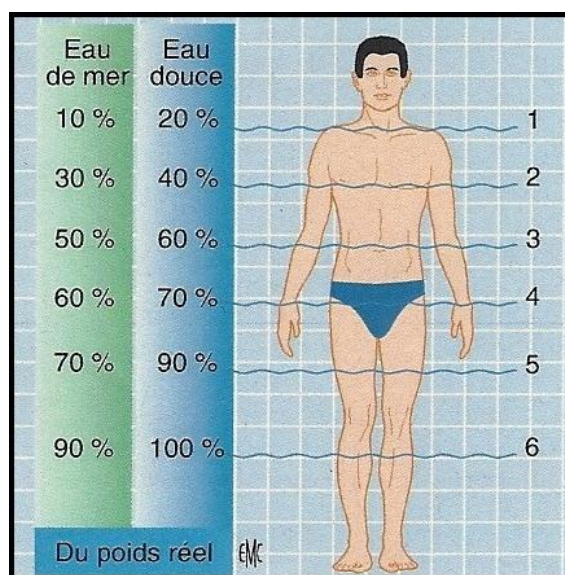


Fig. 12: Variacions del pes aparent en funció del nivell d'immersió i de la densitat de l'aigua. On: 1. Estial; 2. Xifoïdal; 3. Umbilical; 4. Pubiana; 5. Femoral; 6. Tibial. Imatge extreta de Kemoun, 2006

### **Relació centre de gravetat i centre de flotació:**

El centre de gravetat (també anomenat centre de massa) és el punt al voltant del qual es distribueix la massa corporal simètricament i tots els moments de força es troben en equilibri (Cole & Becker, 2004; Koury, 2000).



Si tenim en compte que el centre de gravetat és la suma de tots els centres de gravetat de totes les parts del cos, en el cos humà situat en posició anatòmica, es troba localitzat a nivell de la segona vèrtebra sacre, ja que el cos humà no és uniforme respecte a la densitat (G. Rodriguez & Iglesias, 2002).

El centre de flotació es defineix com el centre de tots els moments de flotació, punt al voltant del qual, es distribueix la flotabilitat del cos de forma similar (Cole & Becker, 2004; Koury, 2000). En el cos humà, es troba desplaçat cap al tòrax, degut al seu alt contingut en gasos (AmericanRedCross, 1992).

Les relacions existents entre el centre de gravetat i el de flotació s'entenen clarament si s'intenta flotar en absència de moviment. En aquest cas, el cos adopta una posició de flotació que permet ubicar el centre de gravetat per sota del centre de flotació. La posició de flotació resultant (horitzontal, diagonal o vertical) dependrà de la ubicació del centre de gravetat en relació al centre de flotació (Pazos & Gonzalez, 2002). Indirectament, aquesta posició manté una relació amb el pes específic de la persona (AmericanRedCross, 1992).

Així doncs, quan els dos centres es troben alineats en un pla vertical, només els vectors verticals actuen, el que provoca una força de compressió o distracció en el cos. Mentre que quan aquests punts no es troben alineats verticalment, apareix una resultant rotacional (Cole & Becker, 2004) (Fig.13).

En hidrocinesiteràpia s'utilitza aquesta relació per tal de cercar i facilitar el moviment fluid del pacient en diferents posicions.

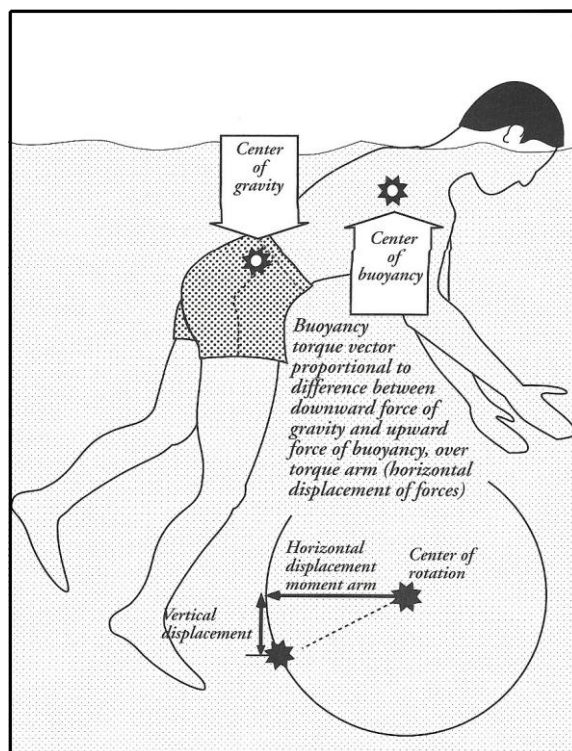


Fig. 13: Força pel desplaçament horitzontal dels centres i la magnitud del vector diferència entre la força ascendent sobre el centre de flotació i la força descendent sobre el centre de gravetat. Imatge extreta de Cole AJ, 2004.

→ Propietats físiques dinàmiques (hidrodinàmica):

**Resistència hidrodinàmica:**

L'aigua s'oposa a una resistència al desplaçament del cos submergit. La resistència de l'aigua és 900 vegades més gran que l'oferta per l'aire. Aquesta resistència s'expressa per la fórmula (Kemoun et al., 2006; Perez Fernández, 2005):

$$R = K * S_{\sin} \alpha (v - v')^2$$

On:

R = resistència d'aigua (N)

K = coeficient d'aigua

S = superfície del cos en moviment ( $m^2$ )

$\alpha$  = angle d'atac o d'incidència ( $^\circ$ )

v = velocitat de desplaçament ( $m / s^{-1}$ )

v' = velocitat del líquid ( $m / s^{-1}$ )

Per tant, de la fórmula se'n deriva que la resistència hidrodinàmica està influenciada per una sèrie de variables: unes que depenen del fluid i les altres del cos immers.

- Del fluid:

K: factors intrínsecs al fluid; es tracta de la naturalesa del mitjà i és fix per un mateix medi a temperatura constant. Depèn de (G. Rodriguez & Iglesias, 2002):

- Forces de cohesió: a més força de cohesió, més resistència a vèncer.
- Tensió superficial: com la tensió superficial disminueix a mida que s'eleva la temperatura, a major temperatura, menor resistència a vèncer.
- Viscositat: a major viscositat, major resistència al moviment dins del fluid.
- Densitat: com la densitat es relaciona amb la temperatura, a major temperatura, menor densitat i, per tant, menor resistència.

- Del cos submergit (Kemoun et al., 2006; Perez Fernández, 2005):

- Superfície del cos: a major superfície, major resistència al moviment.
- Angle d'incidència (format pel cos i la horitzontal del líquid): trobarem la major resistència quan la superfície corporal es trobi perpendicular al pla de lliscament del fluid. A mida que disminueix l'angle, disminueix la resistència (Fig.14).

- Velocitat de desplaçament: es tracta de la diferència entre la velocitat de l'aigua ( $v'$ ) i la velocitat del cos ( $v$ ) quan es desplaça. Si l'aigua es troba quieta, la resistència al moviment és proporcional al quadrat de la velocitat. Quan afegim algun tipus de moviment a l'aigua (ja sigui per turbulències, xorros, canvis de direccions...) aquesta proporció canvia.

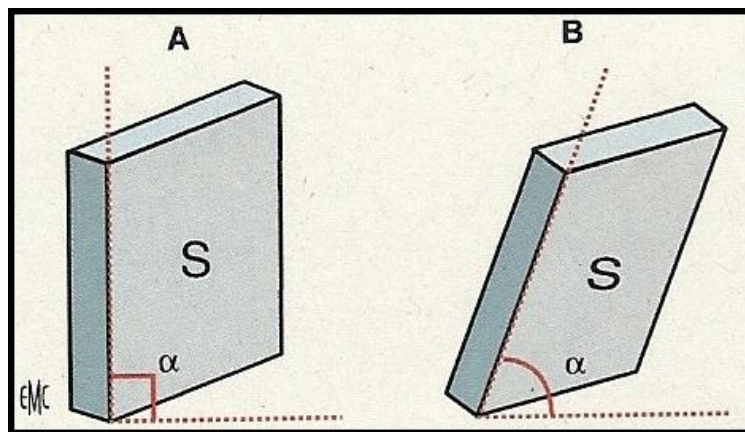


Fig. 14: Si  $\alpha = 90^\circ$ , el  $\sin \alpha = 1$ , per tant la resistència a l'avançament és maximal. Si el pla d'atac està inclinat, el valor del  $\sin \alpha$  disminueix i per tant, també la resistència. Imatge extreta de Kemoun, 2006

Amb tot això, podem observar que la resistència pot ser deguda a diferents factors:

- Resistència deguda a la forma:

Provocada per la forma del contorn i volum del cos que es troba en moviment dins l'aigua (Koury, 2000).

Al desplaçar-se, la superfície del cos en contacte amb l'aigua crea el que s'anomenen turbulències. Aquestes es produeixen quan les molècules que han de fluir al voltant del cos, han de canviar el seu rumb, ja que aquest cos els hi suposa una obstrucció; aquest canvi d'orientació, és el que dóna lloc a la turbulència (Maglischo, 1982).

El flux turbulent genera per davant una àrea d'alta pressió que s'oposa l'avanç del cos immers, i una àrea de baixa pressió per darrera, que tendeix a arrossegar-lo cap enrere. Aquest fenomen es coneix com a gradient de pressió i és el que dificulta el canvi de sentit en el desplaçament (Koury, 2000; Maglischo, 1982; Perez Fernández, 2005).

En rehabilitació aquàtica, es fa ús d'aquest fenomen per afavorir, l'avanç o per resistir encara més el moviment.

- Resistència degut a la turbulència:

Aquesta resistència és directament proporcional a la velocitat a la qual el cos es desplaça (AmericanRedCross, 1992), i augmenta en funció algebraica a l'augment de la velocitat (Maglischo, 1982).

La resistència provocada per les turbulències es redueix quan el cos es desplaça per sota de la superfície de l'aigua, a la inversa del que succeeix quan ho fa per la superfície (Koury, 2000).

Aquestes turbulències poden crear-se a través de xorros, com els dels Spa. Són el que s'anomenen factors hidrocínètics i es tracta de factors mecànics que es poden afegir a l'aigua per tal de facilitar o impedir el moviment dins l'aigua (Pazos & Gonzalez, 2002).

Podem diferenciar entre:

- Percussió produïda sobre un cos per la projecció de l'aigua sobre ell a diferents pressions, a través de l'emissió de l'aigua per xorros de diferents seccions.
- Agitació de l'aigua mitjançant injecció d'aire. Aquesta es pot graduar en velocitat i dirigir-la a diferents direccions, a favor o en contra del desplaçament del cos.

- Resistència degut a la fricció:

La resistència creada per la fricció de la superfície del cos amb l'aigua depèn de la textura de dita superfície al moure's a l'aigua (AmericanRedCross, 1992).

Aquest fenomen es relaciona amb la viscositat. Com ja hem comentat abans, a menor viscositat, major facilitat per realitzar un moviment dins del fluid (Chevutski, Dengremont, Lensele, & Thevenon, 2007).

### **1.2.2. Propietats tèrmiques:**

L'aigua és un mitjà excel·lent per aportar o restar calor a l'organisme degut una sèrie de propietats com ara el calor específic i la conductivitat tèrmica (Perez Fernández, 2005; Vinyes, 2004). Però, per entendre bé a què ens referim quan parlem de les propietats tèrmiques de l'aigua, abans de res cal diferenciar entre:

- Calor: energia derivada del moviment intermolecular
- Temperatura: velocitat d'aquest moviment

Per tant la temperatura és una mesura d'intensitat de calor i no de quantitat (Maraver et al., 2012).

La calor, doncs, és una forma d'energia i quan altres formes d'energia es converteixen en calor, existeix una relació constant entre la calor produïda i la pèrdua d'energia (Duffield, 1985). Les característiques tèrmiques de l'aigua, fan d'ella una bona conductora d'aquesta energia, i això és possible gràcies a (Chevutski, Dengremont, Lensele, & Thevenon, 2007):

### **Calor específic:**

Quantitat de calor necessària per elevar 1°C la temperatura d'1g de massa d'un cos. És a dir, la capacitat d'emmagatzemar energia calorífica. Depèn de la massa i de la substància del cos.

### **Conductivitat tèrmica:**

Es tracta de la velocitat de transferència del calor. Aquesta es defineix com la quantitat de calor (mesurada en calories) que passa en un segon a través d'una làmina d'una substància, amb àrea i espessor del valor de la unitat amb gradient de temperatura d'1°C entre ambdues cares.

*Caloria:* quantitat de calor que es necessita per elevar la temperatura d'1g d'aigua 1°C. La unitat de mesura és el joule (Duffield, 1985).

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$$

### **Calor latent:**

Quantitat de calor, en joules, que es necessita per canviar l'estat d'1g de substància sense elevar la seva temperatura. És a dir, de sòlid a líquid i de líquid a gas (Duffield, 1985).

### **Llei de Newton del refredament:**

La velocitat de refredament d'un cos en un temps donat és proporcional a la diferència de temperatura que existeix entre el cos i l'ambient que l'envolta. Com més gran sigui la diferència de temperatura, major serà la velocitat de refredament (Duffield, 1985).

Com ja hem dit, l'aigua és una bona conductora de la temperatura, més que l'aire. És per aquest motiu que la temperatura màxima tolerable per la nostra pell és de 100°C quan el conductor és l'aire i de 45-46°C quan ho és l'aigua (Vinyes, 2004). Existeixen diferents maneres de realitzar aquesta transferència o cessió tèrmica; veurem ara quines són les que utilitza l'aigua (Perez Fernández, 2005) (Fig.15):

- **Convecció:** es produeix amb líquids en moviment. La cessió de calor es realitza entre parts del fluid que es troben més calentes en contacte amb d'altres que es troben més fredes. Aquest fenomen crea corrents ascendents i descendents. En cas que l'individu es mogui, aquesta transferència de calor es realitza més ràpidament.
- **Conducció:** es realitza quan existeix contacte físic entre dues superfícies; l'energia tèrmica passa de la que té més calor a la que en té menys. En el cas de l'ésser humà, cal tenir en compte l'espessor del teixit adipós, que en aquest cas, actua com aïllant.
- **Evaporació:** es tracta d'un mecanisme de dissipació intern que té el cos. La pèrdua de calor es produeix mitjançant la sudoració a través de la pell o la respiració.
- **Radiació:** poc aplicable en el camp de la hidroteràpia. Relacionada amb l'energia radiant que emet un cos en una longitud d'ona determinada amb la temperatura del cos, de tal manera que per a cada temperatura i longitud d'ona existeix un màxim d'energia radiant.

El nostre organisme produeix calor degut a diferents reaccions bioquímiques i per l'activitat muscular. La tiroxina exerceix una acció directa sobre les cèl·lules de l'organisme augmentant el seu metabolisme i per tant, alliberant majors quantitats de calor (Godall, 1996).



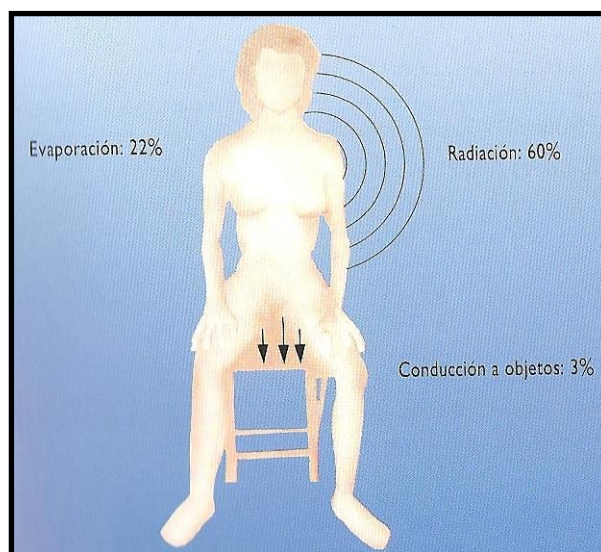


Fig. 15: Pèrdua de calor del cos per radiació, evaporació i conducció. Imatge extreta de Vinyes, 2004.

Igualment actua el sistema nerviós vegetatiu simpàtic. Per altra banda, al augmentar la temperatura de les cèl·lules vives, augmenta la velocitat de les reaccions químiques que es produeixen en elles, el que equival a dir que un cop la temperatura ha començat a elevar-se, es genera progressivament més calor. Una temperatura elevada, té tendència a produir temperatures més elevades (Vinyes, 2004).

Quan parlem de temperatura tolerable, fem referència a aquella que pot suportar la pell sense que es produeixin lesions (Collot & Griveaux, 2007).

La pell disposa d'estructures nervioses per rebre tot tipus d'estímuls externs i transmetre'ls al nostre sistema nerviós (Belton et al., 2007).

Els estímuls físics actuen per via reflexa sobre la superfície cutània on s'apliquen, gràcies a les terminacions nervioses que condueixen l'estímul a través de la medulla espinal, fins al centre regulador de la temperatura corporal, que es troba situat a la base del cervell. Aquest, envia impulsos nerviosos per mantenir una temperatura constant, que influirà sobre els vasos sanguinis (Godall, 1996).

Existeixen, també, altres vies reflexes que es posen en marxa amb l'aplicació d'estímuls físics i que produeixen reaccions en d'altres zones cutànies del cos (Fig.16).

A la pell podem distingir dos tipus de vasos sanguinis (Vinyes, 2004):

- Arteries, venes i capil·lars.
- Plexe venós: estructura en forma de xarxa, formada per la interconnexió de vasos i nervis. El plexe es comunica amb les arteries nutrícies de la pell a través d'anastomosis arteriovenoses (comunicació entre dos vasos o dos nervis que provenen de diferents ramificacions i que, en el cas de la pell, es troben en les zones del cos més exposades al fred: palmells de les mans, plantes dels peus, nas, orelles i llavis).

Aquestes anastomosis arteriovenoses es troben embolcallades de fibres musculars llises que compleixen la funció de regulació de la temperatura corporal degut a (Godall, 1996):

- En aplicacions de fred durant estímul breu: es tanquen.
- En aplicacions de calor (exceptuant situacions extremes): es dilaten.

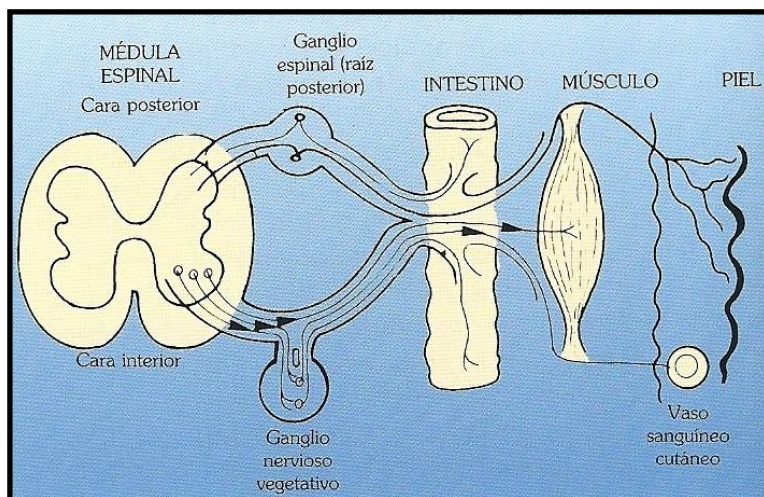


Fig. 16: Vies reflexes que es posen en marxa per l'aplicació d'estímuls físics.  
Imatge extreta de Vinyes, 2004

Si apliquem fred directament sobre la pell, els vasos cutanis es contrauen progressivament fins arribar a la màxima contracció quan l'aplicació de fred es troba sobre els 15°. Si continuem disminuint la temperatura progressivament, els vasos cutanis no es contrauen més, sinó que es comencen a dilatar per l'efecte local del fred, produint una paràlisi del mecanisme contràctil de la paret vascular, que arriba a la seva màxima dilatació al voltant del 0°. Aquesta vasodilatació té lloc per evitar la congelació de les parts del cos més exposades al fred (Pazos & Gonzalez, 2002).

Podem dir que la pell realitza una doble funció en quant a la regulació de la temperatura corporal. Per una banda, actua com a aïllant, gracies al greix dipositat al teixit cel·lular subcutani, i per altra, exerceix el paper de radiador de calor gracies a la regulació del plexe venós subcutani que permet que grans quantitats de calor es puguin desprendre pel pas abundant de sang cap a l'exterior (Vinyes, 2004).

El fet que nosaltres notem l'aigua calenta o freda, depèn de que la temperatura sigui superior o inferior a la de la superfície cutània del cos.

Però existeix un punt anomenat *temperatura indiferent* ( $32 - 35^{\circ} \pm 3^{\circ}$  segons els autors en l'aigua i  $22 - 25^{\circ}$  en l'aire), on el cos humà no sent ni calor ni fred, és a dir, que no s'activen els mecanismes de termoregulació, pel que l'acció tèrmica serà nul·la. En aquest cas, no tindran lloc els beneficis terapèutics ni del fred ni del calor (Kemoun et al., 2006).

En Física és difícil concretar els conceptes de fred i calor perquè es tracta d'una percepció que depèn de la temperatura corporal i la sensibilitat individual de cada organisme (Grossiord & Held, 1981). Tenint sempre present que la temperatura serà un concepte individual, diferents autors han classificat la gradació de temperatura, sense diferir massa entre ells (Taula 1).

En el capítol dos, farem referència a la temperatura de l'aigua i els seus efectes sobre l'organisme, però a grans trets, podríem dir que els efectes dels banys freds i calents són (Collot & Griveaux, 2007):

Freds:

- Estimulació del sistema nerviós vegetatiu simpàtic (acció simpaticotònica)
- Major dilució de la sang
- Descens del pH de la sang
- Augment de la pressió arterial
- Disminució del peristaltisme intestinal

Calents:

- Acció vagotònica
- Augment del pH de la sang (acció alcalinitzant)
- Obertura dels vasos sanguinis de la pell, arribant a emmagatzemar 1,5 litres de sang
- Activació de la sudació
- Espessament de la sang (afavorint l'efecte "absorbent" i l'eliminació de residus de les cèl·lules i del líquid intersticial
- Estimulació del peristaltisme intestinal)

Per tant, sempre que els vasos sanguinis de l'individu que rep els estímuls tèrmics de l'aigua siguin saludables, és a dir que tinguin un bon funcionament i elasticitat, quan s'aplica aigua freda sobre la superfície cutània, es produeix una quasi immediata contracció dels vasos sanguinis cutanis. Però en quant es deixa d'aplicar l'estímul, apareix una vasodilatació vascular amb augment del pas de sang i un augment de la temperatura de la pell, el que es coneix com hiperèmia reactiva (Vinyes, 2004).

Molt freda o gelada: 0-12°	Produeix sensació de dolor	Fredes
Freda: 12-18°	Produeix sensació molesta de fred, tolerable	Fredes
Fresca: 18-27°	Produeix sensació agradable, en aplicacions curtes	Fredes
		Hipotermals
Tèbia: 27-32°	Produeix sensació agradable en quasi tots els casos	Hipotermals
		Mesotermals
Neutra: 32-36,5°	Produeix sensació confortable	Mesotermals
Calenta: 37-40°	Produeix envermelliment de la pell (sensació de calor)	Mesotermals
Molt calenta: 40-43°	Tolerable en aplicacions curtes	Hipertermals
Per sobre de 45°	Produeix sensació de dolor (activa els nociceptors)	Hipertermals

Taula 1: Gradació de temperatura segons autors. Disseny de l'autora basat en Bachmann RM, 1998; Vinyes, 2004 i Pérez Fernández, 2005

### 1.2.3. Propietats químiques:

Quan parlem de propietats químiques, fem referència a la composició química de l'aigua que s'usa com a agent terapèutic i els beneficis que se'n deriven d'aquesta. En termes generals, podem distingir entre:

- Hidroteràpia: ús de l'aigua natural o potable
- Hidrologia: ús d'aigües mineromedicinals
- Talassoteràpia: ús d'aigua de mar

Tenint en compte la composició de l'aigua, s'ha realitzat una classificació dels diferents tipus de centres on es pot dur a terme un tractament mitjançant l'aigua (Mur et al., 2012):

- Balneari: centre que utilitza les aigües mineromedicinals. Les seves aigües són declarades d'utilitat pública amb finalitat terapèutiques i és necessari l'existència d'un equip mèdic al centre.
- Centre d'hidroteràpia o Spa: centre que utilitza aigua potable. Es fa ús de les propietats físiques i tèrmiques de l'aigua. En ells, no és obligatori l'existència d'un servei mèdic.
- Centre de talassoteràpia: centre que utilitza l'aigua de mar. Solen estar situats a primera línia de mar, per nodrir-se de tots els components marins, ja que treballen elements com la sorra, algues, argila i altres components del clima marí (sol, onatge, aire marí...).

Tot i que per al desenvolupament de la tesi, s'ha fet ús de l'aigua potable i no s'ha analitzat la composició de l'aigua, seria interessant conèixer, breument quines són les característiques tant de les aigües mineromedicinals, com de l'aigua de mar. El motiu, no és un altre que la possible introducció d'aquesta variable en futurs estudis.

Les aigües mineromedicinals s'han estudiat curosament en base a les seves diferents classificacions: termalitat, pressió osmòtica, contingut aniònic i catiònic i existència d'un ió predominant (L. Rodríguez, 2002).

Tot i així, la classificació és complicada i no s'ha arribat a cap que pugui admetre's sense discussió (L. Rodríguez, 2002), ja que les accions de les aigües mineromedicinales depenen de les seves característiques i de les tècniques d'aplicació, tot i així, el mecanisme d'acció de les aigües mineromedicinales constitueix una "individualitat", ja que no existeixen dues aigües de composició química idèntica, ni tenen el mateix efecte dues aigües de composició similar (Molina, 2010) (Taula 2).

Nom	Tipus	Subtipus	Efectes
Aigües amb més d'1g/l de substància mineral	Clorurada	Fora	Metabòliques, anticatarrals i antiinflamatòries. Purgants. Colagogues (colecistocinètica). Laxants. Protectora hepàtica
		Mitja	
	Dèbil		
	Sòdica		
Magnèsica			
Sulfatada	Càlcica	Antidispèptiques i antiàcides. Millora la tolerància als hidrats de carboni. Mobilitza l'àcid úric i afavoreix la seva eliminació	
	Mixta		
Bicarbonatada	Càlcica	Faciliten la digestió. Estimulen la secreció i motilitat gàstrica. Estimulen la gana	
			Mixta
Carbogaseosa			
Aigües amb elements especials	Sulfurada	Sòdica	Antitòxica (processos d'oxidoreducció). Millora la permeabilitat vascular i el trofisme tissular. Antial·lèrgiques i antireumàtiques. Regeneració d'hematies. Estimula l'eritropoesi. Equilibradores, sedants, anticatarrals
		Càlcica	
	Clorada		
Ferruginosa			
Radioactiva			
Oligometal·liques	Acratopegues	Menys de 20°	
	Acratotermermes	Més de 20°	

Taula 2: Classificació de les aigües mineromedicinales. Adaptació de Rodríguez, 2002 i Pérez Fernández, 2005



Classificacions a part, totes les aigües mineromedicinales tenen en comú les accions dels seus components (Armijo & San Martín, 1994):

- acció física: en les aplicacions tòpiques desenvolupen un paper fonamental les tècniques utilitzades, on predominen les accions físiques, mecàniques i tèrmiques.
- accions biològiques: deriven de l'acció específica dels factors mineralitzants de la seva composició, així com dels efectes físics. A més, cal tenir en compte:
  - acció nutrícia: perfecte equilibri dels seus elements mineralitzants, que no existeix en els mitjans artificials i que els permet exercir una acció favorable per algunes de les funcions dels nostres òrgans.
  - Acció catalítica: modifiquen la dinàmica de determinades reaccions químiques i són capaces d'activar o inhibir dites reaccions segons la presència de determinats ions.
  - Acció zimostènica i zimastènica: factors estimulants o depressors de diversos sistemes enzimàtics.
  - Acció antitòxica i antihistamínica.
- accions inespecífiques: relacionades amb d'altres circumstàncies.
  - Síndrome general d'adaptació: com tota agressió, el tractament amb aigua termal, provoca un estímul hipotàlem-hipofiso-encefàlic que es manifesta amb una resposta adrenocortical de defensa.
  - Acció psicòtrofa i efecte placebo: resposta de tipus neurocortical, determinada per la temperatura de les aplicacions (sedant la calenta i excitant la freda, i a més en la suggestió o placebo) que existeix en tota acció terapèutica.
  - Accions o circumstàncies ambientals: conseqüència directa de les circumstàncies meteorològiques i geogràfiques, els factors psicològics.

Pel que fa a les propietats de l'aigua de mar, la seva principal característica radica en que es tracta d'un medi viu (conté molècules actives com ara antibiòtics i probiòtics, alliberades pel plàncton i bacteris marins), pel que en el món de la talassoteràpia se'l coneix com un medicament real ("France Thalasso," 2011).

La seva composició és rica en minerals, amb més de 92 elements distribuïts en diferents proporcions, dels quals cal destacar: Sodi, Potassi, Iode, Magnesi, Sofre, Calci, Silici i Fòsfor (Llor, 2008).

Aquesta combinació d'elements, a través del procés d'osmosi, penetra a la pell de l'individu que si troba immers, absorbint i beneficiant-se de les característiques de cadascun dels seus components (Bagot, 1971; Guy, 1968). Els processos d'acció sobre l'individu, segueixen les mateixes característiques que en les aigües mineromedicinales.

Quan parlem de l'absorció dels minerals a través del procés d'osmosi que es produeix a l'aplicar l'aigua per via tòpica en balneació (ja sigui aigua de mar o mineromedicina), es quantifica en 20 - 40 g/m<sup>2</sup> de superfície corporal i hora d'immersió (Dubarry, Blanquet, Tamarelle, & Dubarry, 1971). És per aquest motiu, que en futures investigacions, caldria observar les diferències en el comportament muscular segons el tipus d'aigua utilitzada.

#### **1.2.4. Propietats elèctriques:**

L'aigua posseeix un grau baix d'ionització. L'aigua pura pot dissociar-se en ions, pel que es podria considerar una barreja de d'aigua molecular (H<sub>2</sub>O), protons hidratats (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) i ions hidroxils (OH<sup>-</sup>), però la concentració d'aquests ions és molt baixa (de cada 10<sup>7</sup> molècules d'aigua, una està ionitzada) (Perez Fernández, 2005).

Aquesta reacció d'ionització aconseguix i manté un equilibri dinàmic on la tendència a ionitzar-se es contraresta amb la tendència dels ions a reunir-se, mantenint la quantitat d'ions i molècules constants (Godall, 1996).

Tot i que no es tracta d'un tipus de propietat que s'hagi desenvolupat en la confecció dels estudis d'aquesta tesi, és interessant conèixer aquesta qualitat que posseeix l'aigua ja que utilitzant el medi aquàtic com a conductor a una superfície del cos, es pot realitzar un treball d'electroteràpia, si s'aconsegueix trencar la molècula per crear un corrent elèctric (Mur et al., 2012).

# **Efectes – beneficis de l'aigua**

**“L'aigua és el vehicle de la naturalesa”**

**Leonardo Da Vinci 1452 – 1519**

### **2.1. Efectes- beneficis de l'aigua.**

Ja hem observat en els apartats anteriors les propietats que confereixen a l'aigua les característiques que fan d'ella un medi únic pel tractament a través d'ella. No obstant, cal saber que els beneficis que se'n deriven de la seva aplicació, estan relacionats directament amb les seves propietats i amb la intensitat de l'estímul hidroteràpic (Pazos & Gonzalez, 2002). Entenent per estímul hidroteràpic l'acció d'aplicació de la tècnica d'hidroteràpia.

Aquest estímul depèn de (Perez Fernández, 2005; Vinyes, 2004):

- La temperatura de l'aigua: un estímul serà major, com més s'allunyi de la temperatura de la pell i amb més rapidesa ho faci.
- La durada de l'aplicació: per aconseguir el màxim estímul, es necessari perllongar la durada de les aplicacions (més segons per les fredes i més minuts per les calentes).
- L'extensió de la superfície d'aplicació: a major superfície, major estímul.
- L'aplicació d'estímuls mecànics: depenent de la tècnica utilitzada, s'afegeixen altres propietats de l'aigua (ex.: pressió hidrostàtica en banys, fricció i pressió hidrostàtica en xorros...).
- La disposició individual: depenent de les característiques individuals (edat, sexe, estat de salut i de l'anomenat tipus constitucional de Lampert) l'efecte de l'estímul serà major o menor.

L'ésser humà es pot classificar en dos tipus constitucionals segons la forma en que reacciona als diferents estímuls del medi ambient. Per una banda el tipus A (25% de la població), tipus B (25%) i la barreja dels dos tipus (50%). Són els anomenats tipus de Lampert (Vinyes, 2004):

- Tipus A: aquells individus de tipus astènic (prims, pit enfonsat, escàpula alada i poc desenvolupament muscular). Necessiten estímuls forts, ja que solen reaccionar de manera poc visible als estímuls físics externs.
- Tipus B: reaccionen molt fàcilment als estímuls físics externs; d'aquí la importància que aquests siguin suaus.

És interessant conèixer els tipus constitucionals segons Lampert, ja que sota un mateix estímul hidroteràpic, dos individus poden reaccionar de maneres diferents; aspecte que s'ha de tenir en compte en la valoració dels resultats obtinguts en els estudis proposats per a l'elaboració d'aquesta tesi.

De forma consensuada, els efectes que s'atribueixen a l'aigua de forma general són (Kemoun et al., 2006; Mur et al., 2012) (Taula 3):

- Càrrega parcial i gradual
- Manteniment o millora del balanç articular (BA)
- Facilitació del moviment, deambulació i altres activitats funcionals
- Millora la percepció de l'esquema corporal i dels gestos a limitar
- Disminució dels espasmes musculars - relaxació muscular
- Sedació del dolor
- Reeduació musculatura afectada (resistència als desplaçaments)
- Afavoriment del retorn venós
- Vasodilatació secundària a l'immersió en banys d'aigua freda
- Relaxació

Efecte	Consequència
Disminució del pes del cos per l'efecte de flotació que contrasta la força de gravetat ( <b>Principi d'Arquímedes, flotació i pes aparent</b> )	Menor sofriment articular.
Possibilitat d'una mobilitat precoç i augment del moviment articular ( <b>flotació</b> )	Major llibertat i amplitud de moviment.
Efecte relaxant o de tonificació i mobilització precoç després de llarga immobilització. ( <b>efecte de la temperatura</b> )	Evita l'aparició de les atrofies musculars i formació de teixit cicatricial.
Augment de la pressió intraabdominal ( <b>pressió hidrostàtica</b> )	El diafragma puja i, per tant, un major treball per als músculs inspiratoris, que treballen contra resistència.
Millora la capacitat pulmonari treball favorable per als músculs respiratoris, l'eficiència cardiovascular i la circulació de l'aparell cardiocirculatori ( <b>pressió hidrostàtica i resistència hidrodinàmica</b> )	Augment en el retorn venós.
Facilita el reabsorbiment dels líquids intersticials, dels edemes i dels vessaments intraarticulars ( <b>pressió hidrostàtica</b> )	Redueix la mida dels vasos superficials.
Efecte de reducció de l'àcid làctic (toxines produïdes durant l'activitat física) amb un efecte drenant ( <b>pressió hidrostàtica</b> )	Afavoreix el treball de la microcirculació i evita la inflamació, augmentant l'elasticitat articular i de tonificació muscular.
Millora la percepció de l'esquema corporal i la propiocepció ja que l'estímul continu de l'aigua al voltant del cos dóna informació contínua de la seva posició ( <b>pressió hidrostàtica</b> )	Millora així el control sobre les compensacions en el moviment i en la postura.

Taula 3: Relació entre els efectes que produeix l'aigua a causa de les seves propietats i les conseqüències. Adaptació de Manual de fisioteràpia aquàtica, 2012.

Un esment especial és el que fa referència als efectes psicològics i socials que es produeixen a partir del treball dins de l'aigua, ja que són el tret diferenciador d'altres tècniques o disciplines.

Les causes més comunes per a la incidència d'aquests efectes són (Kemoun et al., 2006; Mur et al., 2012):

- Sedació del sistema nerviós central i perifèric produint sensació de relaxació a ment i cos.
- Augment de l'autoestima i capacitat de superació de les inseguretats com a conseqüència de la millora en la qualitat de vida.
- Sensació de plaer al poder realitzar activitats i/o moviments que fora de l'aigua no es poden dur a terme.
- Disminució de pors, ansietats i estrès a causa de l'eliminació de possibles caigudes.
- Sensació de benestar i autoconfiança, al sentir un moviment lliure de la seva discapacitat, que és el preludi de la recuperació de la funció. Motiu pel qual s'accelera el procés recuperador, des de les primeres fases del mateix.
- Canvi en el comportament social normal, degut a la disminució de l'impacte psíquic, evitant l'aïllament i compartint l'experiència rehabilitadora amb d'altres pacients.

Vegem ara, quines són les indicacions i contraindicacions del treball d'hidroteràpia i hidrocinesiteràpia.



### **2.1.1. Indicacions:**

Les indicacions de la hidroteràpia són molt extenses. Tenint en compte els efectes produïts en els diferents sistemes, hom pot copsar que el treball amb l'aigua com a mitjà es pot realitzar en diferents disciplines o especialitats (Kemoun et al., 2006), ja sigui neurologia, traumatologia, reumatologia, pediatria, esportiva... A nivell dels diferents sistemes, i de forma genèrica, els efectes i, per tant, les indicacions són (Chevutschi, Dengremont, Lensele, Pardessus, & Thevenon, 2007; Collot & Griveaux, 2007; Esnault, 1991; Grossiord & Held, 1981; Kemoun et al., 2006; Pazos & Gonzalez, 2002; G. Rodriguez & Iglesias, 2002):

#### **Cardiovascular:**

Hi ha un augment de la circulació de retorn amb augment de la pressió del ventricle dret, el volum, el rendiment d'expulsió, una millora en la despesa cardíaca de més de 30% i una disminució relativa de la freqüència cardíaca.

Els efectes es perllonguen després de la sortida del vas aquàtic.

#### **Renal:**

Es produeix una disminució de la producció de l'hormona antidiurètica i l'aldosterona, que s'acompanya per un augment en l'alliberament de sodi i potassi. Això afavoreix la diüresi.

Aquesta és una de les causes de la disminució de la pressió arterial i la millora de l'eliminació dels detritus metabòlics.

Aquests efectes es mantenen després del període d'immersió.

### **Respiratori:**

L'acció de la pressió hidrostàtica al tòrax, combinat amb l'augment del volum de sang intratoràcic, incrementa el treball de ventilació i el volum reduït expiratori de reserva.

L'efecte tèrmic sobre el sistema respiratori sembla limitat a una disminució de l'evaporació per termòlisi.

### **Múscul esquelètic:**

- Efecte circulatori múscul-ligamentós degut a l'augment de l'aport d'oxigen i la millora en l'eliminació de detritus metabòlics.
- Reducció de l'edema.
- Tonificació muscular modulable.
- Disminució de la tensió de les articulacions, pel treball en descàrrega.
- Càrrega parcial progressiva per la immersió gradual.

### **Sistema nerviós central i perifèric:**

- Efecte analgèsic i relaxant, especialment en dolors crònics.
- Estimulació sensorial (ex.: cas d'un dèficit postural significatiu).
- Estimulació de les fibres aferents en pacients on la sensibilitat està disminuïda.
- Aprenentatge i millora de la percepció de l'esquema corporal.
- Millora de la coordinació motora i l'equilibri, fent ús de la inèrcia de l'aigua en disfuncions del sistema nerviós central.

### **Metabolisme ossi:**

Alguns autors han reconegut la seva acció curativa i preventiva per l'augment de la densitat mineral òssia i els nivells de calci, però aquesta idea encara s'ha d'estudiar més.

Per tant, la indicació terapèutica de la hidroteràpia – hidrocinesiteràpia depèn, en la seva majoria, de la correcta valoració física, fisiològica i psicològica de l'individu que no pas de l'etiologia de la malaltia (Kemoun et al., 2006; Mur et al., 2012).

Cal recordar que les reaccions de l'organisme a l'activitat física realitzada en una piscina de reeducació, són els mateixos que els observats en qualsevol altre tipus de treball físic, tot i que modificats per les reaccions específiques de l'organisme a l'augment de temperatura i pressió (regulació tèrmica, reacció dels sistemes cardiovascular i respiratori i resposta renal) (Kemoun et al., 2006).

Per al desenvolupament d'aquest capítol, és important tenir en compte que una gran part de la literatura sobre la influència de la immersió aquàtica com a mitjà de recuperació atlètica, sembla estar basada en informacions, més aviat empíriques i amb poca investigació sobre els possibles canvis en el rendiment (Schniepp, Campbell, Powell, & Pincivero, 2002; Wilcock et al., 2006b).

Les propietats de l'aigua poden millorar o reduir el correcte funcionament dels músculs, depenent de les tècniques d'immersió (Schniepp et al., 2002). És per aquest motiu que en els darrers anys, l'interès per la investigació de la funció neuromuscular després de la immersió en aigua està prenent rellevància (Abbiss, Peiffer, Netto, & Laursen, 2006).

La primera qüestió a resoldre quan revisem la bibliografia és que la gran majoria d'estudis realitzats, presenten una mostra reduïda, ja que el seu perfil és de tipus esportistes d'elit. Per la seva composició genètica i el seu historial d'entrenament, els atletes d'elit responen de manera diferent a l'estrès provocat per l'entrenament i, possiblement, a la seva posterior recuperació, a com ho fan individus que no són esportistes o els atletes amb un nivell inferior (Barnett, 2006).

Per altra banda, els treballs estudiats, fan ús de protocols considerablement variats, tant pel que fa als temps d'immersió, com pel que fa a les temperatures emprades (Wilcock, Cronin, & Hing, 2006a).

Quan parlem d'immersions ja sigui en aigua calenta, aigua freda o, sobretot els banys de contrast (fred - calor) en la documentació per a aquesta tesi, ens ha interessat fixar-nos en aquells aspectes relacionats amb la recuperació post exercici o post fatiga. Per aquest motiu, hem volgut saber quins efectes té la simple immersió per les propietats físiques i tèrmiques que presenta l'aigua, sobre aquesta recuperació. Una altra vessant d'estudi que cal desenvolupar, tot i que no és l'objectiu d'aquesta tesi, és l'efecte de l'activitat física realitzada dins l'aigua, és a dir la hidrocinesiteràpia.

A grans trets, podem dir que tot estímul tèrmic sobre la superfície del cos determina, en primer lloc, una resposta local dels vasos sanguinis de la pell i, seguidament i per via reflexa, d'òrgans i teixits que estan interrelacionats per connexions nervioses.

Un sistema vascular sa, presenta una hiperèmia reactiva després d'una aplicació freda de curta durada o molt calenta. En primer lloc es produeix una contracció vascular, seguida d'una ràpida dilatació, pel que augmenta el reg sanguini (fàcilment observable a través de l'envermelliment de la pell).

En els "banys de temperatura creixent" (aplicacions progressives de calor) es produeix una dilatació gradual dels vasos sanguinis que permet que es tolerin millor les temperatures elevades (G. Rodriguez & Iglesias, 2002).

En les aplicacions calentes de llarga durada, es produeix un fenomen de "capilarització" (s'obren capil·lars que fins al moment romanien tancats i circulen per ells sang). De la mateixa manera es produeix una disminució progressiva del to vascular, pel qual els vasos sanguinis de la zona es van dilatant i s'acumula una gran quantitat de sang en ells (Pazos & Gonzalez, 2002).

La resposta o reacció orgànica als estímuls tèrmics hidroteràpics transcorre a través de les vies nervioses. Els receptors cutanis del fred i del calor capten els estímuls i els

transmeten a l'hipotàlem, d'on parteixen els impulsos nerviosos que faran contraure o dilatar els vasos sanguinis. Els receptors del fred són més nombrosos i superficials que els de la calor (fet que fa comprendre per què les reaccions cutànies a aplicacions fredes són molt més ràpides i intenses que les de calor) (Kemoun et al., 2006; Vinyes, 2004) (Taula 4).

<p>• <b>Reacciones normales de la piel a las aplicaciones hidroterápicas frías (menos de 18 °C)</b></p>	
– 1.ª fase	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Palidez.</li> <li>– «Carne de gallina».</li> <li>– Sensación de frío que puede llegar a ser dolorosa.</li> </ul>
– 2.ª fase (reactiva)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Enrojecimiento cutáneo.</li> <li>– Sensación de calor y bienestar.</li> </ul>
<p>• <b>Reacciones normales a las aplicaciones hidroterápicas calientes (36-38 °C)</b></p>	
– Transcurren en una sola fase:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Enrojecimiento cutáneo.</li> <li>– Sensación de calor y bienestar.</li> </ul>
<p>• <b>Reacciones normales a las aplicaciones hidroterápicas muy calientes (más de 39 °C)</b></p>	
– 1.ª fase	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Palidez.</li> <li>– «Carne de gallina».</li> <li>– Presión sorda o sensación de dolor.</li> </ul>
– 2.ª fase (reactiva)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Enrojecimiento cutáneo (hiperemia reactiva).</li> <li>– Sensación de mucho calor que va disminuyendo hasta una agradable sensación de bienestar.</li> </ul>

Taula 4: Reaccions normals de la pell segons la temperatura de l'aigua. Extret de Vinyes F, 2004.

Una altra variable que hem hagut de tenir en compte a l'hora de revisar la bibliografia és el nivell d'immersió. També en aquest aspecte els protocols emprats són molt variats (Wilcock et al., 2006a), fet que dificulta la comparació entre els resultats obtinguts. Això és degut a que el comportament vascular entre superfície i profunditat en el cos humà és diferent en funció de sí la immersió es produeix de forma parcial o total (Perez Fernández, 2005).

Cal tenir en compte quin és el procés de contracció – dilatació que segueixen els vasos del circuit intern i extern del cos en una immersió completa (Vinyes, 2004):

- Aigua calenta: es dilaten pràcticament tots els vasos cutanis, que s'omplen de sang que prové de l'interior de l'organisme. A mida que augmenta la temperatura i el temps d'immersió en aigua calenta sobre la superfície cutània, augmenta la quantitat de sang que passa dels dipòsits interns cap als vasos cutanis. Per a que es doni aquest fenomen, s'ha de produir una contracció dels vasos interns. Si això no succeeix, existeix el risc de que es produeixi un gran descens de la pressió arterial, amb el conseqüent col·lapse circulatori.
- Aigua freda: els vasos cutanis es contrauen i els de l'interior de l'organisme es dilaten per tal de poder donar cabuda a la gran quantitat de sang que va a parar a ells procedents de la superfície.

Aquest fenomen es basa en la llei de Hauffe que relaciona un reservori de sang intern (cavitat cardíaca, pulmons, fetge i grans vasos sanguinis) i un reservori de sang perifèric (vasos cutanis, vasos musculars, vasos coronaris, vasos renals i la majoria de vísceres o òrgans interns). Cadascun d'aquests dos territoris reacciona de forma conjunta i en sentit contrari al l'altre territori (Armijo & San Martín, 1994).

Segons les darreres investigacions, els vasos musculars reaccionen de forma contrària a com ho fan els cutanis en estímuls tèrmics de curta durada. Aquesta es la excepció de la regla de Hauffe (Kemoun et al., 2006).

Considerant els aspectes generals que acabem de descriure, vegem ara què diu la literatura científica respecte als efectes de la temperatura i les propietats físiques sobre el cos en immersió, per poder contextualitzar la part experimental d'aquesta tesi.

Ja hem mencionat anteriorment, l'interès creixent en l'ús de la immersió pel seu efecte sobre tots aquells aspectes relacionats amb la recuperació post exercici o post fatiga (Crampton et al., 2011). Les diferents raons per les quals se suggereix l'aplicació de la immersió en aigua durant la recuperació són ben diverses: tractament de lesions de teixits tous (Bleakley et al., 2004; Cote et al., 1988), disminució dels factors associats amb el dolor muscular i micro lesions (Bailey et al., 2007; Sellwood et al., 2007; Vaile, Halson, Gill, & Dawson, 2008c), o bé per ajudar en la deposició dels metabòlits i la restauració dels sistemes fisiològics, com a mètode per retornar el cos a un estat de pre exercici en la preparació per a l'exercici següent (Barnett, 2006; Hing et al., 2008). Intentem doncs esbrinar ara, què se li atribueix a la temperatura i/o a les propietats físiques de l'aigua, segons els diferents autors i protocols emprats.

#### **2.1.1.1. Efectes fisiològics per l'aplicació de calor:**

Les bases teòriques de l'aigua descriuen que l'escalfament dels teixits afavoreix la relaxació muscular i la disminució dels espasmes musculars. Aquests fenòmens es produeixen al disminuir l'activitat de les fibres eferents gamma dels fusos musculars, amb el que disminueix la sensibilitat a l'estirament del fus muscular, condicionant de manera reflexa la disminució del to i per tant, afavorint la relaxació muscular. També influeix en aquesta relaxació l'augment de la velocitat de descarrega dels òrgans tendinosos de Golgi, a l'augmentar la temperatura (Belton et al., 2007; Collot & Griveaux, 2007; Kemoun et al., 2006; Perez Fernández, 2005).

Segons la teoria de Melzack, gate control theory, (Melzack & Wall, 1965) les sensacions exteroceptives de temperatura són conduïdes cap a la medul·la, segons la intensitat de l'estímul, per fibres A mielíniques o ràpides i per fibres C amielíniques o lentes; de la mateixa manera, la sensació dolorosa (no aguda) és transmesa per fibres C amielíniques o lentes (el dolor agut momentani és transmès també per fibres A mielíniques i ràpides). Quan aquestes fibres arriben a la substància gelatinosa de la banya posterior medul·lar es pot desencadenar un mecanisme d'inhibició de la sensació dolorosa (fibres C) si a la vegada arriben estímuls normals no irritants (ex.:

tacte, calor, pressió) procedents de receptors exteroceptius, entre els que es troben els termoreceptors, inhibint a nivell medul·lar l'estímul nociceptiu i evitant d'aquesta manera que aquest es faci conscient.

Per tant, les accions terapèutiques del calor són (Kemoun et al., 2006; Perez Fernández, 2005):

- Antiinflamatori: fonamentada en la hiperèmia (millora de la nutrició cel·lular, augment de l'absorció de productes patològics, acció bactericida, acció tròfica i acció analgèsica).

- Acció antiespasmòdica: major extensibilitat dels teixits fibrosos colaginosos. Aquesta acció afavoreix una disminució generalitzada del to muscular, facilitant la mobilització.

- Acció analgèsica: pel bloqueig a nivell medul·lar dels impulsos nociceptius, augment de el llindar del dolor, augment de la permeabilitat de les membranes que permeten la reabsorció de substàncies químiques. Aquest fenomen permet la realització d'exercicis molt més agressius que en sec.

Quan parlem de termohidroteràpia, ens referim a la immersió en aigua en la qual s'eleva la temperatura corporal central. Aquest augment es produeix en aigües que s'allunyen de la temperatura indiferent per sobre dels 36° (Bachmann & Schleinkofer, 1998; Vinyes, 2004; Wilcock et al., 2006a). Però cal matisar que per a que realment es produeixin els efectes relacionats amb el calor, la temperatura intramuscular hauria d'arribar als 40° (Lehman, Warren, & Scham, 1974).

Però les poques investigacions realitzades fins el moment sobre els efectes fisiològics i/o el rendiment d'immersió en aigua calenta sobre el cos, prové dels textos de bases teòriques o es basa en informació anecdòtica (Wilcock et al., 2006b).



Cal tenir en compte que l'aplicació superficial de calor el que fa augmentar és el teixit subcutani, mentre que la temperatura del teixit a una profunditat de 2 cm, es manté sense canvis (Myrer, Measom, Durrant, & Fellingham, 1997); aquest concepte de penetració en l'escalfament de teixits, és interessant per poder entendre les troballes dels diferents autors (Wilcock et al., 2006a).

Un augment en la temperatura superficial del teixit provoca un augment en el flux sanguini cutani, durant períodes curts de temps, degut a la vasodilatació perifèrica (Becker, Hildenbrand, Whitcomb, & Sanders, 2009; Bonde-Petersen, Schultz-Pedersen, & Dragsted, 1992; KL Knight & Londeree, 1980). Aquesta vasodilatació perifèrica, al seu torn, és responsable d'una disminució en la pressió arterial, una lleugera taquicàrdia i un petit augment en el treball cardíac (Kemoun et al., 2006). L'explicació del fenomen d'augment en el treball cardíac es troba en que la freqüència cardíaca també augmenta en resposta a la immersió en aigua calenta (Becker et al., 2009; Bonde-Petersen et al., 1992; Weston, O'iiare, Evans, & Corral, 1987).

Aquest augment en la freqüència cardíaca pot reduir el volum sistòlic degut a la falta de temps per realitzar l'ompliment de la cavitat cardíaca, però la producció total cardíaca augmenta en comparació amb una immersió en aigua neutra (Weston et al., 1987), és a dir, a una temperatura que no activi els termoreceptors ni per calor ni per fred (Wilcock et al., 2006a).

Per altra banda, l'aplicació superficial de calor, també pot augmentar la transmissió neural (Cotts, Knight, Myrer, & Schulthies, 2004), la propiocepció i millorar el temps de reacció (Burke et al., 2001). Per tant, les aplicacions calentes, estimulen el sistema nerviós parasimpàtic. Tot i que les aplicacions d'aigua molt calenta actuen estimulants el simpàtic (Vinyes, 2004).

Finalment, existeixen altres beneficis de la termohidroteràpia que coincideixen amb els proposats per les bases teòriques de l'aigua i inclouen una major elasticitat muscular, extensibilitat de les articulacions, analgèsia i reducció dels espasmes musculars (Wilcock et al., 2006a). Com veurem més endavant en el subapartat que tracta de la immersió de contrast, l'ús de l'aigua calenta, que constitueix una part important del treball de les tècniques de contrast, pot ser la responsable de la vasodilatació per la millora en el subministrament d'oxigen i d'anticossos, així com l'eliminació de metabòlits (Vaile et al., 2007).

Els efectes descrits fins el moment, corresponen al que succeeix pel simple fet de realitzar una immersió del cos en aigua calenta; però existeixen diversos autors que s'han preocupat d'esbrinar com afecta aquesta immersió, posteriorment, a les diferents qualitats físiques i/o habilitats motrius de l'esportista (Wilcock et al., 2006b).

Pel que fa a la força, mesurada a través de diferents exercicis i després de fer ús de diferents protocols d'immersió en aigua calenta, tant pel que fa a la temperatura, el temps i la dinàmica (protocol continu o seriat), diferents autors coincideixen en no trobar diferències significatives entre la immersió en aigua calenta i els altres mètodes de recuperació (aigua freda i recuperació passiva) i la seva influència sobre la força:

- (Clarke, 1963): no existeixen diferències significatives en la recuperació de la força, després que aquesta hagués disminuït en un 75% (mesurant la premsió màxima amb un dinamòmetre), per a les tres estratègies de recuperació proposades (immersió calenta a 46°, immersió freda a 10° o recuperació passiva). Existeix un defecte de protocol que cal tenir en compte i és que el segment en immersió hauria d'haver estat més gran, no tan sols la mà, per assegurar la influència sobre la circulació. Es podria esperar un efecte més gran de la immersió, tant freda com calenta, si els segments en immersió haguessin estat més grans (Wilcock et al., 2006b).

- (Viitasalo et al., 1995): no existeixen diferències significatives en la recuperació de la força, mesurada a través de la contracció màxima voluntària (CMV) en l'extensió de cama, entre les dues estratègies de recuperació proposades (immersió calenta a 37° i grup control). En aquest cas, existeix una gran desviació estàndard en l'CMV que fa difícil l'extrapolació de resultats entre els diferents atletes participants. Pel que fa a la del drop jump i el rebound jump, s'observa una davallada significativa en la potència de salt ( $8\% \pm 8\%$ ,  $P < 0.001$ ) i un augment del temps de contacte ( $6\% \pm 8\%$ ,  $P < 0.001$ ) en la setmana que no hi ha recuperació amb immersió en aigua calenta, comparada amb la que sí.
- (Burke, MacNeil, Holt, MacKinnon, & Rasmussen, 2003): plantejament de tres estratègies de recuperació (immersió freda a 8°, immersió calenta a 43°, recuperació passiva) després d'un treball al 60-70-80-100 de l'CMV. S'observa un augment de la força en un 58% amb l'aigua freda, un 27% amb la recuperació passiva i un 26% amb l'aigua calenta. En aquest cas, el defecte de protocol es troba en que en lloc de tenir una càrrega d'entrenament basat en la força absoluta inicial, es mesura la intensitat de l'esforç muscular basada en la força produïda durant el 100% de CMV del dia anterior. Aquesta mesura fa que el grup d'immersió en aigua freda, sempre obtingui uns valors més elevats, pel que els resultats obtinguts podrien variar amb un canvi de protocol (Wilcock et al., 2006b).

Com es pot comprovar, la gran varietat de protocols utilitzats en les diferents investigacions, fa difícil comparar els resultats obtinguts en les mateixes. És per aquest motiu, que insistim en el buit d'informació que existeix al respecte i el recent interès que està cobrant la hidroteràpia.

Per finalitzar aquest subapartat, és interessant realitzar un apunt sobre hidrocinesiteràpia. Tot el descrit fins el moment pel que fa a la immersió en aigua calenta, fa referència a la hidroteràpia, el que hem definit anteriorment com la part "passiva" del tractament dins l'aigua, però també cal tenir en compte la influència de la temperatura de l'aigua, quan es pretén realitzar el treball "actiu" per part del subjecte immers, és a dir la hidrocinesiteràpia.

L'aigua tèbia i calenta (30-35°C) disminueix la defensa muscular i el dolor, facilitant un ambient relaxat i confortable per la pràctica d'exercicis terapèutics en les primeres etapes de la rehabilitació. La reducció de l'espasticitat muscular pot augmentar l'amplitud de moviment articular, mentre que la disminució del dolor, és psicològicament beneficiós pel pacient (Collot & Griveaux, 2007; Kemoun et al., 2006; Koury, 2000). Però, cal tenir cura amb la temperatura proposada en el tractament, ja que a temperatures elevades (37° - 40°) l'esgotament amb l'exercici intens apareix abans perquè la sang, a més de transportar oxigen al múscul que realitza l'exercici, també ha de transportar la calor des de l'interior del cos cap a la pell, el que representa un esforç addicional pel cor que ha de bombejar més intensament (Astrand et al., 2003).

#### **2.1.1.2. Efectes fisiològics per l'aplicació de fred:**

L'ús de la immersió en aigua freda com a agent terapèutic, està força més documentada que la de l'aigua calenta, tot i que tampoc està exempta de controvèrsia, degut a la dificultat en comparar, altra vegada, els resultats obtinguts mitjançant la diversitat de protocols.

Tornem a les bases teòriques de l'aigua (Kemoun et al., 2006; Perez Fernández, 2005; Vinyes, 2004) per explicar les diferents teories en que es fonamenta la reducció de l'espasme muscular mitjançant la immersió en aigua freda (que porta implícita una relaxació muscular, afavorint la mobilitat i la millora de la capacitat funcional):

- Disminució de l'afluència d'informació sensorial, fonamentada en la disminució de la velocitat de conducció de l'impuls nerviós pels nervis motors. Existeix un bloqueig de les fibres eferents gamma, estàtiques i dinàmiques.
- Interrupció del cicle dolor-espasme-dolor, que servirà per trencar el cercle viciós.

- Mecanisme reflex fonamentat en:
  - Molts nervis motors són massa profunds per a que el fred pugui refredar-los directament tan ràpid com per explicar la precocitat de l'efecte.
  - L'activitat motora decreix refredant simplement la pell, encara que separada de les estructures més profundes.
  - L'activitat dels fusos musculars motors disminueix al refredar-se.
  - La descàrrega dels fusos musculars decreix amb l'estimulació simpàtica.

Tenint en compte, aquestes teories, podem dir que les accions terapèutiques del fred són:

- Analgèsia: l'aplicació de fred produeix una disminució del dolor de la zona afectada, sigui quin sigui el teixit danyat.
- Estimulació de la circulació sanguínia degut a la vasodilatació reactiva o tornada reflexa a la situació de normalitat després de la vasoconstricció inicial.
- Efecte antiinflamatori i de disminució de l'edema, afavorit per l'aturada d'exudació plasmàtica i el bloqueig de mediadors químics que posen en marxa el mecanisme de la inflamació.
- Efecte tròfic regeneratiu: la vasodilatació i vasoconstricció faciliten l'aport de nutrients i oxigen, per una banda i per l'altra afavoreixen l'eliminació de productes de desfet del metabolisme cel·lular.
- Disminució de l'espasme muscular, tant en situacions d'augment de to muscular com en el cas de sobrecàrregues musculars o fatiga (efecte miorelaxant).

- Millora de la funció articular alterada, per la disminució del dolor, de l'edema i la inflamació, junt amb la relaxació muscular, que afavoreixen la mobilitat articular i milloren la capacitat funcional.
- Descens de la temperatura corporal: com a conseqüència del refredament de la pell, progressivament es produeix un descens general de la temperatura corporal en l'àrea d'aplicació del fred.

Entenem per crio hidroteràpia a l'ús de la immersió en aigua en la qual la temperatura corporal central disminueix. Aquesta disminució es produeix en aigües que s'allunyen, per sota, de la temperatura indiferent ( $32^{\circ} - 35^{\circ} \pm 3^{\circ}$ ) (Bachmann & Schleinkofer, 1998; Vinyes, 2004; Wilcock et al., 2006a).

A mida que la temperatura de l'aigua disminueix, la freqüència cardíaca es redueix, fet que fa disminuir la despesa cardíaca. Aquest fenomen provoca un augment de la tensió arterial i de la resistència perifèrica (Bonde-Petersen et al., 1992; Srámek, Simecková, Jansky, Savlíková, & Vybíral, 2000). L'augment de la resistència perifèrica és fruit de la sang que es redirigeix des de la perifèria cap a l'interior, per mantenir la temperatura central (Bonde-Petersen et al., 1992); al mateix temps, també és necessari augmentar el consum d'oxigen i el metabolisme, per tal d'ajudar a mantenir aquesta temperatura central (Srámek et al., 2000).

Per altra banda, el refredament del teixits disminueix la taxa de transmissió al llarg de les neurones. Això és degut, per una banda a la disminució en la producció d'acetilcolina (ACh), i per altra, és probable que estimulin les cèl·lules superficials que regulen la inhibició de l'impuls nerviós de la percepció del dolor que va al sistema nerviós central (SNC) (Wilcock et al., 2006a). Per tant, les aplicacions fredes actuen estimulants predominantment el sistema nerviós simpàtic.

Tot i així, els banys a temperatura indiferent o tebis, sense arribar a ser molt freds, tenen un efecte sedant i afavoridor del son (Vinyes, 2004).

Finalment, un dels aspectes més estudiats i observats sobre l'acció del fred és la reducció de la inflamació (Wilcock et al., 2006a). Aquest fet es produeix gràcies a la disminució en la permeabilitat de les cèl·lules, vasos limfàtics i capil·lars, produïda per la vasoconstricció localitzada que fa reduir la difusió del líquid cap a l'espai intersticial (Eston & Peters, 1999). És precisament aquesta disminució del líquid intersticial, el que pot ajudar a reduir la inflamació aguda de la lesió muscular (Cote et al., 1988).

Reduir la inflamació, pot ajudar a reduir el dolor i la pèrdua de generació de força, que sovint s'associa a la inflamació (Cote et al., 1988). És per aquest motiu, que el fred es fa servir, molt sovint, en el tractament de la inflamació, com a primera mesura de millora del procés de rehabilitació (Wilcock et al., 2006a).

Tot i així, alguns autors sustenten que encara queda força per investigar sobre l'aplicació del fred i la seva eficàcia, més enllà de l'efecte analgèsic (Barnett, 2006; Cheung, Hume, & Maxwell, 2003; Goodall & Howatson, 2008).

Cal prendre atenció quan es realitza un tractament de crio hidroteràpia ja que algunes persones presenten hipersensibilitat al fred, donant lloc a l'anomenat "*Síndrome de Raynauld's*" que provoca entumiment, formigueig i cremors. Per tant, a temperatures molt fredes, l'ús de la immersió en fred, pot ser més adequada de forma localitzada, com a tractament de lesions agudes i per disminuir la inflamació, que no pas generalitzada, com a estratègia de recuperació (Wilcock et al., 2006a).

És important tenir en compte aquest aspecte ja que en immersió en aigua freda, si bé el flux sanguini subcutani i cutani a través del múscul pot disminuir si es compara amb

la immersió en aigua calenta o neutra, i sembla tenir uns beneficis majors en el transport de substrats dins del múscul, la mida de l'efecte observat és petita (Bonde-Petersen et al., 1992). Per tant, tenint en compte aquestes troballes i sabent que la sensació de dolor en la immersió en fred s'inicia per sota dels 15°, ja que s'activen els nociceptors (Low & Reed, 1994), cal parar atenció a tots els resultats obtinguts, com veurem a continuació, mitjançant protocols que plantegen temperatures molt inferiors als 15° i continuar investigant al respecte (Bonde-Petersen et al., 1992; Srámek et al., 2000; Wilcock et al., 2006a).

En el subapartat següent sobre els banys de contrast, veurem com la immersió en aigua freda, pot ser la responsable de l'atenuació del dany muscular gràcies a la reducció de la temperatura de la pell i dels teixits (Sakakibara, Luo, Zhu, Hirata, & Abe, 2002) i la regulació de l'activitat del sistema nerviós simpàtic (Vaile et al., 2007).

De la mateixa manera que en l'apartat dels efectes de l'aigua calenta, veurem ara què diuen diferents autors sobre l'ús de la immersió en aigua freda, com a recuperadora de la fatiga post exercici i els seus efectes immediats sobre qualitats físiques i habilitats motrius realitzades després de dita immersió. D'entrada, cal destacar que, si bé la reducció en el dolor pot ésser beneficiosa, la reducció en la transmissió nerviosa pot ser causant de la disminució en la velocitat contràctil del múscul i la capacitat de generar força per part d'un atleta, després de la seva aplicació. Per tant, el rendiment podria estar "inhibit" si l'exercici es realitza immediatament després de la immersió (Barnett, 2006; Cheung et al., 2003; Crampton et al., 2011; Goodall & Howatson, 2008; Halson et al., 2008; Kinugasa & Kilding, 2009; Schniepp et al., 2002; Wilcock et al., 2006b).

Si bé la immersió en aigua freda, així com els massatges o els protocols de recuperació activa, contribueix a que els esportistes siguin capaços de mantenir la producció total de treball d'una sessió d'exercicis d'alta intensitat al cap de 24 hores, un cop finalitzat l'entrenament i la seva recuperació (Lane & Wenger, 2004), també és cert que en esportistes no entrenats, la immersió en aigua freda, disminueix els efectes de l'entrenament, pel retard en la formació dels processos adaptatius associats a la millora de l'entrenament (Yamane et al., 2006). D'aquí, que diferents autors parlin de la necessitat de continuar investigant sobre els veritables beneficis de la immersió en



aigua freda, sobretot pel que fa a l'adaptació en l'entrenament (Barnett, 2006; Cochrane, 2004; Crampton et al., 2011; Goodall & Howatson, 2008; Halson et al., 2008; Lane & Wenger, 2004; Yamane et al., 2006; Yanagisawa et al., 2003).

Alguns autors han realitzat estudis per valorar l'eficàcia de la immersió en aigua freda com a recuperadora de qualitats físiques o activitats físiques concretes; vegem a continuació, alguns exemples:

- (Clarke, 1963): ja hem vist en l'apartat d'aigua calenta, com aquest autor descriu que no existeixen diferències significatives en la recuperació de la força, després que aquesta hagués disminuït en un 75%, per a les tres estratègies de recuperació proposades (immersió calenta a 46°, immersió freda a 10° o recuperació passiva).
- (Burke et al., 2003): es detecta un major augment de la força (58%) en la immersió freda a 8°, comparat amb la immersió calenta a 43° i la recuperació passiva. Tot i així, ja hem vist en l'apartat d'aigua calenta que un defecte en el protocol, pot ser el responsable de l'obtenció d'aquests resultats.
- (Lane & Wenger, 2004): plantegen tres estratègies de recuperació posteriors a un protocol d'esforços màxims intermitents amb cicloergometre i la seva repetició a les 24 hores (recuperació passiva, recuperació activa pedalant al 30% VO<sub>2</sub> màx. o immersió de cames a 15°). Amb la recuperació activa i passiva es produeix un descens del rendiment, mentre que amb la immersió es produeix un increment del 11%±19%. Cal ser conscients, però, de que no es poden reproduir les mateixes condicions en els entrenaments, ni traslladar els resultats a d'altres modalitats esportives, fet que limita el protocol i els resultats obtinguts (Wilcock et al., 2006b).
- (Wilcock et al., 2006b): després de realitzar una revisió completa sobre diferents autors que parlen de la immersió en aigua freda com a recuperadora, conclouen que alguns estudis certifiquen aquesta estratègia per mantenir la força i l'habilitat de salt, però no per al rendiment amb bicicleta o la carrera. Així mateix, atribueixen aquests resultats al disseny de protocol i no tant a les mesures de recuperació.

En resum, es podria dir que l'ús de la immersió en aigua freda, podria obstaculitzar el rendiment en exercicis de curta durada i alta intensitat; tot i que en ambients calorosos, el refredament del cos podria ser beneficiós per al rendiment d'aquelles modalitats de resistència (Barnett, 2006; Goodall & Howatson, 2008; Kinugasa & Kilding, 2009; Schniepp et al., 2002; Vaile et al., 2008a, 2008b; Wilcock et al., 2006a).

Per acabar aquest apartat, un breu apunt sobre hidrocinèsiteràpia. La temperatura crítica oscil·la entre 31°C-32°C (on els pacients són sensibles a canvis de 0,5°C). En les etapes inicials d'un tractament d'aquateràpia, no és estrany observar un augment de l'espasticitat i una certa resistència del pacient a realitzar l'exercici quan la temperatura es troba per sota de 32°C (Kemoun et al., 2006; Koury, 2000).

### **2.1.1.3. Efectes fisiològics per l'aplicació del contrast:**

En els darrers temps, els banys de contrast s'han convertit en un dels mètodes més populars de la recuperació atlètica. Tot i així, les diferents investigacions, no esclareixen si els beneficis descrits són fruit de la pressió hidrostàtica o de la temperatura (Wilcock et al., 2006b).

És interessant remarcar les limitacions en la investigació, degut a la falta d'estudis científics relacionats amb el tema (Wilcock et al., 2006b).

A banda de les restriccions en la investigació, cal destacar la gran variabilitat existent a l'hora de pautar un protocol d'aplicació per part dels professionals fisioterapeutes i de la medicina de l'esport (Cobos & Marin, 2008). No en va, existeixen diferents autors que han treballat amb la teràpia de contrast i cadascun d'ells fa servir un protocol de temps d'immersió, temperatura, freqüència i seqüència diferent (Taula 5), fet que dificulta la comparació dels resultats obtinguts (Wilcock et al., 2006a).

Són diversos els estudis que intenten examinar l'eficàcia de diferents estratègies per promoure la recuperació post fatiga com ara els massatges, la ingestió o aplicació dèrmica d'AINES (antiinflamatoris no esteroidals), exercici de baixa intensitat, mànegues de compressió (Farr, Nottle, Nosaka, & Sacco, 2002; Hilbert, Sforzo, & Swensen, 2003), l'electroteràpia interferencial i la crioteràpia (Paddon-Jones & Quigley, 1997), amb gran varietat d'èxit en l'obtenció dels seus resultats. Paral·lelament, la teràpia de contrast, s'han convertit en una estratègia força comú de recuperació post fatiga entre els esportistes d'alt rendiment, tot i la poca evidència científica que en descriu els seus beneficis (Cochrane, 2004; Fiscus, Kaminski, & Powers, 2005; Higgins & Kaminski, 1998; Lehman et al., 1974; Myrer, Draper, & Durrant, 1994; Myrer et al., 1997; Stanton, Bear-Lehman, Graziano, & Ryan, 2003; Vaile et al., 2007) i la gran variabilitat en els paràmetres i en el procediment d'aplicació (Fiscus et al., 2005; Higgins & Kaminski, 1998; Myrer et al., 1994; Myrer et al., 1997; Stanton et al., 2003).

Study	Temperature (°C)		Application time	Repeats	Order
	cold	hot			
<b>Research</b>					
Coffey et al. <sup>[17]</sup>	10	42	1 min cold: 2 min hot	5	Start cold, end hot
Cote et al. <sup>[18]</sup>	10–15	39–41	1 min cold: 3 min hot	4	Start hot, end hot
Hamlin and Magson <sup>[19]</sup>	8–10	38	1 min cold: 1 min hot	3	Start cold, end hot
Hamlin and Sheen <sup>[20]</sup>	8–10	38	1 min cold: 1 min hot	3	Start cold, end hot
Higgins and Kaminski <sup>[21]</sup>	15	40	10 min hot, then 1 min cold: 4 min hot	5	Start hot, end cold
Kuligowski et al. <sup>[22]</sup>	13	39	3 min hot: 1 min cold	6	Start hot, end cold
Sanders <sup>[16]</sup>	15	38	3.5 min hot: 30 sec cold	3	Start hot, end cold
Vaile et al. <sup>[23]</sup>	8–10	40–42	1 min cold: 2 min hot	5	Start cold, end hot
<b>Text</b>					
Briggs <sup>[24]</sup>	10–15	NA	3 min hot: 1 min cold	5 ×/h	Start hot, end cold
Brukner and Khan <sup>[13]</sup>	15	40	4 min hot: 1 min cold	3–7	Start hot, end cold
Clover <sup>[25]</sup>	13–18	38–43	4 min hot: 1 min cold	15–20 min	
Walsh <sup>[26]</sup>	10–18	38–44	10 min hot, then 1 min cold: 4 min hot	30 min total	Start hot, end hot
Zuluaga et al. <sup>[27]</sup>	NA	45	3 min hot: 1 min cold	NA	Start cold, end cold
NA = data not available.					

Taula 5: Diferents protocols de banys de contrast. Extret de Wilcock IM, 2006. Sports Medicine.

En atletes ben entrenats, la immersió en aigua després d'una sessió d'exercici, s'ha demostrat que és efectiva com a estratègia per a la millora en el rendiment de l'entrenament del dia següent (Crampton et al., 2011; King & Duffield, 2009; Vaile et al., 2008b), després del seu ús com a mesura habitual en dies consecutius (Crampton et al., 2011; Rowsell, Coutts, Reaburn, & Hill-Haas, 2009; Vaile et al., 2008b) i com a recuperador en la realització d'exercici en ambients calorosos (Crampton et al., 2011; Peiffer, Abbiss, Nosaka, Peake, & Laursen, 2009; Peiffer, Abbiss, Watson, Nosaka, & Laursen, 2010a, 2010b; Vaile et al., 2008a). Tot i això, aquests estudis, sempre realitzats fins a un màxim de 15 min després de l'exercici inicial, fan ús de protocols diferents, i per tant els resultats obtinguts no en són comparables (Crampton et al., 2011).

Els diferents efectes fisiològics que s'atribueixen a l'ús de la teràpia de contrast per a la millora de la recuperació post fatiga són:

- Variacions en el flux sanguini: que depenen del greix corporal de l'individu (Fiscus et al., 2005; Myrer et al., 1994; Myrer et al., 1997; Wilcock et al., 2006a).
- Augment de la neteja del lactat format: gràcies al bombeig produït pel cicle de vasodilatació - vasoconstricció (Cochrane, 2004; Wilcock et al., 2006a).
- Reducció de la inflamació i de l'edema: gràcies al cicle de vasodilatació - vasoconstricció i a l'estimulació de la circulació (Fiscus et al., 2005; Prentice, 1999; Wilcock et al., 2006a).
- Canvis en la temperatura intramuscular: degut a l'augment progressiu de la temperatura (Barnett, 2006; Higgins & Kaminski, 1998; Lehman et al., 1974; Myrer et al., 1994; Vaile et al., 2007).
- Disminució de la rigidesa i el dolor (Cochrane, 2004; Myrer et al., 1994; Vaile et al., 2007; Wilcock et al., 2006a).
- Augment del rang de moviment (ROM) i disminució dels cruiximents (DOMS) (Cochrane, 2004; Crampton et al., 2011; Myrer et al., 1994; Vaile et al., 2007; Vaile et al., 2008c; Wilcock et al., 2006a).

Tot i aquestes troballes, alguns autors defensen que no és possible que es produeixi dit mecanisme de bombeig, ja que els capil·lars limfàtics no disposen de musculatura

llisa a les seves parets (Denegar, 2000; Wilcock et al., 2006a) i per tant, aquest augment en la neteja del lactat i la disminució de la inflamació i de l'edema es podria explicar mitjançant la pròpia pressió hidrostàtica que actua pel simple fet d'introduir un cos en immersió (Cote et al., 1988; Wilcock et al., 2006a).

Altres defensen que la gran troballa radica en que la teràpia de contrast és capaç d'imitar els mecanismes atribuïts a la recuperació activa, però sense fer ús de les demandes energètiques d'aquesta (Cochrane, 2004; Crampton et al., 2011).

Finalment, al igual que succeeix amb l'ús de l'aigua calenta i l'aigua freda, hi ha alguns autors que han volgut conèixer la influència de la teràpia de contrast sobre les qualitats físiques i les habilitats motrius realitzades després de dita immersió. Alguns d'ells són (Taula 6):

- (Vaile & Gill, 2003; Vaile et al., 2007): amb l'ús de la teràpia de contrast es recuperen els paràmetres basals del pic isomètric de força a les 72 hores i a més es registra un augment menor i una ràpida reducció del diàmetre de la cuixa (el que associen a la reducció de l'edema), en comparació amb la recuperació passiva. Tot i així, no són capaços de discernir si és fruit del contrast o de la pròpia pressió hidrostàtica.
- (Sanders, 1996): no existeixen diferències significatives entre les tres modalitats de recuperació plantejades (teràpia de contrast, recuperació passiva i recuperació activa) després d'un exercici curt, però de màxima intensitat. Conclou que les exposicions curtes a temperatures alternades (contrast fred - calor) no semblen causar grans canvis fisiològics intramusculars.
- (Coffey, Leveritt, & Gill, 2004): plantejament de tres estratègies de recuperació després de dos intents de carrera consecutius al 120% i al 90% de la velocitat aeròbica màxima (recuperació passiva, recuperació activa i teràpia de contrast). No existeixen diferències significatives ni en els temps de carrera ni en el pic de potència. L'autor explica que el segon bloc de treball pot estar influenciat per la percepció de fatiga de l'individu i el poc temps de descans entre els dos blocs, però ho justifica amb la similitud en els entrenaments i competicions.
- (Kinugasa & Kilding, 2009): fa un pas més enllà i combina diferents estratègies de recuperació, és a dir, teràpia de contrast seguit de recuperació activa, per exemple.

Les conclusions que extreu són que una combinació d'estratègies no té uns efectes significativament superiors a l'ús d'una sola estratègia, en el rendiment físic després d'un partit de futbol. Tot i així, conclou que els efectes positius en la percepció de recuperació per part dels joves futbolistes, en són molt beneficiosos quan es realitza l'estratègia combinada.

Author	Subjects	Study design	Exercise	Recovery modes	Outcome measures	Main findings
Clarke <sup>28</sup>	30 men	X-over	2 x 2 min maximal hand grip	Passive, hot water, cold water (all for 10 min)	Hand MVIC	No significant performance change.
Coffey et al <sup>10</sup>	14 highly active men	X-over	2 sets of treadmill sprints (120% and 90% PRS)	Passive, active jogging, contrast therapy (both for 15 min)	Sprint times, critical power, RPErec, BLA	No differences in time or power between recovery modes (ES = 0 to 0.17). ↓ RPErec with contrast therapy. ↓ BLA recovery with passive recovery.
Burke et al <sup>29</sup>	21 women, 24 men	RCT	5 days of isometric strength training	Control, hot water, cold water (all for 10 min)	Hip-extension MVIC	All groups ↑ strength. Cold group had a MVIC ↑ that was twice that of the control (ES = 0.7) or hot group (ES = 0.7).
Laue and Wenger <sup>42</sup>	10 men	X-over	2 x intermittent cycle sprints	Passive recovery, active cycling, cold water, massage (all for 15 min)	Total work	↓ Total work after passive recovery. No change with active recovery (ES = -0.02) or immersion (ES = 0.02).
Sanders <sup>11</sup>	14 male state-level hockey players	X-over	2 x cycle Wingate test	Passive, active cycling contrast therapy (all for 12 min)	Total work, mean power, power decline, peak power, BLA, RPE	No performance difference between recovery modes. RPE lower at all times for immersion. Active and contrast-therapy BLA lower during recovery and posttest.
Vaile and Gill <sup>7</sup>	9 female and 4 male social athletes	X-over	DOMS-inducing leg press	Passive, contrast therapy (both for 15 min)	Squat MVIC, weighted jump squat, VAS score, thigh volume	Greater reduction in MVIC and jumping power with passive recovery (ES > 0.33) than with contrast therapy. Immersion thigh volume increased less with contrast therapy.
Viitasalo et al <sup>17</sup>	6 female and 8 male national track-and-field athletes	X-over	5 strength-power sessions in 3 days	Passive, warm-water immersion (after evening trainings, 20 min)	Leg-extension MVIC, drop jumps, rebound jumps, VAS score	No significant MVIC benefit using water immersion (ES = -0.12 to 0.67). ↓ Power output and ↑ contact time in rebound jumps (ES = 0.37 to 0.68) when no water recovery was used.

Taula 6: Quadre de diferents autors que fan ús de la immersió en aigua freda, calenta o contrast i analitzen la seva influència sobre qualitats físiques i/o habilitats. Extret de Wilcock IM, 2006.

Precisament la percepció de fatiga per part dels esportistes és un dels aspectes més interessants en la recuperació post fatiga, tot i que existeix poca evidència científica pel que fa a l'ús de la immersió, ja sigui freda, calenta o de contrast i la millora d'aquesta percepció. En aquesta línia, sembla ser que la teràpia de contrast pot esdevenir eficaç a l'hora de reduir la percepció de fatiga per part dels atletes, de manera més efectiva que la recuperació passiva o la recuperació activa (Coffey et al., 2004; Kinugasa & Kilding, 2009; Vaile et al., 2007).

Tot i així, continua existint un buit en la revisió sistemàtica per tal d'identificar els temps d'immersió, la temperatura emprada en fred i en calor, la freqüència i el ràtio de contrast més adequats. En les darreres investigacions, sembla ser que es tendeix a pensar en ràtios petites de fred – calor (que s'acostin a 1:1), com aquelles més efectives en la restauració del rendiment post fatiga (Crampton et al., 2011).

#### **2.1.1.4. Efectes fisiològics derivats de les propietats físiques i temps d'immersió:**

La investigació sobre la immersió en aigua com a estratègia de recuperació, ha emprat temps que van dels 6 als 20 min (Coffey et al., 2004; Halson et al., 2008; Hamlin & Magson, 2002; Hamlin & Sheen, 2004; Vaile & Gill, 2003; Wilcock et al., 2006a). Pel que fa a la investigació sobre rendiment, els temps d'immersió varien de 15 a 20 min (Brukner & Khan, 2001; Crampton et al., 2011; Wilcock et al., 2006a), en canvi en el camp, els temps emprats poden arribar a ser de 30s, depenent de la capacitat individual de l'esportista per suportar el desconfort de la temperatura (Wilcock et al., 2006a).

Veiem doncs, que al igual que succeeix amb la temperatura, els temps d'immersió emprats són variats i no existeix un consens en decidir quins són els que produeixen un major benefici per a l'atleta. Tanmateix, figuren dues línies ben diferenciades, els temps "in vitro" i els temps "in vivo", que, a dia d'avui, semblen difícils de compaginar.

En termes generals, les bases teòriques de l'aigua descriuen els efectes sobre la musculatura estriada en funció del temps d'immersió (Kemoun et al., 2006; Perez Fernández, 2005; Vinyes, 2004):

- Curta durada: les aplicacions d'aigua freda o molt calenta, actuen de forma estimulant, **elevant el to muscular**, així com l'excitabilitat dels nervis que innerven aquests músculs (nervis motors), millorant el rendiment o capacitat de treball muscular.

- Llarga durada: el bany complet calent actua **relaxant i disminuint el to** i l'excitabilitat muscular, mentre que les aplicacions fredes aconseguen una **disminució de l'excitabilitat muscular**, especialment en temperatures progressivament descendents.

Pel que fa a les propietats físiques, les que més ens interessin per a la redacció d'aquesta tesi, són les relacionades directament per la simple immersió del cos dins l'aigua, és a dir, estem parlant de les propietats físiques hidrostàtiques. D'aquestes, prenen gran interès la pressió hidrostàtica, la flotació o força d'empenta i un concepte mecànic relacionat com és la profunditat.

La pressió hidrostàtica pot ser la responsable de provocar el desplaçament de fluids des de les extremitats fins a la cavitat central (Barbosa, Garrido, & Bragada, 2007; Wilcock et al., 2006a). Aquest desplaçament pot causar:

- Augment de la despesa cardíaca
- Reducció de la resistència perifèrica
- Augment de l'habilitat del cos per al transport de substrats

A aquests fenòmens, s'ha de sumar l'efecte antigravitatori sobre el sistema múscul esquelètic provocat per la flotació o força d'empenta, que pot ser responsable de la reducció en la percepció de fatiga i el manteniment d'energia auxiliar, gràcies a la relaxació dels músculs gravitacionals i la seva flexibilització (Kemoun et al., 2006; Wilcock et al., 2006a).

L'altre aspecte a destacar i a estudiar és la profunditat a la qual es realitza la immersió, ja que té una relació directe amb l'efecte de la pressió hidrostàtica. Com ja hem



explicat en el capítol 1, la pressió hidrostàtica és una força que actua perpendicular al cos immers i que augmenta amb la profunditat. Una dada significativa és que per cada cm de profunditat d'immersió, la pressió augmenta 0.74 mm de Hg, i és la responsable de l'augment del volum sistòlic (Wilcock et al., 2006a).

L'increment en el volum central de sang es produeix a partir de dos fenòmens: l'hemodilució (per l'augment del procés de difusió i reabsorció) i el desplaçament de la sang (Barbosa et al., 2007; Wilcock et al., 2006a). Durant la immersió a nivell de maluc, la pressió hidrostàtica provoca el desplaçament dels fluids des de les extremitats fins a la regió toràcica. Mentre que en la immersió a nivell del coll (amb el cap fora de l'aigua) la pressió hidrostàtica en la cavitat central disminueix el volum residual d'aire dels pulmons, augmentant el desplaçament de fluids dins del tòrax (Belton et al., 2007; Chevutshi, Dengremont, Lensel, & Thevenon, 2007; Collot & Griveaux, 2007; Kemoun et al., 2006; Wilcock et al., 2006a). Precisament són el moviment d'aquests fluids i la minimització del temps de transport que millora la neteja de detritus, el que pot fer millorar la capacitat de l'esportista per recuperar-se de l'exercici (Wilcock et al., 2006a).

Ja hem vist en els apartats anteriors la importància que pren la percepció de la fatiga en l'àmbit del rendiment. Aquest aspecte és important perquè la disminució en la percepció de fatiga, pot reduir les respostes neurològiques entre un 11 – 35% en la immersió en aigua (Pöyhönen, Keskinen, Hautala, Savolainen, & Mälkiä, 1999). La immersió pot modificar els processos perifèrics relacionats amb la contracció i canviar els mecanismes de contracció nerviosa i/o desencadenar mecanismes inhibitoris. Això explicaria el fet que la percepció de fatiga es pot veure influenciada per la reducció de l'activitat neuromuscular necessària per mantenir la postura o bé pels mecanismes de reducció en la transmissió neural (Pöyhönen & Avela, 2002).

Per tant, fisiològicament parlant, la pressió hidrostàtica sembla ser el mecanisme per excel·lència que influeix i beneficia en la recuperació post fatiga. Tot i que existeixen nombrosos aspectes que cal tenir en compte com la temperatura, el temps d'immersió (que com a mínim hauria de ser de 10 min (Cochrane, 2004; Crampton et al., 2011;

Vaile et al., 2007; Wilcock et al., 2006a), el tipus i la intensitat d'exercici realitzat prèviament, el temps entre l'esforç i la mesura de recuperació... entre altres i que, com ja hem indicat anteriorment, semblen poc estudiats.

No hem d'oblidar que quan parlem de rendiment, les estratègies de recuperació, són igualment importants si són capaces de mantenir el rendiment (Kinugasa & Kilding, 2009).

Per finalitzar aquest apartat, m'agradaria resumir les troballes descrites en la revisió bibliogràfica realitzada per a la redacció d'aquesta tesi. La immersió en aigua pot tenir una influència psicològica directa en la reducció de la fatiga post esforç. Si bé la temperatura pot influenciar sobre la percepció d'aquesta recuperació, també és cert que els extrems poden afavorir l'aparició de contraindicacions, pel que la gama de temperatura més segura d'aplicació se situaria en la termoneutral (Crampton et al., 2011; Wilcock et al., 2006a, 2006b).

Després d'una aplicació repetida d'estímuls tèrmics durant llarg temps, s'arriba a produir un canvi progressiu en la reacció vegetativa de l'individu basat en una adaptació funcional, per acomodació adaptació, a l'estímul repetit. En aquest fenomen es basen les cures d'hidroteràpia, tant en l'aplicació de l'aigua freda, com calenta (Taula 7).

	Frió	Calor
Sistema vascular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vasoconstricció.</li> <li>• Disminució de la circulació.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vasodilatació.</li> <li>• Aumento de la circulació.</li> </ul>
Presión sanguínea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuida.</li> </ul>
Corazón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bradicardia.</li> <li>• Disminució del volumen sistòlic.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taquicardia.</li> <li>• Aumento del volumen sistòlic.</li> </ul>
Sangre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta su concentració.</li> <li>• Aumenta su viscosidad.</li> <li>• Leucocitosis.</li> <li>• Aumenta la glucemia.</li> <li>• Aumenta el tiempo de coagulación.</li> <li>• Baja su pH (tendencia a la acidosis).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta su dilución.</li> <li>• Disminuye su viscosidad.</li> <li>• Leucocitosis general.</li> <li>• Disminuye la glucemia.</li> <li>• Disminuye el tiempo de coagulación.</li> <li>• Sube su pH (tendencia a la alcalosis).</li> </ul>
Respiración	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspiración profunda inicial, luego hay polipnea.</li> <li>• Aumenta la tensión alveolar del CO<sub>2</sub>, a medida que desciende la temperatura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspiración profunda si el estímulo es breve; luego hay polipnea.</li> <li>• Disminuye la tensión alveolar del CO<sub>2</sub> por la polipnea.</li> </ul>
Aparato urinario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la diuresis.</li> <li>• Reacción ácida.</li> <li>• Aumento de amoniaco.</li> <li>• Aumenta el ácido úrico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta también la diuresis.</li> <li>• Reacción alcalina.</li> <li>• Disminuye el amoniaco.</li> <li>• Disminuye el ácido úrico. Aumentan urea y creatinina.</li> </ul>
Piel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta su resistencia eléctrica.</li> <li>• Vasoconstricción cutánea (llega menos sangre a la piel).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuye su resistencia eléctrica.</li> <li>• Vasodilatación cutánea (aumenta el riego sanguíneo de la piel).</li> </ul>
Músculos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta el rendimiento y suprime la fatiga, en estímulos breves.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortalece y hace desaparecer la fatiga, en estímulos breves.</li> </ul>
Sistema nervioso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estímulos prolongados disminuyen la potencia (favorecen la relajación muscular).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contractura muscular. Relajación muscular. Disminuye la sensibilidad, cuando la aplicación es prolongada.</li> </ul>
Sistema nervioso vegetativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta el tono simpático.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta el tono parasimpático.</li> </ul>
Metabolismo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la velocidad de las reacciones metabólicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuye la velocidad de las reacciones metabólicas.</li> </ul>

Taula 7: Efectes de l'aplicació de fred o calor sobre diferents sistemes.  
Extret de Belloch V, Zaragoza R, Caballé C, 1972.

### **2.1.2. Contraindicacions:**

Al igual que succeeix amb les indicacions per al treball dins l'aigua, quan parlem de contraindicacions, cal tenir molt present la valoració prèvia de l'individu per poder prendre una decisió. Quan parlem de contraindicacions, s'ha de diferenciar entre dos tipus:

- Absolutes: aquelles en que sota cap concepte es pot realitzar una sessió d'hidroteràpia – hidrocinesiteràpia.
- Relatives: aquelles en que depenent de la situació i la valoració del professional, pot ser motiu o no per poder realitzar una sessió de d'hidroteràpia – hidrocinesiteràpia. Cal tenir algunes consideracions a l'hora de pautar una sessió.

És important saber que segons la valoració que el professional farà de l'individu i el tipus d'instal·lació i logística que ens trobem, una mateixa contraindicació relativa pot esdevenir absoluta, o bé, no ser una contraindicació (Mur et al., 2012).

Vegem a continuació els dos tipus de contraindicació (Chevutschi, Dengremont, Lensel, Pardessus, et al., 2007; Collot & Griveaux, 2007; Duffield, 1985; Esnault, 1991; Grossiord & Held, 1981; Kemoun et al., 2006; Mur et al., 2012; Pazos & Gonzalez, 2002):

#### **Absolutes:**

→ Generals: les complicacions infeccioses poden produir un risc de contaminació de l'aigua i de transmissió a la resta d'usuaris:

- Fístules cutànies
- Ferida oberta, escares infectades
- Micosi cutània
- Conjuntivitis viral

- Infeccions urinàries
- Infeccions d'oïda, nas i gola (ex.: otitis, amigdalitis, sinusitis, bronquitis)

La incontinència fecal o urinària és una contraindicació, tot i que alguns autors consideren que la incontinència urinària no constitueix una contraindicació, sinó més aviat un aspecte psicològic. Per tant, estaria a cavall entre les contraindicacions absolutes i relatives.

→ Vasculars i respiratòries:

- Insuficiència respiratòria severa
- Úlceres varicoses
- Coronopaties inestables que comportin angines de repetició
- Insuficiències cardíques majors, no tractades medicament
- Hipertensions arterials severes i inestables
- Hipotensions arterials

→ Lligades a l'estat del pacient:

- Malalties agudes amb febre, astènia i hiperalgèsia (ex.: grip, malaltia intestinal, bronquitis, brots reumàtics inflamatoris)
- Lesions cutànies no infectades (ex.: ferida mal curada, úlcera, èczema)
- Malalties neurològiques o neuromusculars avançades on existeixi una incontinència o astènia pronunciada (ex.: miopaties)
- Càncer, quan tenen una localització oberta a la pell o les membranes mucoses (pel possible agreujament degut a la maceració o per la seva infecció que podria contaminar l'aigua).
- Tuberculosi.
- Infecció de sarna, polls
- Vòmits
- Cremades greus
- Menstruació sense protecció interna
- Ruptura prematura de la membrana placentària durant l'embaràs
- Presència d'un catèter intravenós

- Estat general molt deficient
- Astènia intensa

**Relatives:**

- Hipersensibilitat als agents de neteja desinfectants
- Al·lèrgia al iode que contenen les piscines d'aigua de mar
- Alguns tipus d'hipertiroïdisme
- Trastorns de la termoregulació (intolerància a la calor, sovint causada pel medicament Ditropan)
- Estats febrils
- Patologies cardiovasculars perifèriques: la insuficiència circulatòria de retorn i les venes varicoses de les extremitats inferiors sovint s'han considerat una contraindicació per una tolerància a la calor deficitària. Per contra, sembla ser que la pressió hidrostàtica, i el treball muscular realitzat durant la sessió, tenen un efecte beneficiós sobre el retorn venós
- Epilèpsia
- Disfàgia
- Perforació de la membrana timpànica
- Trastorns cardíacs no documentats
- Augment del risc d'infeccions en persones immunodeprimides
- Ús d'una bossa de colostomia
- Hidrofòbia: alguns individus experimenten "pànic" a la immersió (sovint per no saber nedar), o bé un excessiu pudor a l'exhibició en vestit de bany. L'experiència demostra que aquestes denegacions rarament són definitives.

La talla pot representar una contraindicació en el cas d'una sessió d'hidrocinesiteràpia basada en exercicis amb recolzament de peus al terra. S'hauria de comptar aproximadament amb 20 cm més que la profunditat del vas.

# **Tensiomiografia**

***“El treball del pensament s’assembla a la perforació d’un pou:  
l’aigua és tèrbola al principi, més després, es clarifica”***

**(Proverbi xinès)**

### **3.1. El to muscular**

Existeixen diverses maneres de definir el to muscular. Segons Paolo Raimondi (Raimondi, 1999) el to muscular és la condició de tensió activa del múscul en estat de repòs, que es desenvolupa sota el control del SNC.

Boris Dolto (Dolto, 1995), el defineix com aquella lleugera tensió en la que es troba permanentment tot múscul esquelètic normal, que no estigui directament relacionat amb la activitat específica, és a dir, mentre es troba en repòs.

Per Dale Purves (Purves, 2008), es tracta del nivell de tensió en repòs d'un múscul. Afirmar que mantenir un nivell apropiat de to muscular, permet que el múscul sigui capaç de respondre, de manera òptima, a un comandament voluntari o reflexe en un context donat.

Més recentment, Philippe Souchard (Souchard, 2012), el defineix com l'estat de contracció dels músculs, independentment de la seva longitud, de les condicions de la contracció o de la posició en l'espai dels segments en els quals s'inserten. Per tant, podem dir que es tracta de l'estat de contracció-tensió dels músculs en el moment de l'estudi – avaluació del mateix.

Existeixen dos sistemes de control del to muscular, que treballen de forma sinèrgica (Latash & Jaric, 1998):

- El que depèn d'una ordre directa: provoca el moviment
- El que depèn d'una ordre indirecta: modula el sistema motor



Diversos estudis dels últims temps, defensen que el to neuromuscular no depèn únicament del reflex miotàtic directe monosinàptic (Davidoff, 1992), sinó que es produeixen activacions paral·leles de vies medul·lars i supraespinals (Fig.17).

D'aquí sorgeix la idea de que el to desenvolupa un paper de feedback, per una banda en el manteniment postural, i per l'altra en les activitats motrius (Gurfinkel, Lipshits, & Popov, 1974).

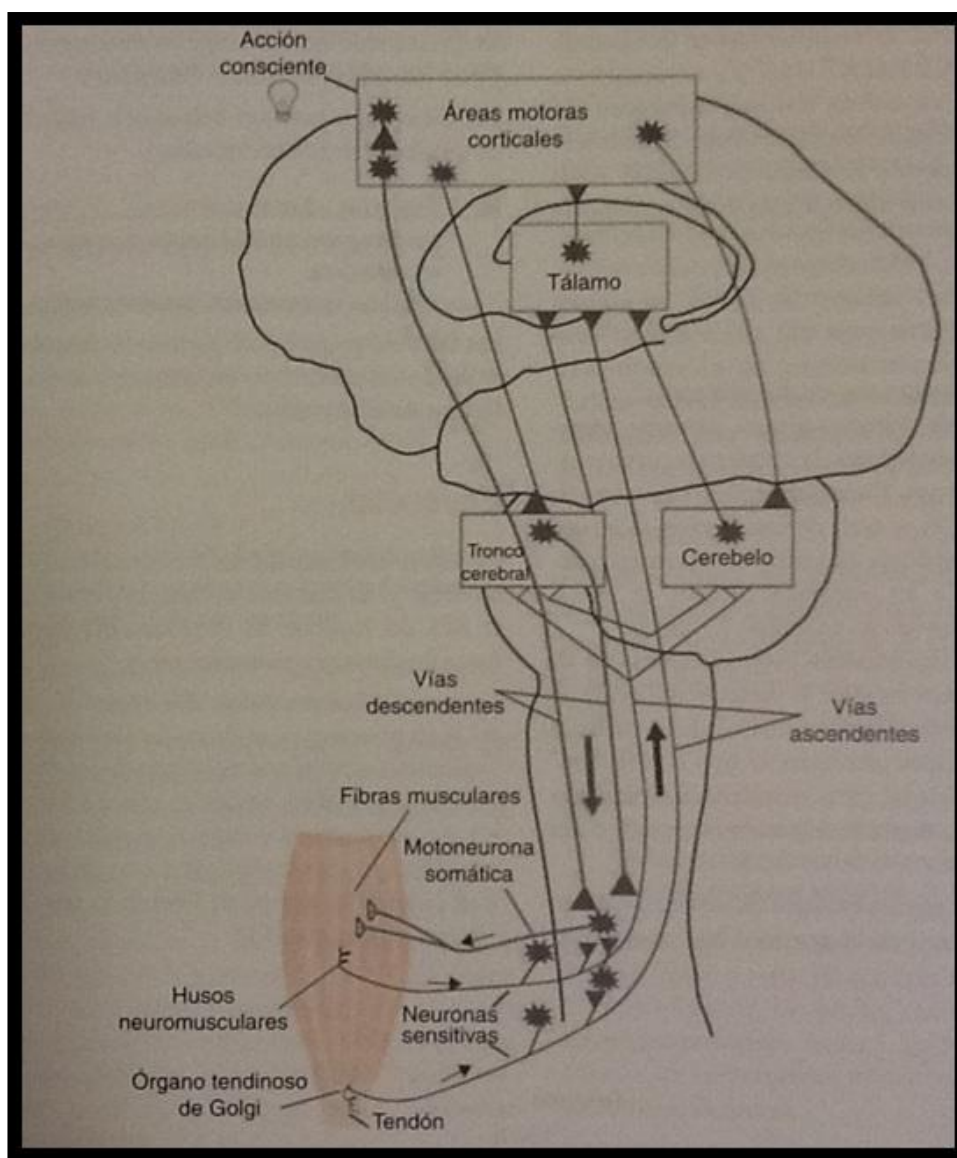


Fig. 17: Vies aferents i eferents medul·lars i supraespinals. Imatge extreta de Souchart P,

Per tant, podríem dir que el to és la condició necessària pel funcionament del conjunt del sistema neuromuscular. Està relacionat amb l'activitat dels fusos neuromusculars; és de caràcter reflex i de control supramedullar. Les modulacions del to, depenen dels missatges provinents del cerebel i de la medulla espinal. Aquests reflexes medullars són de caràcter propioceptiu i nociceptiu, podent ésser de diferent tipus (Souchard, 2012):

- Monosinàptic: reflex miotàtic directe o reflex d'estirament (stretch reflex); té el seu origen en els fusos neuromusculars.
- Bisinàptic: reflex miotàtic invers (reflex tendinós); s'origina en els òrgans tendinosos de Golgi.
- Polisinàptic: s'origina a les fibres nervioses A  $\Delta$ , que es troben en el teixit conjuntiu llis.

El to muscular s'avalua mitjançant la resistència que troba l'examinador al moure passivament un segment (Basmajian & De Luca, 1985). Les alteracions del to poden ser:

1. Espasticitat: la resistència al moviment passiu augmenta a mesura que augmenta la velocitat d'aquest moviment.
2. Rigidesa: la resistència és independent de la velocitat del moviment.
3. Contraccions d'oposició: resistència cada cop major per part del pacient, que és incapaç relaxar el segment.
4. Hipotonia: resistència insuficient. En l'adult es pot observar en la son fisiològica, el coma i associada a una atàxia (Souchard, 2012). En les parèsies musculars, la hipotonia crònica implica al sistema nerviós perifèric (Maertens de Noordhout et al., 1992).

El to muscular, doncs, és una de les característiques indissociables del múscul, que ens pot donar informació sobre l'estat muscular de la persona i el seu potencial actiu, no en va a major o menor hipo / hipertonia, l'acció activa es podrà desenvolupar amb més o menys èxit.

### **3.2. Avaluació del to muscular**

Existeixen diverses formes de mesurar el to muscular en l'individu. En la valoració fisioterapèutica, s'usen els registres (entesos com a mètode de recollida de dades sistematitzada i validada internacionalment), que es desenvolupen a través de les escales de valoració.

Seguint les recomanacions de la ICF (International Classification of Functioning, Disability and Health) que la OMS (Organització Mundial de la Salut) va aprovar al maig de 2001 (resolució WHA 54.21) podem observar que s'estableix un llenguatge de consens i enteniment entre les diferents professions sanitàries, tractant el pacient des d'una perspectiva holística.

És l'especialitat de fisioteràpia neurològica la que desenvolupa més extensament els registres en el to muscular, ja que en patologia neurològica el to es veu alterat, produint deficiències tals com la hipotonia, hipertonia i l'espasticitat neuromuscular.

Des d'aquesta disciplina, i seguint les recomanacions de la ICF, es proposen dos tipus de valoració:

- Qualitativa: l'examinador palpa la musculatura, observant el trofisme de la pell, l'estat muscular, la temperatura, la congruència en el moviment passiu i ho enregistra sistemàticament en un full de valoració (Taula 8).
- Quantitativa: trobem dos tipus d'escales d'ampli ús, sobretot en pacients amb paràlisi cerebral, com són l'Escala d'espasticitat d'Ashworth modificada (Bohannon & Smith, 1986) i l'escala del to abductor dels malucs (Snow et al., 1990) (Taula 9 i 10).

## EVALUACIÓN DEL TONO MUSCULAR:

## CUALITATIVA

Palpación	
Movilización pasiva	
Exploración reflejos profundos	<b>Cumplimentar en tabla específica</b>

Taula 8: Exemple de registre qualitatiu. Extret de Registres en fisioteràpia neurològica. Postgrau de Fisioteràpia Neurològica Blanquerna 08-09.

La manipulació dels músculs en diferents condicions de tonicitat pot subministrar informació útil (Downie, 2001):

- El múscul atònic es palpa amb falta d'elasticitat, tou i atrofiat.
- El múscul hipotònic se sent tou, però no amb una veritable falta d'elasticitat; generalment es troba molt atrofiat.
- El múscul espàstic se sent tibant i dur, sobretot al ser estirat lleugerament. El seu tendó es pot palpar ressaltat sobre la resta d'estructures toves.
- Els músculs que presenten rigidesa se senten sòlids i els membres semblen de plom al ser mobilitzats.

## Registro: ESCALA MODIFICADA DE ASHWORT

0	Tono normal. No incremento del tono muscular
1	Ligero incremento del tono, detectable al final el recorrido articular
1+	Ligero incremento del tono, detectable en menos de la mitad del recorrido articular
2	Notable aumento del tono, detectable en casi todo el recorrido articular
3	Considerable aumento del tono, la movilización pasiva es difícil
4	Extremidades rígidas, en flexión o extensión

Taula 9: Exemple de registre quantitatiu. Extret de Registres en fisioteràpia neurològica. Postgrau de Fisioteràpia Neurològica Blanquerna 08-09

## Registro: ESCALA DEL TONO ADUCTOR DE LAS CADERAS

0	Sin aumento en el tono muscular
1	Tono aumentado, fácil abducción de las caderas a 90° por una persona
2	Abducción de las caderas a 90° por una persona con discreto esfuerzo
3	Abducción de las caderas a 90° por una persona con moderado esfuerzo
4	Se requiere de dos personas para lograr abducción de las caderas a 90°

Taula 10: Exemple de registre quantitatiu. Extret de Registres en fisioteràpia neurològica. Postgrau de Fisioteràpia Neurològica Blanquerna 08-09

Una escala de valor quantitativa perquè sigui útil ha de complir uns requisits (Wong, 2008):

- Ha de ser adequada al propòsit: tenint en compte la concepció holística que proposa la ICF.
- Validesa: mesura el que es vol mesurar.
- Sensibilitat: poder reflectir els canvis que es produeixen en la mesura que es registra.
- Fiabilitat: capacitat d'oferir la mateixa mesura independentment de l'observador.
- Comoditat: ha de ser breu i fàcil d'aplicar.
- Flexibilitat: aplicable en diferents malalties neurològiques.

Per una banda, cap de les escales compleix amb tots els requisits, ja que, generalment, l'escala depèn de la malaltia que avalua. Per altra banda, tot i ser escales validades, la percepció de l'examinador és subjectiva i difícilment quantificable.

### **3.3. Tensiomiografia (TMG)**

Fins el moment, les valoracions del to muscular presentades (qualitativa i quantitativa) estan dissenyades per la valoració d'un subjecte patològic, amb afectació neurològica, i sota l'experiència mèdica i fisioterapèutica. No és fins l'any 1996 que apareix en l'esport professional, una nova tècnica per a la mesura de diferents paràmetres del múscul esquelètic, anomenada Tensomiografia (TMG).

La història de la TMG s'inicia al 1983, dins del món de la rehabilitació en pacients amb distròfies i denervacions musculars. Entre el 1989 i el 1991, la recerca sobre el desenvolupament i perfeccionament de la tècnica s'intensifica i és al 1991, quan una gran quantitat de projectes d'investigació arriben als laboratoris.

El 1994, el Laboratory for Biomedical visualization and Muscle Biomechanics (de la University of Ljubljana), desenvolupa la tècnica i la perfecciona participant en diversos congressos i societats internacionals.

Finalment, és a l'any 1996, que apliquen els seus coneixements en la recerca de l'esport professional, col·laborant amb l'equip eslovè en la seva preparació per als JJOO de Sydney 2000 i Salt Lake 2002.

La TMG és una tècnica innovadora i senzilla que tracta de detectar i analitzar les propietats dels músculs superficials (Grabljevec, Burger, Kersevan, Valencic, & Marincek, 2005).

Els autors de referència exposen que es tracta d'un bon mètode, econòmic i senzill, comparat amb d'altres mètodes que també estudien les característiques del múscul (Valencic & Knez, 1997); expressen la seva satisfacció amb el mètode perquè creuen interessant la selectivitat a l'hora de triar el múscul a valorar, ja que d'altres mètodes mesuren les capacitats, però no poden ser tan específics, ja que mesuren l'acció general (intervenint, sovint en l'acció, agonistes-antagonistes) (Valencic V, Knez N, & B, 2001).

Aquesta capacitat per utilitzar diferents transductors per mesurar les respostes de diferents músculs o grups musculars, ofereix un alt grau d'objectivitat, necessari pel rigor científic (Djordjevič, Valencic, & Jurcic-Zlobec, 2001).

Es tracta, doncs, d'un mètode diagnòstic que funciona a través de l'observació dels paràmetres *temps y màxim desplaçament del múscul* durant la seva contracció, ja que parteix de l'observació de que quan un múscul es contrau, el seu ventre muscular s'esbomba (Dahmane, Valenčič, Knez, & Eržen, 2001).

Aquests paràmetres queden representats mitjançant la corba temps/desplaçament (Fig.18); i el seu propòsit és la monitorització continua de l'estat de les fibres musculars i la vigilància de la seva evolució (Valencic & Djordjevic, 2001).

L'aplicació de la tècnica es realitza mitjançant una proposta de protocol, on el subjecte es troba relaxat i en condició muscular isomètrica (Dahmane, Djordjevič, Šimunič, & Valenčič, 2005). Es tracta d'una tècnica que sotmet al múscul que volem explorar a un impuls elèctric que, mitjançant els paràmetres suficients, aconsegueix una contracció muscular involuntària, que evita la motivació extra del subjecte, fet que modificaria els resultats obtinguts (Dahmane et al., 2001).

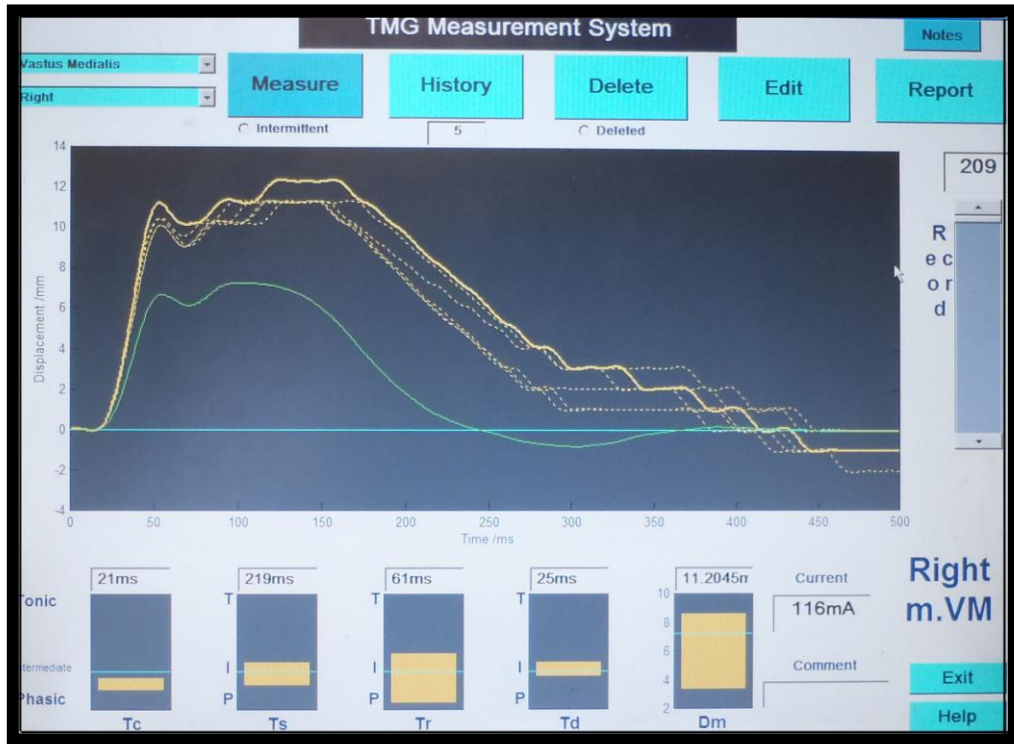


Fig. 18: Corba temps/desplaçament on l'eix horitzontal pertany al temps i el vertical al desplaçament. Imatge de l'autora

L'estímul elèctric és aplicat a partir de dos elèctrodes de tipus bipolar sobre la massa muscular; i al mateix temps, es col·loca un sensor de desplaçament (similar a un èmbol) que detecta la deformació del ventre muscular, que ve determinat per la guia de punts electromiogràfics (Delagi, Perotto, Lazzetti, & Morrison, 1975) i que es desplaça en funció del grau de contracció del mateix. La descàrrega elèctrica progressivament augmenta per tal d'assolir el màxim desplaçament del múscul (Dahmane et al., 2005) (Fig.19).



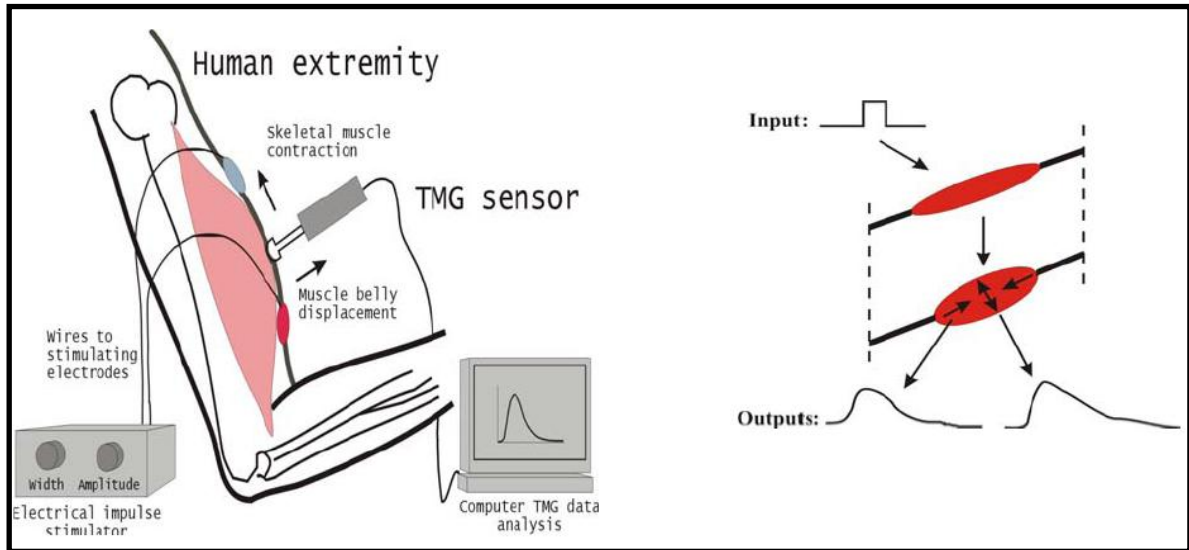


Fig. 19: Col·locació del sensor al centre del ventre muscular i resposta muscular a l'estímul elèctric. Imatge extreta de TMG-BMG.

El moviment de desplaçament és captat i computeritzat per un software informàtic, que representarà els resultats a la pantalla de l'ordinador en forma de gràfica, mitjançant la corba de resposta característica (corba desplaçament/temps) (Fig.20).

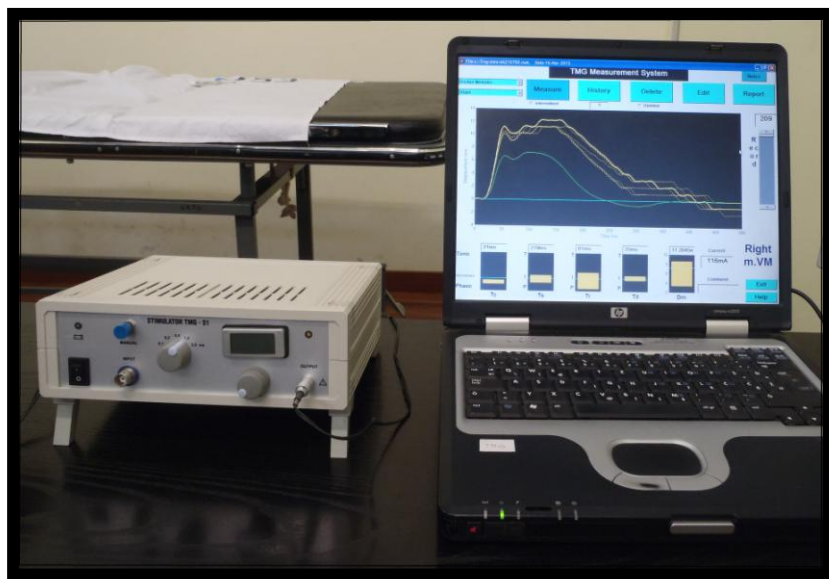


Fig. 20: Electroestimulador i software informàtic. Imatge de l'autora.

L'ús de la TMG, doncs, permet la monitorització continua de l'estat de les fibres musculars i la vigilància de la seva evolució per separat, cap a unes condicions de salut, allunyant-nos de la patologia. D'aquesta manera es pot prevenir el sobreentrenament i les possibles lesions derivades, al ser capaços de detectar la fatiga muscular. Per tant, permet optimitzar l'entrenament aportant informació rellevant a l'entrenador per planificar les sessions i la recuperació (Valencic & Djordjevic, 2001).

Els paràmetres obtinguts amb la TMG, que permeten graficar la contracció muscular són (Usach, 2012) (Fig.21):

- Temps de contracció (Tc): interval de temps entre el 10% del desplaçament màxim (Dm) i el 90% del Dm. Expressat en ms.
- Temps manteniment (Ts): interval de temps entre el 50% del Dm a l'últim 50% del Dm. Expressat en ms.
- Temps de relaxació (Tr): interval de temps entre el 90% del Dm i el 10% del Dm. Expressat en ms.
- Temps de retard (Td): interval de temps entre l'inici de la mesura (estímul) i el 10% del Dm. Expressat en ms.
- Desplaçament màxim (Dm): màxim desplaçament radial del ventre muscular al primer pic. Expressat en mm.

La precisió i la fiabilitat dels resultats obtinguts amb la TMG, ha estat estudiada (Dahmane et al., 2001; Zagar & Krizaj, 2005) manifestant que es tracta d'un mètode vàlid per la detecció de les propietats contràctils dels músculs, amb una variabilitat inferior al 5% (Grabljevec et al., 2005; Križaj, Šimunič, & Žagar, 2008) a partir del desplaçament radial del ventre muscular (Djordjevič et al., 2001).

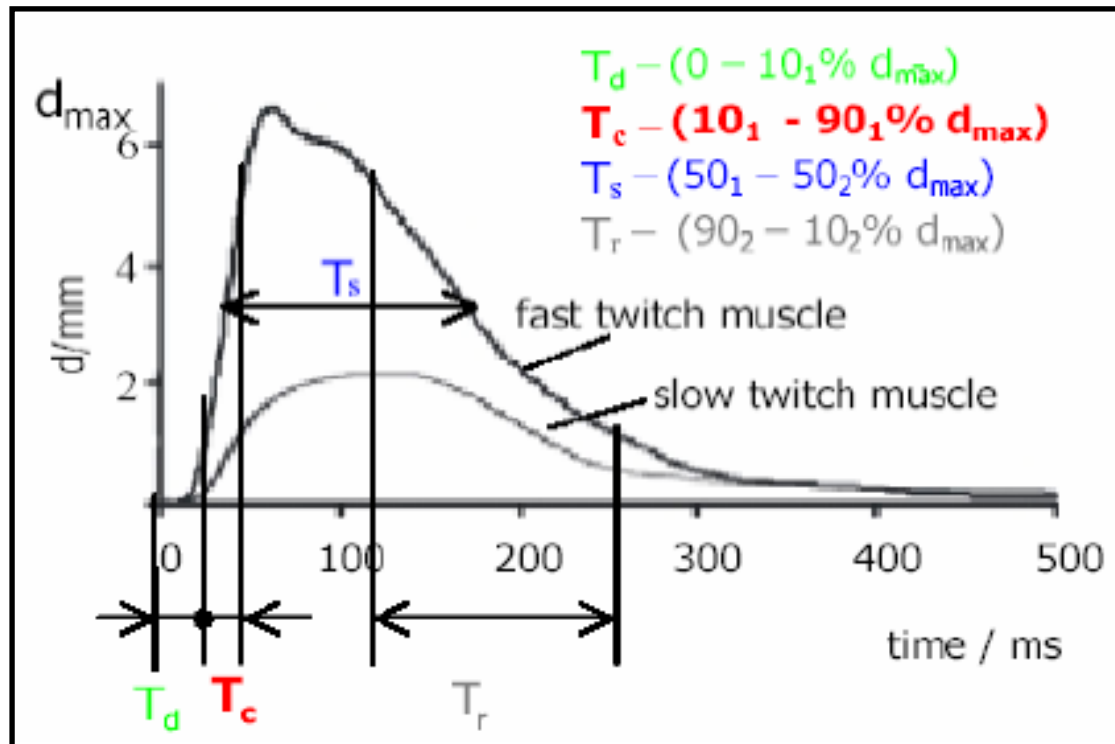


Fig. 21: Corba temps/desplaçament on es representen els cinc paràmetres que s'obtenen amb l'ús de la TMG. Imatge extreta de TMG-BMG.

Segons l'edat del subjecte, s'observen diferències significatives en el  $T_d$  i  $T_c$  (Dahmane et al., 2005). Els resultats exposats en l'estudi, mostren una tendència positiva que és difícil de detectar amb una tècnica no invasiva, mentre que la TMG sembla que sí ho aconsegueix.

Recentment, s'ha estudiat la validesa i reproductibilitat del sistema on es mostra que si la situació d'avaluació no varia, els resultats dels paràmetres tampoc (Tous-Fajardo et al., 2010). Per altra banda, el mateix estudi mostra diferències significatives en el paràmetre  $D_m$  en funció de la separació dels elèctrodes. Això mostra, que tot i ésser una tècnica molt fiable, cal ser molt curós en el protocol (García Manso JM et al., 2009).

La fiabilitat intra i inter observador també ha estat estudiada, mostrant uns ICCs de moderadament alts (0.73) a molt alts (0.98) quan ens referim a un mateix observador i de moderadament alts (0.77) a molt alts (0.97) quan ens referim a dos avaluadors (Tous-Fajardo et al., 2010).

Com ja hem exposat anteriorment, la TMG no mesura la força muscular directament (Dahmane et al., 2001), sinó en la presumpció de que el desplaçament radial del múscul és proporcional a la força del mateix (Valencic & Djordjevic, 2001). En el monitoratge de dades, prendrem els resultats del desplaçament muscular (on a més increment, menys to) en contracció isomètrica i durant el monitoratge la freqüència d'estimulació i l'amplitud es mantindran constants ( $d= 0.1$  ms i  $f_s= 5-20$  Hz) (Valencic & Knez, 1997).

Biomecànicament, existeix una relació entre el desplaçament del ventre muscular i el moment de força generat en l'articulació avaluada (Grabljevec et al., 2005). La correlació entre el desplaçament radial del ventre muscular i el moment de força generat, ha estat mesurada amb un braç mecànic, el que permet que el resultat no es vegi afectat per les propietats biomecàniques de les articulacions i tendons, i del propi braç mecànic (Dahmane et al., 2005; Valencic V et al., 2001).

D'altra banda, histoquímicament, existeix una correlació significativa entre el percentatge de fibres tipus I, aconseguit a partir de mètodes histoquímics de tipus invasiu i el temps de contracció ( $T_c$ ) obtingut mitjançant la TMG (Dahmane et al., 2001).

Finalment, si parlem neurofisiològicament, la comparació dels valors pic a pic de la ona-M, que s'obtenen mitjançant l'electromiografia (EMG) amb el desplaçament del ventre muscular, que s'obté mitjançant la TMG, mostra una relació lineal entre ambdós paràmetres (Kersevan, Valencic, Djordjevic, & Simunic, 2002).

Per desenvolupar la part experimental d'aquesta tesi, s'ha seguit el protocol incremental TMG, basat en una sèrie de mesures on s'augmenta progressivament la intensitat de la descàrrega (estímuls elèctrics aïllats d'un ms i separats entre sí per 10-15 s (Usach, 2012), en una situació isomètrica, per aconseguir la intensitat a la que es produeix la major resposta muscular (Tous-Fajardo et al., 2010). Com no sempre es dona la major resposta a la major intensitat, es realitza una pujada progressiva d'intensitat (de 10 mA en 10 mA) per poder detectar-la, i s'escull com a paràmetre indicador de la major resposta muscular, el desplaçament màxim del sensor (Usach, 2012).

Com es veurà en la part experimental, en el segon estudi, s'introdueix un nou paràmetre, la Velocitat de contracció (Vc) expressat en mm/ms, que se'n deriva de la fracció entre Dm i Tc. Aquesta incorporació es realitza perquè és un paràmetre que correlaciona amb l'aparició de fatiga (Moreno et al., 2008) i mostra una disminució significativa en la Vc quan apareix fatiga.

Així mateix, es relativitza tant el Dm com la Vc, per poder establir un punt de partida en la comparació de diferents subjectes. Aquesta relativització es fa a partir dels valors obtinguts de diàmetre antero – posterior del múscul mesurat, mitjançant una ecografia. Aquesta consideració es duu a terme, ja que una mateixa resposta en el Dm o Vc, en músculs de mides molt diferents, ha de simbolitzar també, coses diferents (Usach, 2012).

### **3.4. Nou aparellatge**

Recentment, ha aparegut al mercat un nou aparell per a la mesura del to muscular. La intenció d'aquesta tesi, no és la de realitzar una discussió profunda sobre el nou aparellatge existent, però sí s'ha cregut convenient fer un incís en les darreres innovacions que ofereix el mercat, a l'hora de valorar un dels objectes de la nostra investigació.

La tecnologia patentada del MyotonPro, permet realitzar una mesura ràpida i senzilla dels músculs esquelètics superficials i altres teixits tous. La seva eficàcia ha estat demostrada en els músculs bíceps i recte femoral i gastrocnemius amb uns ICC que van d'alts a molt alts (0.80 a 0.93); tot i que no succeeix així amb el vast lateral (0.40) (Bizinni & Mannion, 2003).

Es tracta d'un mètode no invasiu que mesura les propietats viscoelàstiques del múscul (Korhonen, Vain, Vannien, Viir, & Jurvelin, 2005). Permet la possibilitat de mesurar in vivo i simultàniament tres paràmetres (Viir, Laiho, Kramarenko, & Mikkelsen, 2006):

- la freqüència d'oscil·lació natural que caracteritza la tensió muscular
- la rigidesa (stiffness), entesa com la capacitat del múscul a resistir canvis en la seva deformació
- la disminució logarítmica de l'amortiment que caracteritza l'elasticitat del múscul, entesa com la capacitat del múscul per retornar a la seva forma inicial després de la contracció i / o deformació causada per forces externes

El dispositiu incorpora una sonda i un acceleròmetre. La sonda es manté perpendicular amb el seu extrem tocant el ventre del múscul, de la mateixa manera que en el protocol de la TMG (Fig.22).

L'impuls mecànic exercit sobre el múscul és de curta durada (15 ms) i consisteix en una força mecànica lleugera (fins a 0.6 N). Per tant, no causa la deformació mecànica residual ni reacció neurològica del múscul o teixit que s'està avaluant.

L'stiffness es calcula com una relació entre la força aplicada i la deformació muscular (Ditroilo, Hunter, Haslam, & De Vito, 2011).



Fig. 22: Myoton. Imatge extreta de [www.myoton.com](http://www.myoton.com)

### 3.5. Investigacions rellevants

En aquest apartat es pretén fer un breu comentari sobre aquelles investigacions realitzades amb TMG que ens semblen més rellevants per a la redacció d'aquesta tesi:

- *Tous-Fajardo J, Moras G, Rodríguez-Jiménez S, Usach R, Moreno D, Maffioletti N. (2010). Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. Journal of electromyography and kinesiology. 20 (4): 761-766.*

L'estudi tracta d'aprofundir en tota la metodologia a seguir a l'hora de realitzar un protocol de mesures amb TMG. Especialment es fa incís en l'habilitat i fiabilitat dels diferents avaluadors per estandarditzar paràmetres com la col·locació del sensor, la pressió inicial d'aquest i la col·locació dels elèctrodes, especialment si s'han de situar diverses vegades, mesurat sobre el vast intern del quàdriceps.

S'estudia la fiabilitat dels cinc paràmetres obtinguts a través de la TMG (Dm, Tc, Td, Tr i Ts) amb uns resultats obtinguts d'ICC de 0.77 – 0.97. Cal destacar que el Dm obté un interval de confiança de 0.92 – 0.99, mentre que els paràmetres derivats del temps presenten uns resultats més baixos, essent el Tr l'únic que presenta una gran variabilitat, tant en les mesures preses pel propi avaluador, com entre avaluadors.

Aquest és un estudi destacable per la preparació d'aquesta tesi, ja que ha servit de guia a l'hora de reproduir el protocol de presa de mesures amb TMG de la part experimental. S'ha fet ús tant del protocol incremental (de 30 a 110 mA), com del procediment (incloent la ubicació dels elèctrodes), proposats en l'elaboració d'aquest article.

- *Moreno D, Usach R. (2007). Ús de la tensiomiografia com a detector de la fatiga muscular. Docusport, la revista. 15. Primavera 2008. Any VI. 26*

Ressenya publicada a la revista del Col·legi de Llicenciats en Educació Física i Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport de Catalunya que descriu la TMG com una bona tècnica per detectar la fatiga muscular aguda.

En el mateix, s'observa un descens en el paràmetre Dm mesurat en el vast intern del quàdriceps ( $2.62 \pm 1.97$  mm), després de realitzar un protocol que indueix a la fatiga aguda d'aquest grup muscular. Els resultats es comparen amb el grup muscular control, l'altre vast intern de l'individu valorat i que no ha realitzat el protocol d'inducció a la fatiga, el qual obté uns resultats de  $0.53 \pm 1.28$  mm.

Els resultats obtinguts en aquest estudi, serveixen per emmarcar el protocol de fatiga i la seva mesura mitjançant TMG, que es duu a terme en un dels estudis de la part experimental d'aquesta tesi.



- *Moreno D, Usach R, Busquets A, Benítez A, Carrasco M, Irurtia A, Marina M, Padullés JM, Tarragó R, Vallejo L, Iglesias X. (2008). Tensiomyographic analysis of short-term muscular fatigue induced by specific training in fencing. 1st International Congress on Science and Technology in Fencing. Barcelona.*

Seguint amb la línia de la investigació anterior, els autors d'aquest article descriuen les troballes obtingudes en l'avaluació del Dm, del Tc i un nou paràmetre derivat dels anteriors, com és la velocitat de contracció (Vc) després d'una rutina d'entrenament en esgrimistes de diferents categories i modalitats.

S'estudien les influències i diferències en el Dm, Tc i Vc pel que fa a les categories (factor edat), sexe (homes i dones) i modalitats (espasa i sabre).

El gran interès d'aquest estudi per a la realització de la part experimental d'aquesta tesi, és la introducció d'un paràmetre nou (Vc), derivat dels paràmetres que s'obtenen directament amb la mesura del TMG (Dm i Tc). En aquest estudi s'observa un descens en la Vc molt significatiu ( $p \leq 0.01$ ) entre el basal i el post entrenament. Els autors conclouen doncs, que la fatiga influeix sobre la Vc.

- *García-Manso JM, Rodríguez-Matoso D, Rodríguez-Ruiz D, Sarmiento S, de Saa Y, Calderón J. (2011). Effect of cold-water immersion on skeletal muscle contractile properties in soccer players. American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation. 90: 356-363*

Probablement aquest és l'estudi més interessant per la redacció d'aquesta tesi. Sembla ser l'únic que mesura, a través de la TMG, els canvis en les propietats contràctils del múscul després de realitzar un protocol d'immersió en aigua freda.

Els autors d'aquest estudi plantegen un protocol d'immersió en aigua freda de tipus curt i intermitent (4 x 4 min a 4<sup>0</sup>) i registren el comportament del Dm, Tc, Td, Ts, Tr i Vc en el vast extern del quàdriceps.

Els resultats obtinguts evidencien diferències significatives entre els paràmetres basals i els mesurats després del protocol d'immersió en el Dm (descens del 28.9% i 34% en la tercera i quarta immersió respectivament), mentre que no existeixen diferències significatives per als paràmetres de Td, Tc, Ts i Tr (tot i que Ts i Tr augmenten amb les últimes exposicions, el que indicaria una dependència del temps d'exposició). Finalment, existeix un descens significatiu de la Vc, entre els paràmetres basals i la tercera immersió.

Com es veurà posteriorment en la part experimental, els resultats obtinguts en els estudis desenvolupats per a aquesta tesi, disten dels obtinguts en aquest estudi, possiblement per les diferències en el tipus de mostra, el grup muscular escollit, però sobretot, per les diferències en el plantejament de protocol.

Com es pot observar, existeix un gran buit en l'ús de la tensiomiografia per mesurar la resposta muscular després de processos d'immersió. L'ús d'aquesta tècnica, objectiva i no invasiva, ens pot permetre establir protocols tant de temps com de temperatura òptims per a utilitzar com a mitjans de recuperació post esforç; tot i així, els grans dubtes que encara existeixen, tant pel que fa a les immersions com pel que fa a la pròpia TMG, fan necessari continuar investigant en aquesta línia.

## **Part experimental**

**“El treball que un home desconegut ha fet, és com un rierol d’aigua que córrer ocult en el subsòl, secretament, fent verda la terra”**

**Thomas Carlyle 1795 – 1881**

**(historiador i crític social)**

Els dos estudis que es presenten a continuació s'exposen en format article. Tots dos tenen com a denominador comú, l'estudi del comportament muscular després d'un tractament d'immersió en aigua en funció de la temperatura d'aquesta, mesurats a través de la Tensiomiografia.

**Estudi 1:**

*Objectiu:* determinar com afecta la temperatura de l'aigua al desplaçament muscular i al temps de contracció després de 20 min d'immersió i mesurat amb Tensiomiografia.

*Hipòtesi:* la immersió en aigua influeix sobre el comportament muscular, però la temperatura de l'aigua presenta una cinètica de comportament diferent si és calenta, ja que farà disminuir el to muscular, o freda, ja que l'augmentarà.

## ABSTRACT

**Objectiu:** L'objectiu d'aquest estudi és determinar com afecta la temperatura de l'aigua sobre el Desplaçament Muscular i el Temps de contracció, després d'una immersió de 20 min, mesurat mitjançant la Tensiomiografia.

**Disseny:** Es va analitzar el desplaçament muscular i el temps de contracció del bíceps femoral de 12 subjectes sans i físicament actius, abans i immediatament després d'una immersió de 20 min en aigua freda o calenta i en els 10, 20, 30 i 40 min posteriors.

**Resultats:** S'han trobat diferències significatives en el Desplaçament Muscular i el Temps de contracció ( $p < 0,05$ ) en el factor temps i temperatura de l'aigua. Existeixen diferències significatives entre el Desplaçament Muscular basal i el post, 10, 30 i 40 min ( $p < 0,05$ ). Existeixen diferències significatives entre el Temps de Contracció basal i 30 min ( $p < 0,05$ ).

**Conclusions:** Aquest estudi mostra que la temperatura de l'aigua afecta al comportament de les propietats contràctils del múscul després d'una exposició de 20 min. El desplaçament muscular augmenta en el temps, essent més evident en l'aigua freda. El temps de contracció és més elevat en el post immediat en aigua freda i als 10 min en aigua calenta.

## PARAULES CLAU

Hidroteràpia, Tensiomiografia, crio hidroteràpia, termo hidroteràpia.

## INTRODUCCIÓ

L'ús de la hidroteràpia com a mesura de recuperació post esforç, és comú en l'àmbit de la fisioteràpia i la medicina de l'esport. La gran variabilitat que existeix en la seva forma d'aplicació (Fiscus et al., 2005; Higgins & Kaminski, 1998; Merrick, Rankin, Andress, & Hinman, 1991; Myrer et al., 1994), ha provocat en els darrers anys un augment en l'interès per conèixer la resposta fisiològica de l'individu a certs paràmetres biofisiològics (Cobos & Marin, 2008). Els estudis desenvolupats fins el moment, han investigat com afecta la temperatura de l'aigua sobre paràmetres fisiològics tals com la temperatura muscular, l'aparició de lactat, la presència de

creatina quinasa, la Freqüència cardíaca i la resposta hormonal, fent ús de protocols de temperatura i temps d'immersió diversos (Becker et al., 2009; Gill, Beaven, & Cook, 2006; Goodall & Howatson, 2008; Halson et al., 2008; Vaile et al., 2008a).

Tot i així, existeixen pocs estudis que analitzin la influència que té la hidroteràpia sobre les propietats contràctils dels grups musculars, el to muscular, el temps de reacció, de contracció i de relaxació. Recentment s'ha proposat l'estudi d'aquests paràmetres utilitzant un protocol de quatre immersions successives, de quatre minuts de durada cadascuna d'elles (García-Manso, Rodríguez-Matoso, et al., 2011). A finals del segle passat apareix una nova tecnologia per mesurar de forma objectiva el desplaçament muscular, la TMG. Aquesta tècnica, està basada en la quantificació dels desplaçaments radials del ventre muscular en resposta a un únic estímul elèctric (Valencic & Knez, 1997). La TMG registra els paràmetres temps i màxim desplaçament del múscul durant la seva contracció, representant-se mitjançant una corba de desplaçament/temps. Aquesta corba permet avaluar les propietats contràctils del múscul, a través de 5 variables: màxim desplaçament (Dm), temps de contracció (Tc), temps de retard (Td), temps de relaxació (Tr) i temps de la duració de la contracció (Ts); essent el Dm i Tc els més reproduïbles (Dahamane, 2001 i 2005; Krizaj, 2008).

En un dels últims treballs publicats en el camp de la TMG, s'examina la reproductibilitat d'aquesta tècnica en la seva aplicació al vast medial del quàdriceps (Tous-Fajardo et al., 2010). Els resultats mostren una bona reproductibilitat inter-avaluador en totes les variables, corresponent el millor registre al Dm (0,97) i el pitjor al Tr (0,77).

Existeix una gran variabilitat en l'aplicació dels protocols d'hidroteràpia (Cobos & Marin, 2008), tant en la determinació del temps d'immersió, como en la temperatura de l'aigua. No obstant, existeix un interès en la literatura científica en comprendre com es comporta el múscul en funció dels paràmetres temps d'immersió i temperatura de l'aigua. Per aquest motiu, el propòsit d'aquest estudi ha estat comparar l'evolució dels paràmetres Dm i Tc, mesurats mitjançant la tècnica TMG, de dos protocols d'immersió,

un en aigua freda i l'altre en aigua calenta. Els registres han estat presos al llarg de temps i fins els 40 min posteriors a la immersió.

## **DISSENY**

### **Subjectes**

Dotze subjectes homes sans que no haguessin patit una lesió en l'extremitat a valorar en els últims 6 mesos i físicament actius (10 h d'activitat física setmanal) van participar voluntàriament en el present estudi. Edat  $23 \pm 3$  anys; alçada  $1.81 \pm 0.08$ m; pes  $74.79 \pm 8.10$ kg; índex de massa corporal  $22.87 \pm 1.35$ ; perímetre mig mínim de l'extremitat inferior (EEII)  $51,69 \pm 2,95$ cm i perímetre mig màxim de l'EEII  $56.21 \pm 2.76$ cm. Tots els subjectes van ser informats sobre el procediment i els seus riscos abans de signar el consentiment escrit.

### **Material**

El desplaçament radial del bíceps femoral (BF) va ser valorat mitjançant TMG (GK 40, Panoptik d.o.o., Ljubjana, Slovenia), que incorpora un sensor de  $0.17\text{N mm}^{-1}$ . Es van utilitzar dos elèctrodes ( $4.5 \times 4.5$  cm, model RM 4545 Rehab Medic) i un estimulador TMG-S1 (EMF-Furlan i Co. d.o.o., Ljubljana, Slovenia). El tractament d'immersió aquàtica en aigua freda a  $10^{\circ} \pm 1^{\circ}$  i aigua calenta a  $42^{\circ} \pm 1^{\circ}$  es va realitzar en una banyera de massatge subaquàtic model Jamaica 131 de  $2.00 \times 0.85 \times 0.73$ m d'ample, llarg i profunditat i capacitat de 250 l. La banyera incorpora entrada d'aigua calenta i d'aigua freda.

### **Entrenament de l'avaluador**

L'avaluador es va entrenar amb un expert durant un mes, a raó de tres sessions per setmana. Durant aquest temps, es va familiaritzar amb la correcta manipulació i col·locació del sensor del tensiomiògraf i el protocol de medicació. Durant l'última setmana es va realitzar una sèrie de 10 valoracions repetides a una dona sana, que no

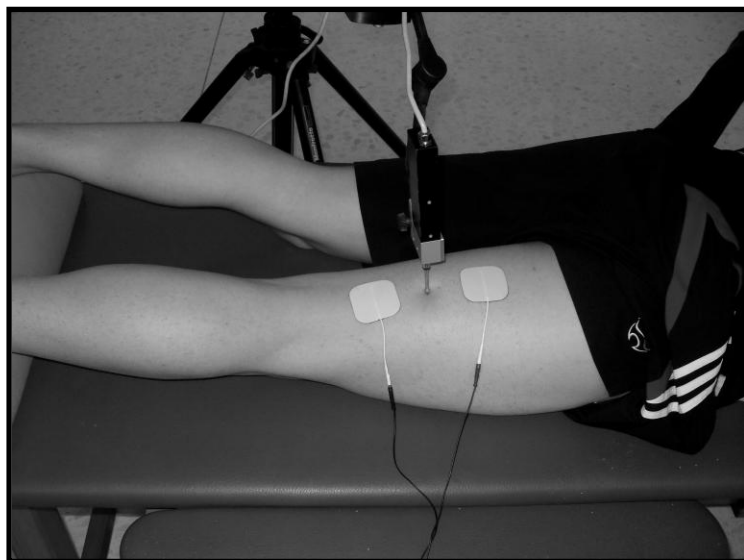
va participar, posteriorment, en l'estudi. En cadascun dels test, els avaluadors van realitzar tot el protocol en el mateix dia sense coincidir en cap moment en la mateixa sala. Es va comprovar la fiabilitat inter-observador mitjançant la ANOVA de mesures repetides.

### **Protocol**

El desplaçament radial del bíceps femoral va ser valorat en repòs, amb el subjecte situat en decúbit pro i el genoll de la cama dominant semi flexionada a 20° (0° graus corresponen a l'extensió total de genoll). Es va utilitzar un coixí terapèutic situat a l'articulació del turmell per mantenir la flexió de genoll. El sensor de TMG es va situar perpendicular al ventre muscular del BF. La localització del sensor es va marcar amb un llapis dermatològic seguint referències anatòmiques (Delagi et al., 1975). Així mateix, els elèctrodes es van situar a cada costat del sensor amb una separació inter elèctrodes de 6 cm, prèvia senyalització de la seva localització amb un llapis dermatològic.

El procediment utilitzat per a la presa de dades va ser el proposat per Tous (Tous-Fajardo et al., 2010). El protocol de medicació es va iniciar a una intensitat de 50 mA, incrementant-se successivament a raó de 10 mA cada 10 s fins arribar a la intensitat màxima (10 mA). El subjecte no va ser avisat en cap cas del moment de la descàrrega (Fig. 1).





*Fig. 1: subjecte en decúbit pro amb la flexió de genoll a 20° de la cama dominant.  
Situació del sensor perpendicular al ventre muscular i separació inter elèctrodes de 6 cm.*

El tractament en aigua es va realitzar amb el subjecte en sedestació dins la banyera de massatge subaquàtic amb l'aigua a nivell de la quarta vèrtebra lumbar. Es va demanar al subjecte que situés l'esquena recolzada al respall, amb els braços situats fora de la banyera i relaxats. El subjecte va romandre amb els genolls estirats, però sense notar tensió en la cadena posterior, assegurant una completa relaxació de l'EEII (Fig. 2). El control de la temperatura de l'aigua es va realitzar mitjançant un termòmetre aquàtic. El manteniment de la temperatura de l'aigua freda es va aconseguir mitjançant un sistema de refrigeració constant.



*Fig. 2: Banyera d'immersió. Situació del subjecte en sedestació amb l'esquena recolzada al respall, els braços recolzats fora i els genolls semi flexionats.*

Es van realitzar dos protocols de medició consecutius amb el tensiomiògraf, deixant-se 5 min de descans entre ells, dels quals es va obtenir la presa basal de les variables d'interès. Posteriorment, el subjecte, aleatòriament va realitzar la immersió en aigua freda (10°) o calenta (42°), durant 20 min, en els quals es va mantenir relaxat i sense parlar. Immediatament després del temps de tractament, es va realitzar una primera avaluació tensiomiogràfica (post immediat). Aquesta avaluació no va superar, en cap cas, 1 min post immersió. A continuació, es va procedir a successives avaluacions cada 10 min, fins arribar als 40 min posteriors del final de la immersió. Entre avaluacions, el subjecte es va mantenir en repòs assegut sobre el banc i tapat amb barnús i dessuadora. Per al correcte desenvolupament de l'estudi, es va demanar als subjectes que no realitzessin activitat física que induís a la fatiga durant les 24 h prèvies a la participació en el mateix, així com no prendre substàncies de tipus excitants. Durant el tractament, el subjecte no podia ingerir menjar ni hidratar-se, fins la finalització del registre complet de dades.

## Anàlisi estadístic

Es van obtenir els estadístics descriptius mitjana, mediana, desviació típica màxima i mínima per les variables quantitatives de l'estudi (Dm i Tc) i taules de freqüències per les variables qualitatives de l'estudi (Temps i Temperatura). Es va comprovar la normalitat de les variables mitjançant la prova de Shapiro Wilk. Es va realitzar una ANOVA d'un factor per avaluar la relació entre les variables Dm i Tc amb les variables explicatives Temperatura i Temps. A continuació, es va ajustar el model ANOVA de dos factors amb interacció (o model de regressió lineal múltiple) per mesurar la relació entre Dm i Tc amb les variables Temperatura, Temps i la interacció entre ambdues. Posteriorment, es van calcular les comparacions múltiples dos a dos amb la correcció de Tukey. La lectura, manipulació i validació de la base de dades i el posterior anàlisi estadístic, es va realitzar amb el programa SPSS v.15, IBM SPSS Statistics. Les decisions estadístiques es van prendre fixant com a nivell de significació el valor 0,05.

## RESULTATS

Es troben diferències en el Dm i Tc per al factor temps ( $p < 0.001$ ) i temperatura de l'aigua ( $p < 0.001$  i  $p < 0.05$  respectivament). Existeixen diferències significatives entre el Dm basal i el post, 10 min, 30 min i 40 min ( $p < 0.01$ ). Així mateix, existeixen diferències significatives entre el Tc basal i 30 min ( $p < 0.001$ ).

Existeix una relació lineal positiva entre el Dm i el Temps ( $r = 0,203$ ) i la Temperatura ( $r = 0,530$ ). Al mateix temps, no existeix correlació significativa entre el Tc i el Temps i la Temperatura. Regressió per al Dm ( $R = 0,013$ ) significativa en la interacció temps-temperatura. Les regressions per al Tc no són significatives ( $R = 0,205$ ).

## DISCUSSIÓ

L'originalitat del present estudi es troba en l'ús de la TMG per mesurar els efectes aguts en les variables desplaçament muscular i temps de contracció muscular,

després de l'aplicació de dos protocols d'hidroteràpia. A més a més, s'analitza l'evolució d'aquests paràmetres durant els 10, 20, 30 i 40 min posteriors a la immersió.

Sota el nostre coneixement, només existeix un estudi que analitzi els efectes del tractament mitjançant hidroteràpia sobre les variables Dm i Tc mesurades a partir del mètode tensiomiogràfic. Concretament, el treball de García Manso (García-Manso, Rodríguez-Matoso, et al., 2011), tenia per objectiu analitzar els canvis en la resposta muscular del vast lateral del quàdriceps, després de diverses immersions en aigua freda. Els resultats obtinguts en aquest estudi mostren una disminució del Dm en un 9.8%, 22.3%, 28.9% i 34%, després de les quatre primeres immersions de quatre minuts, encara que únicament en les dues últimes es van trobar diferències significatives. Pel que fa al comportament del Tc, es va produir un augment, no significatiu, del 1.6%, 8.1% i 9% després de la primera, tercera i quarta immersió, mentre que en la segona immersió es va trobar un descens del 2.6%. En canvi, en la present investigació, es va observar un descens significatiu en els valors de Dm de 0.05%, 18.05% i 13.05% en el post immediat, 10 i 20 min posteriors a la immersió, i un augment, també significatiu, de 0.17% i 10.11% als 30 i 40 min posteriors a la immersió. Tanmateix, el Tc va augmentar un 13.6%, 12.08%, 4.23%, 18.13% i 22.36% en el post immediat, 10, 20, 30, i 40 min posteriors a la immersió. Les diferències trobades entre ambdós treballs pot tenir part de la seva explicació en els diferents rangs de temperatura emprats (4° en el primer i 10° i 42° en el present) i als protocols aplicats, essent en el nostre cas d'exposició llarga i continua i curta i intermitent en l'estudi anterior (Fig. 3 i 4).

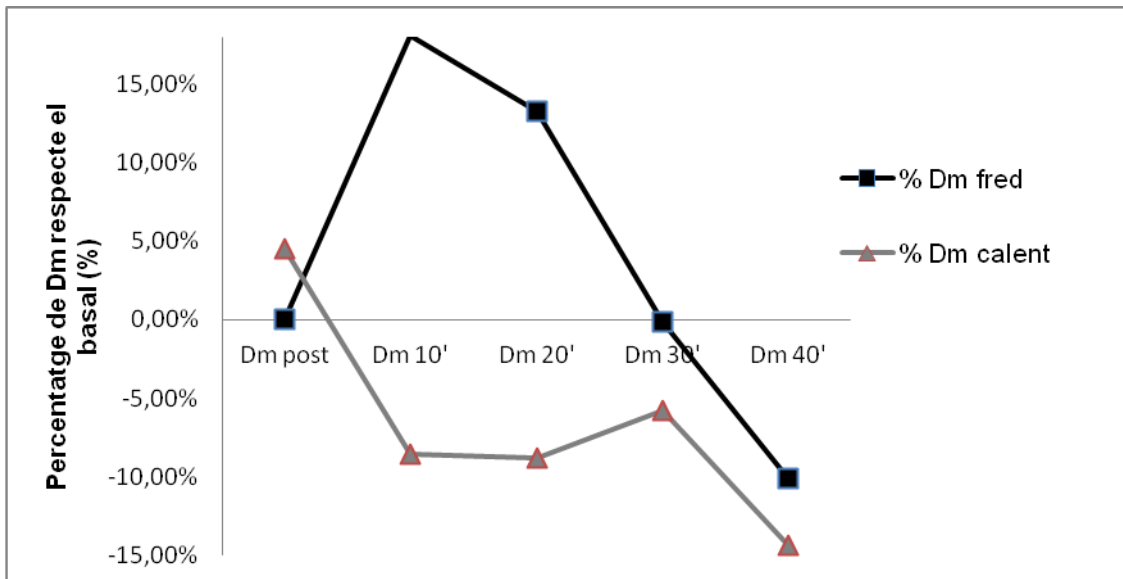


Fig. 3: Percentatge de Dm després de la immersió respecte els paràmetres basals. Dm post; Desplaçament muscular immediatament després de la immersió. Dm 10'; Desplaçament muscular als 10 min de la immersió. Dm 20'; Desplaçament muscular als 20 min de la immersió. Dm 30'; Desplaçament muscular als 30 min de la immersió. Dm 40'; Desplaçament muscular als 40 min de la immersió.

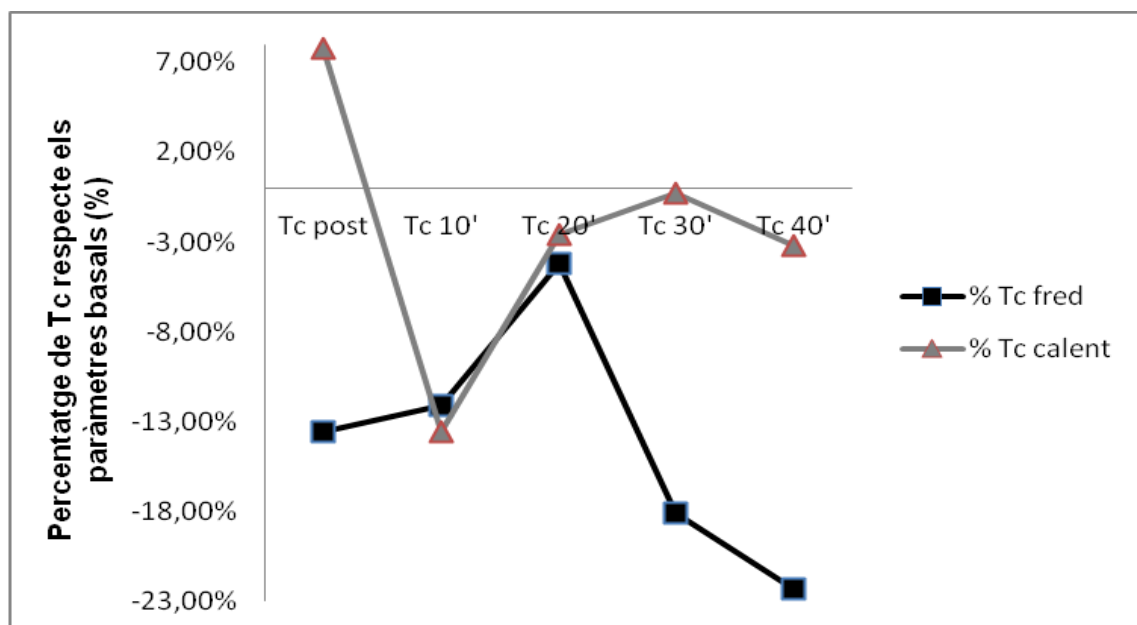


Fig. 4: Percentatge de Tc després de la immersió respecte els paràmetres basals. Tc post; Temps de contracció immediatament després de la immersió. Tc 10'; Temps de contracció als 10 min de la immersió. Tc 20'; Temps de contracció als 20 min de la immersió. Tc 30'; Temps de contracció als 30 min de la immersió. Tc 40'; Temps de contracció als 40 min de la immersió.

Els protocols d'hidroteràpia emprats fins el 2008, consistents en sèries d'immersió intermitents de 3 min (Halsón et al., 2008) ( $2^{\circ}$ ,  $8^{\circ}$ ,  $14^{\circ}$  i  $20^{\circ}$  durant  $8.8 \pm 4.5$  min,  $14.5 \pm 5.3$  min,  $17.3 \pm 4.5$  min i  $18.2 \pm 12.9$  min) per determinar els efectes que produeix sobre l'organisme el descens de la temperatura en atletes després d'un treball en ambient calorós, així com per conèixer les respostes terapèutiques als mateixos (Fiscus et al., 2005; Higgins & Kaminski, 1998; Merrick et al., 1991; Myrer et al., 1994), van resultar ser poc efectius. Aquesta constatació, ha obligat a en certa mesura a modificar la temperatura de l'aigua, així com els temps d'exposició, sense que encara avui en dia existeixi un consens en la literatura científica pel que fa a la correcta combinació d'aquests paràmetres (Cobos & Marin, 2008). Igualment, l'estudi citat anteriorment (García-Manso, Rodríguez-Matoso, et al., 2011) es basa en un protocol de quatre immersions de 4 min a  $4^{\circ}$ , pel que també s'allunya del protocol plantejat en aquest estudi, en el qual s'ha escollit un temps d'exposició significativament superior. Les temperatures seleccionades de  $10^{\circ}$  i  $42^{\circ}$ , es van escollir en base als rangs definits en la literatura especialitzada, en la qual es defineix com a temperatura indiferent els  $32^{\circ} - 35^{\circ} \pm 3^{\circ}$ , degut a que a temperatures superiors s'activen el nociceptors (Bachmann & Schleinkofer, 1998; Vinyes, 2004).

Sabem que l'aigua freda té un efecte analgèsic degut al mecanisme de vasodilatació secundària, a la disminució de l'excitabilitat de les terminacions nervioses i a l'augment del llindar del dolor; mentre que l'aigua calenta té uns efectes miorelaxants i antiinflamatoris (Bachmann & Schleinkofer, 1998; Collot & Griveaux, 2007; K Knight, 2000; Vinyes, 2004) ja que augmenta el llindar de sensibilitat dels nociceptors i disminueix la velocitat de conducció nerviosa, el que facilita l'alliberació d'endorfines i encefalines. Al mateix temps, l'aigua calenta disminueix el to muscular, facilitant la mobilització terapèutica. En definitiva, l'aigua calenta i la freda, actuant perllongadament sobre l'individu, determinen per mecanismes directes i reflexes, una disminució de la sensibilitat al dolor, de la contractura muscular i de la resposta inflamatòria (Bachmann & Schleinkofer, 1998; Collot & Griveaux, 2007; Vinyes, 2004). Els resultats observats en el present estudi, evidencien el que s'acaba d'exposar augmentant el Dm al llarg del temps; si bé, cal destacar, que els efectes després d'una immersió prolongada, no es detecten immediatament després de la immersió.

En aquest treball, a diferència del de García Manso (García-Manso, Rodríguez-Matoso, et al., 2011), s'analitzen les variables Dm i Tc en funció d'una altra variable explicativa com la Temperatura, manifestant-se una interacció positiva entre les mateixes. A més, es va comprovar com el Dm en aigua freda presenta una tendència a disminuir durant els 10 primers min posteriors al tractament, per augmentar poc a poc i assolir els seus valors màxims als 40 min post tractament. Sorprenentment, el l'aigua calenta el Dm disminueix en el post immediat, probablement degut al contrast entre la temperatura de l'aigua i la temperatura ambient ( $24^{\circ} \pm 1^{\circ}$ ); augmentant a partir d'aquest moment fins els 40 min posteriors a la immersió, on s'observen els valors més elevats (Fig. 5). Els valors superiors de Dm trobats als 40 min post immersió, realcen una deformació radial muscular pròpia de músculs més relaxats o hipotònics. Aquests resultats concorden amb les troballes obtingudes en d'altres estudis, en que en aplicacions prolongades d'aigua freda o calenta, disminueix la tensió muscular (Bachmann & Schleinkofer, 1998; Collot & Griveaux, 2007; Vinyes, 2004), trobant una major relaxació als 40 min post immersió.

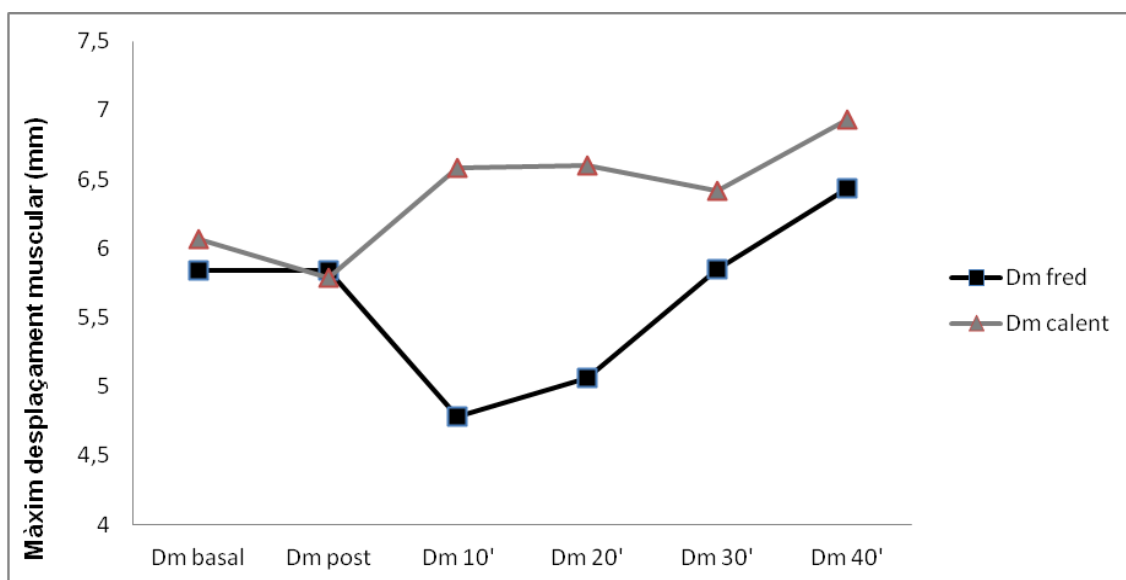


Fig. 5: Comportament del Dm fred i calent al llarg del temps. Dm basal; Desplaçament muscular basal. Dm post; Desplaçament muscular immediatament després de la immersió. Dm 10'; Desplaçament muscular als 10 min de la immersió. Dm 20'; Desplaçament muscular als 20 min de la immersió. Dm 30'; Desplaçament muscular als 30 min de la immersió. Dm 40'; Desplaçament muscular als 40 min de la immersió.

Per altra banda, observem que el Tc en aigua freda és més elevat en el post immediat, el que significa que és necessari més temps per assolir el 90% de la contracció màxima, el que es podria relacionar amb un múscul més lent. En canvi, als 20 min, s'obtenen valors de Tc menors als del post immediat, els quals augmenten novament als 40 min; ambdós resultats, als 20 i als 40 min, continuen essent encara inferiors als valors basals. Per contra, en l'aigua calenta, es produeix una disminució del Tc en el post immediat. Un Tc menor, ens indica que és necessari un temps menor per realitzar la contracció, el que pot significar una velocitat de contracció superior. Posteriorment, els valors de Tc augmenten als 10, 20, 30 i 40 min post immersió, essent sempre superiors als valors basals i aconseguint el seu màxim valor als 10 min post tractament (Fig. 6).

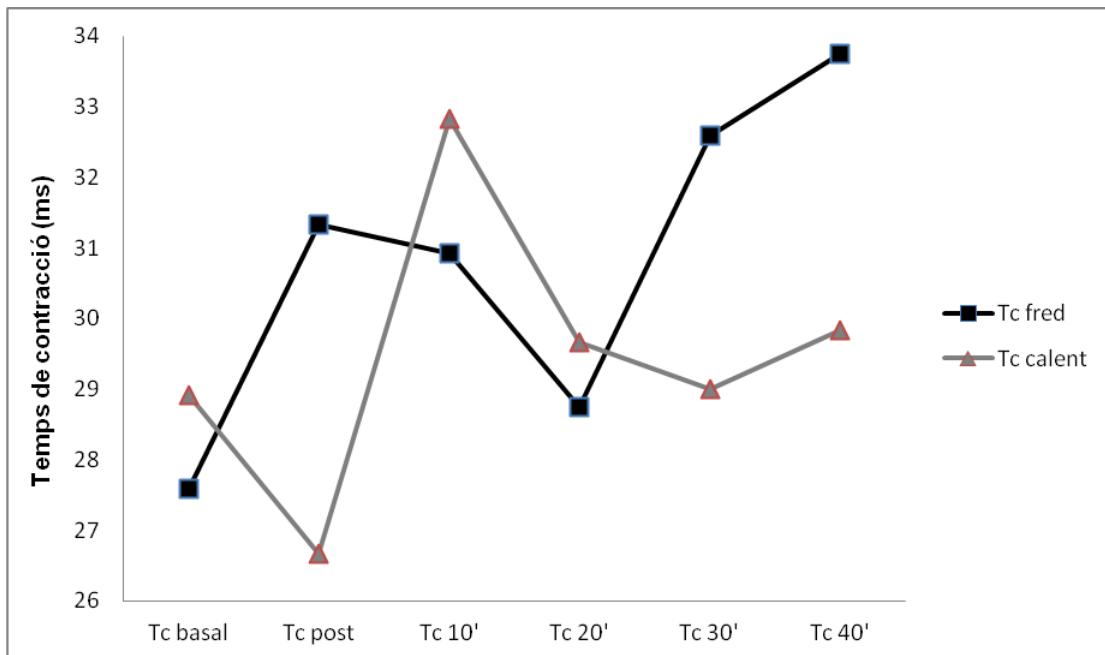


Fig. 6: Comportament del Tc fred i calent al llarg del temps. Tc basal; Temps de contracció basal. Tc post; Temps de contracció immediatament després de la immersió. Tc 10'; Temps de contracció als 10 min de la immersió. Tc 20'; Temps de contracció als 20 min de la immersió. Tc 30'; Temps de contracció als 30 min de la immersió. Tc 40'; Temps de contracció als 40 min de la immersió.



Aquests aspectes, haurien de tenir-se en compte en aquelles disciplines esportives on siguin necessàries velocitats de contracció més elevades, ja que s'haurà de pautar l'aplicació d'aigua freda o aigua calenta, en funció de la necessitat immediata de l'esportista. Aquests resultats concorden amb els obtinguts en estudis anteriors on s'ha observat un augment de la força del 58% en immersió freda i del 26% en calenta al mesurar la contracció màxima voluntària (Burke et al., 2003); un increment de la capacitat de repetir un protocol d'esforços màxims intermitents a les 24 h en un 11% ± 19% amb la immersió freda (Lane & Wenger, 2004); l'ús de calor superficial mitjançant la immersió pot augmentar la transmissió neural (Cotts et al., 2004), la propiocepció i millorar el temps de reacció (Burke et al., 2001). Tot i així, una reducció de la transmissió nerviosa deguda a la immersió en aigua freda, pot disminuir la velocitat contràctil del múscul i la capacitat de generar força d'un atleta després de l'aplicació, si l'exercici es dur a terme poc després de la immersió en fred (Wilcock et al., 2006a); a més, en el cas de la immersió calenta, existeix una falta d'investigació basada en la literatura sobre l'efecte que l'aplicació superficial de calor té sobre una persona (Wilcock et al., 2006a).

Existeix un buit científic en l'ús de la TMG per mesurar la resposta musculars a processos d'immersió. Els grans dubtes que encara existeixen al respecte, fan necessari continuar investigant en aquesta línia. L'ús d'aquesta tècnica objectiva i no invasiva, ens permetrà establir protocols de temps i temperatura òptims, per emprar com a mesura de recuperació post esforç.

Tanmateix, el control d'aquest paràmetres després de realitzar sessions de treball que indueixin a la fatiga, ens permetrà desenvolupar amb profunditat tant la TMG com l'aplicació adequada de la hidroteràpia, en funció de les necessitats de l'esportista.

Els resultats obtinguts, poden ser útils a l'hora de planificar i programar les sessions de recuperació post esforç o d'ajuda al rendiment, per evitar els possibles riscos derivats

dels efectes transitoris d'un múscul més rígid i/o més lent en funció de la temperatura emprada i el temps que transcorre després del tractament.

## **CONCLUSIONS**

La temperatura de l'aigua afecta al comportament de les propietats contràctils del múscul després d'una exposició de 20 min. El Dm post immersió obté el seu major increment als 40 min posteriors al tractament, essent més evident a l'aigua freda que a la calenta, mentre que els resultats de Tc més elevats es presenten en el post immediat en aigua freda i als 10 min en aigua calenta.

### **Estudi 2:**

**Objectiu:** comparar l'ús de la hidroteràpia com a estratègia de recuperació muscular post fatiga amb la recuperació passiva.

**Hipòtesi:** la temperatura de l'aigua influeix en la recuperació post fatiga, després d'un tractament d'immersió. La hidroteràpia recupera més ràpid els paràmetres basals que la recuperació passiva.

### **ABSTRACT**

**Objectiu:** l'objectiu d'aquest estudi és establir si la hidroteràpia és una mesura de recuperació adequada per restablir les propietats contràctils del múscul després d'un protocol d'inducció a la fatiga, mesurades mitjançant la tensiomiografia.

**Disseny:** es van analitzar el desplaçament muscular, el temps de contracció i la velocitat de contracció del vast medial del quàdriceps de 28 subjectes sans i físicament actius, abans i immediatament després d'un protocol d'inducció a la fatiga; posteriorment es va estudiar el seu comportament després de tres estratègies de recuperació de 15 min (aigua freda, aigua calenta o descans) i en els següents 15, 30, 45 i 60 min posteriors.

**Resultats:** es van trobar diferències significatives pel factor temps i temperatura en les variables desplaçament muscular, desplaçament muscular relatiu, velocitat de contracció i velocitat de contracció relativa ( $p < 0.05$ ). En el cas del temps de contracció existeixen diferències significatives en el factor temperatura ( $p < 0.005$ ), però no en el factor temps ( $p > 0.05$ ).

**Conclusions:** l'ús de la hidroteràpia per restablir els paràmetres basals després d'un protocol d'inducció a la fatiga és adequat. La temperatura de l'aigua, així com el temps de mesura posterior influeix en el comportament del to muscular.

#### **KEY WORDS**

Hidroteràpia, Estratègies de recuperació, Fatiga Muscular, Tensiomiografia

#### **INTRODUCCIÓ**

En l'actualitat, existeix un interès creixent en l'ús de la immersió tenint en compte el seu efecte sobre tots aquells aspectes relacionats amb la recuperació post exercici o post fatiga (Crampton et al., 2011). Són diversos els autors que han dissenyat diferents protocols per observar els efectes de l'aigua freda, calenta o banys de contrast (calenta - freda), com a estratègia de recuperació. Les diferents raons per les quals se suggereix l'aplicació de la immersió en aigua durant la recuperació són ben diverses: tractament de lesions de teixits tous (Bleakley et al., 2004; Cote et al., 1988), disminució dels factors associats amb el dolor muscular i micro lesions (Bailey et al., 2007; Sellwood et al., 2007; Vaile et al., 2008c), o bé per ajudar en la deposició dels metabòlits i la restauració dels sistemes fisiològics, com a mètode per retornar el cos a un estat de pre exercici en la preparació per a l'exercici següent (Barnett, 2006; Hing et al., 2008).

La TMG es presenta com una tècnica no invasiva i objectiva per mesurar les propietats contràctils del múscul (Dahmane et al., 2001; Valencic & Knez, 1997). Recentment es

proposa com a tècnica efectiva en la detecció de fatiga (Moreno & Usach, 2007; Moreno et al., 2008). Però existeixen pocs estudis que analitzin el comportament de les propietats contràctils del múscul després d'una immersió (García-Manso, Rodríguez-Matoso, et al., 2011) mitjançant la TMG i, encara menys, que analitzin la seva repercussió com a recuperadora de fatiga.

Tot i així, existeix un interès en la literatura científica de comprendre com influeix la hidroteràpia en el comportament muscular, en funció del temps i la temperatura d'immersió, ja que aquest és el principal afectat en l'activitat que indueix a la fatiga, responsable de la disminució del rendiment. És per aquesta raó, que hem plantejat un estudi que observi l'evolució del desplaçament muscular, el temps de contracció i la velocitat de contracció al llarg del temps fins els 60 min posteriors a la recuperació, comparant tres estratègies diferents: immersió en aigua freda, en aigua calenta o descans.

## **DISSENY**

### **Subjectes**

Vint i vuit subjectes homes sans, sense lesió de l'extremitat inferior a valorar en els darrers 6 mesos i físicament actius (10 h d'activitat física setmanal) van participar voluntàriament en el present estudi (SD: edat  $28\pm 5$ ; pes  $78.58\pm 5.7$ ; alçada  $180.98\pm 4.65$ ; índex de massa corporal  $23.19\pm 1.12$ ; perímetre mig mínim de l'extremitat inferior (EEII)  $47.90\pm 3.04$ ; perímetre mig màxim de la EEII  $62.89\pm 2.48$ ; gruix diàmetre antero – posterior del vast medial  $47.81\pm 4.03$ ). Tots els subjectes van

ser informats sobre el procediment i els seus possibles riscos abans de signar el consentiment escrit.

### **Material**

El desplaçament radial del vast medial del quàdriceps fou valorat mitjançant un tensiomiògraf model (GK 40, Panoptik d.o.o., Ljubljana, Slovenia), que incorpora un sensor de  $0.17\text{N mm}^{-1}$ . Es va fer servir un electroestimulador TMG-S1 (EMF-Furlan i Co. d.o.o., Ljubljana, Slovenia) i dos elèctrodes (4.5 x 4.5 cm, model RM 4545 Rehab Medic).

La recuperació post fatiga mitjançant hidroteràpia es va realitzar en una banyera de massatge subaquàtic model Jamaica 131 de 2.00 x 0.85 x 0.73m d'ample, llarg i profund i capacitat de 250 l. La banyera incorpora entrada d'aigua calenta i aigua freda per mantenir la temperatura de la immersió freda ( $15^{\circ}\pm 1^{\circ}$ ) i calenta ( $42^{\circ}\pm 1^{\circ}$ ).

El protocol d'inducció a la fatiga es va realitzar en una màquina d'extensió de quàdriceps model Element + de Technogym®.

### **Protocol**

Prèviament a l'inici de la investigació, es van prendre les mesures antropomètriques dels subjectes participants (pes, talla, perímetre mig mínim i màxim de l'EEII i índex de massa corporal). Altrament es va realitzar un estudi ecogràfic del vast medial del quàdriceps per poder establir el gruix antero – posterior del mateix, i poder relativitzar, en funció de cada individu, el desplaçament muscular (Dm) i la velocitat de contracció (Vc).

Paral·lelament es va determinar la 1RM de cada subjecte. A partir d'aquesta, es va realitzar un test al banc d'extensió de genoll que constava de: escalfament de 5-10 rep al 50% de RM, pausa d'1 min, treball de 3-5 repeticions al 80% de RM, pausa d'1 min, pujar pes per realitzar 8 repeticions seguint el ritme del metrònom, fins trobar la 8RM, que posteriorment es va fer servir per a executar el protocol d'inducció a la fatiga (Fig. 1).



Fig. 1: subjecte al banc d'extensió de genolls, realitzant el test per trobar de la 8RM.

El desplaçament radial del vast medial del quàdriceps es va valorar en repòs, amb el subjecte en decúbit supí i el genoll de l'extremitat a valorar flexionat a 30° (on 0° corresponen a l'extensió total de genoll). Es va utilitzar un coixí terapèutic situat sota el genoll per tal de poder mantenir dita flexió. El sensor del tensiomiògraf es va situar

perpendicular al centre del ventre muscular, seguint la referència anatòmica de Delagi (Delagi et al., 1975). Tant el punt de localització del sensor, com la situació dels elèctrodes, separats entre sí 6 cm, es van senyalitzar amb un llapis dermatològic.

El protocol d'inducció a la fatiga que constava de 5 sèries de 8 repeticions amb la 8 RM de cada individu i amb un descans de 3 min entre cada sèrie, es va dur a terme en el banc d'extensió de genoll. Les repeticions es van realitzar seguint un ritme preestablert a 60 Hz, mitjançant la utilització d'un metrònom.

La recuperació mitjançant la immersió es va dur a terme a la banyera subaquàtica, amb el subjecte en sedestació i amb un nivell d'immersió situat a la quarta vèrtebra lumbar. El subjecte es va situar amb l'esquena recolzada en el respall, els braços fora de la banyera i relaxats i els genolls estirats, però sense notar tensió en la cadena posterior, per garantir una completa relaxació de l'EEII. El control de la temperatura de l'aigua es va mesurar mitjançant termòmetre aquàtic i el manteniment de la temperatura de l'aigua freda es va efectuar mitjançant refrigeració constant.

La recuperació passiva es va dur a terme amb el subjecte situat en la mateixa posició que en la recuperació mitjançant la hidroteràpia, però amb l'esquena recolzada a la paret.

Per obtenir la presa basal de dades, es van realitzar dos protocols de medicació, separats entre sí per 5 min de descans i seguint el protocol de Tous (Tous-Fajardo et al., 2010) (Fig. 2).





Fig. 2: detall de la col·locació del sensor al ventre muscular del vast intern.

Posteriorment es va executar el protocol d'inducció a la fatiga que constava de 5 sèries de 8 repeticions amb la 8 RM de cada individu i amb un descans de 3 min entre cada sèrie. Les repeticions es van realitzar seguint un ritme de 60 Hz.

Immediatament després de finalitzar el protocol d'inducció a la fatiga, es va procedir a l'avaluació dels paràmetres mitjançant el tensiomiògraf. Un cop obtingudes les dades, el subjecte, de forma aleatòria, va seguir una estratègia de recuperació (immersió en aigua freda a 10°, en aigua calenta a 42° o recuperació passiva), durant 15 min, en els quals es va mantenir relaxat i en silenci. Immediatament després del temps de recuperació, es va procedir a realitzar la primera avaluació tensiomiogràfica (post recuperació immediat). Aquesta avaluació no va superar en cap cas el minut i mig post recuperació. A continuació es van realitzar diferents preses de dades cada 15 min fins als 60 min posteriors a la finalització de l'estratègia de recuperació. Entre avaluacions, el subjecte va romandre en repòs assegut sobre un banc i tapat amb una dessudadora.

Els subjectes van participar en l'estudi durant tres setmanes consecutives, sempre en el mateix dia de la setmana, per poder realitzar les tres estratègies de recuperació. Per al correcte desenvolupament de la investigació, es va demanar als subjectes que els dos dies previs al dia de valoració, realitzessin el mateix tipus d'activitat, així com no prendre substàncies excitants durant les 24 h prèvies. Durant el tractament, el subjecte no va poder ingerir menjar ni hidratar-se fins que no va finalitzar el registre complet de dades.

### **Anàlisi estadístic**

Es van obtenir els estadístics descriptius mitja, mitjana, desviació típica, màxim i mínim per a les variables quantitatives de l'estudi (Dm, Tc, Dmr, Vc i Vcr) i taules de freqüències per a les variables qualitatives de l'estudi (Temps i Temperatura). Es va comprovar la normalitat de les variables mitjançant la prova de Shapiro Wilk.

Es va utilitzar l'ANOVA d'un factor per avaluar la relació entre les variables Dm, Tc, Dmr, Vc i Vcr amb les variables explicatives Temperatura i Temps. A continuació, es va ajustar el model ANOVA de dos factors amb interacció (o model de regressió lineal múltiple) per mesurar la relació entre Dm, Tc, Dmr, Vc i Vcr amb les variables Temperatura, Temps i la interacció entre ambdues. Posteriorment, es van calcular les comparacions múltiples dos a dos amb la correcció de Tukey.

La lectura, manipulació i validació de la base de dades i el posterior anàlisi estadístic, es va realitzar amb el programa SPSS v.18, IBM® SPSS Statistics. Les decisions estadístiques es van prendre fixant com a nivell de significació el valor 0.05.

## RESULTATS

Es troben diferències significatives en el Dm per al factor temps i temperatura ( $p < 0.05$ ). Existeixen diferències significatives entre el Dm basal i el Dm post fatiga ( $p < 0.05$ ) i el Dm post recuperació i Dm 45 min. ( $p < 0.05$ ). Existeixen diferències significatives entre el Dm calent i el fred i el Dm calent i el sec ( $p < 0.05$ ), però no entre el Dm fred i el sec ( $p > 0.05$ ). En el Dmr també es troben diferències significatives per al factor temps i temperatura ( $p < 0.05$ ), produint-se una diferència significativa de ( $p < 0.05$ ) entre el Dmr post recuperació i Dmr 45 min. Les diferències entre el Dmr fred, calent i sec presenten la mateixa significació que en el Dm.

Pel que fa al Tc, existeixen diferències significatives pel que fa a la temperatura ( $p = 0.000$ ), però no pel que fa al temps ( $p > 0.05$ ). Així, existeixen diferències significatives entre el Tc fred i el Tc calent i sec ( $p < 0.05$ ), tot i que no entre el Tc calent i el sec ( $p > 0.05$ ).

Es troben diferències significatives en la Vc pel factor temps i temperatura ( $p < 0.05$ ). Existeixen diferències per al factor temps són significatives entre la Vc basal i la Vc post fatiga, post recuperació, 15 min i 30 min ( $p < 0.05$ ), així com entre la Vc 15 min i Vc 60 min ( $p < 0.05$ ). Les diferències entre la Vc freda, calenta i sec són totes significatives ( $p < 0.05$ ). En canvi, en la Vcr es troben diferències significatives per al factor temps i temperatura i la interacció entre ambdues ( $p < 0.05$ ). També existeixen diferències significatives pel factor temps entre la Vcr basal i la Vcr post fatiga, post recuperació,

15 min i 30 min amb valors ( $p < 0.05$ ), i entre la Vcr 15 min i Vcr 45 min i 60 min ( $p < 0.05$ ).

## DISCUSSIÓ

Aquest estudi analitza els canvis produïts en les propietats contràctils del múscul després d'un protocol d'inducció a la fatiga, així com després d'una estratègia de recuperació. La TMG es presenta com un bon mètode per poder detectar la fatiga muscular (Moreno & Usach, 2007; Moreno et al., 2008). Pel que fa al plantejament del protocol d'immersió com a recuperador de fatiga, s'ha escollit una temperatura concreta ( $42^{\circ}$  per la immersió calenta i  $15^{\circ}$  per la immersió freda), ja que més enllà d'aquestes temperatures s'activen els nociceptors (Low & Reed, 1994) i per tant, cal parar atenció a tots els resultats obtinguts mitjançant protocols que plantegen temperatures allunyades de les proposades i continuar investigant al respecte (Bonde-Petersen et al., 1992; Wilcock et al., 2006a). A més, s'ha seleccionat un temps de 15 min continuat, és a dir, sense repeticions. El motiu no és un altre sinó que en la investigació sobre la immersió en aigua com a estratègia de recuperació, s'han emprat temps que van dels 6 als 20 min (Coffey et al., 2004; Halson et al., 2008; Hamlin & Sheen, 2004; Wilcock et al., 2006a). En canvi en el camp, els temps emprats poden arribar a ser de 30 segons, depenent de la capacitat individual de l'esportista per suportar el desconfort de la temperatura (Crampton et al., 2011; Wilcock et al., 2006a). Sembla ser, doncs que no existeix un consens en decidir quins són els temps i temperatures que produeixen un major benefici en la recuperació de l'atleta, tot i que es parla d'un mínim de 10 min d'immersió per poder copsar diferències després de la

recuperació (Cochrane, 2004; Crampton et al., 2011; Vaile et al., 2007; Wilcock et al., 2006a).

Tanmateix, en aquesta investigació, s'ha introduït un paràmetre derivat dels dos paràmetres principals (Dm i Tc) que relaciona el desplaçament durant la contracció amb la qualitat d'aquesta (García-Manso, Rodríguez-Matoso, et al., 2011; Usach, 2012). Igualment, per poder realitzar una correcta comparació entre els subjectes de la mostra, s'ha relativitzat els paràmetres Dm i Vc en funció del gruix anteroposterior del vast medial del quàdriceps, mesurat amb ecografia, el que proporciona una informació més individualitzada del que succeeix en el múscul (Usach, 2012).

Els resultats obtinguts, mostren diferències significatives entre les tres estratègies de recuperació pel que fa al Dmr. Alhora de recuperar els paràmetres basals, el tractament amb immersió (sigui freda o calenta), aconsegueix uns valors superiors als inicials a partir dels 45 min posteriors a la recuperació, sent d'un 3.12% en l'aigua freda i un 3.28% en l'aigua calenta, mentre que en la recuperació mitjançant el descans, no s'aconsegueix restablir els paràmetres inicials, sent un 2.32% inferior pel mateix temps. Un Dmr superior, indica una deformació radial superior pròpia de músculs més relaxats o hipotònic. Per tant, amb els resultats obtinguts, sembla ser que l'aigua calenta, aconseguiria una major relaxació que l'aigua freda, tot i que l'aigua freda la mantindria al cap dels 60 min posteriors a la recuperació amb un augment del 2.08%, mentre que l'aigua calenta no (Fig.3).

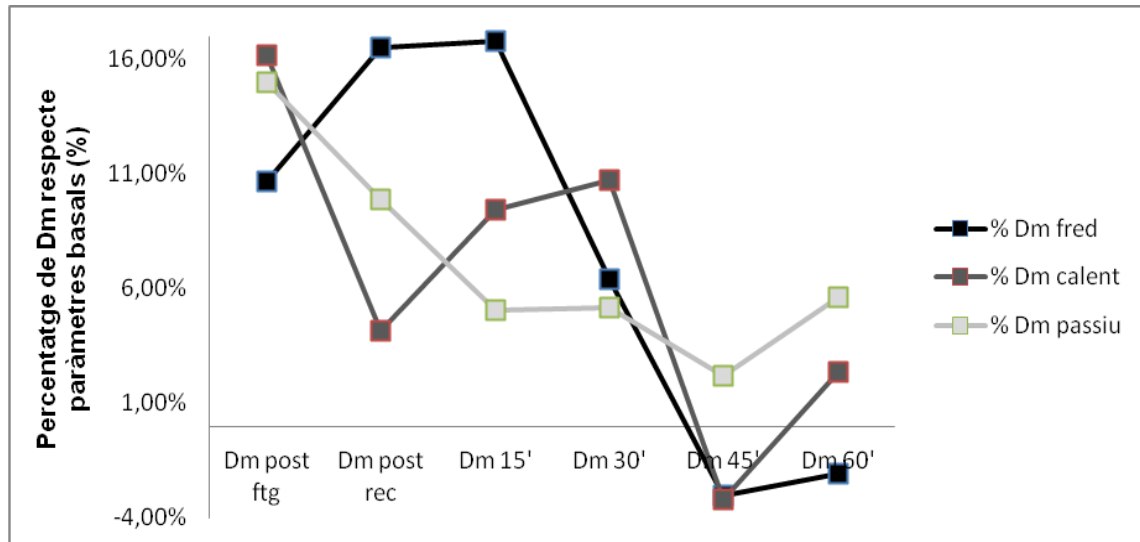


Fig. 3: relació entre els paràmetres basals i la seva evolució al llarg del temps per a cadascuna de les estratègies de recuperació, expressat en %. Dm post ftg; Desplaçament muscular post fatiga. Dm post rec; Desplaçament muscular post recuperació. Dm 15'; Desplaçament muscular als 15 min de la immersió. Dm 30'; Desplaçament muscular als 30 min de la immersió. Dm 45'; Desplaçament muscular als 45 min de la immersió. Dm 60'; Desplaçament muscular als 60 min de la immersió.

El que sembla més interessant és que si ens fixem en el moment en que el Dmr és superior al produït a causa de la fatiga, es pot observar que fins als 30 min posteriors a la recuperació amb aigua freda, no es produeix una relaxació del 4.70%, mentre que en el passiu i en la immersió amb aigua calenta la recuperació és immediatament després, essent més efectiva la de l'aigua calenta (5.52% per al descans passiu i 14.58% per a la immersió calenta) (Fig.4).

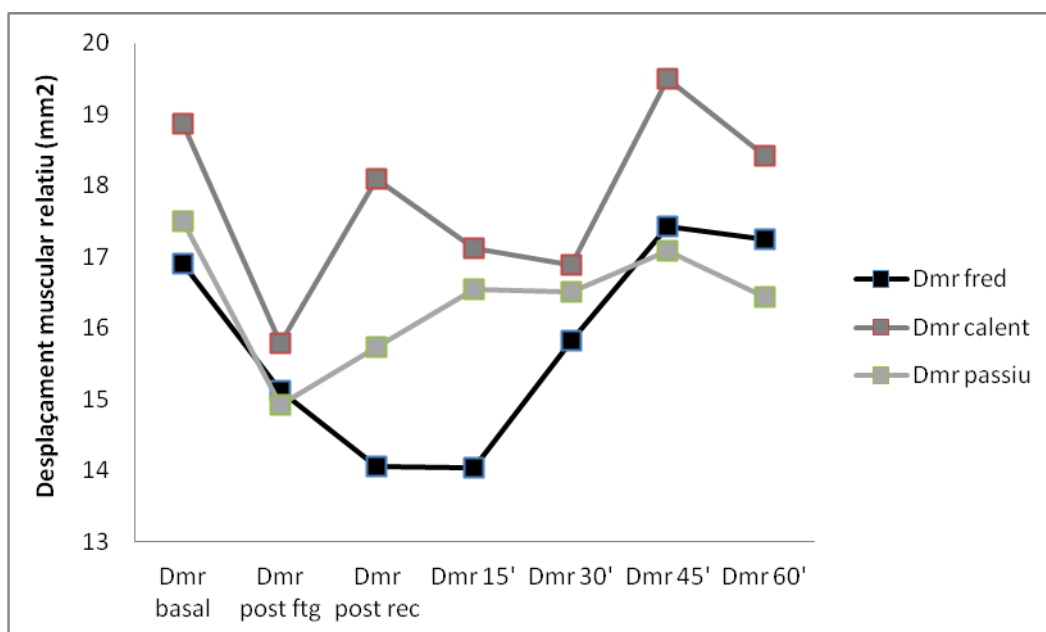


Fig. 4: evolució del Desplaçament muscular relatiu expressat en  $\text{mm}^2$  al llarg del temps. Dmr basal; Desplaçament muscular basal. Dmr post ftg; Desplaçament muscular relatiu post fatiga. Dmr post rec; Desplaçament muscular relatiu post recuperació. Dmr 15'; Desplaçament muscular relatiu als 15 min de la immersió. Dmr 30'; Desplaçament muscular relatiu als 30 min de la immersió. Dmr 45'; Desplaçament muscular relatiu als 45 min de la immersió. Dmr 60'; Desplaçament muscular relatiu als 60 min de la immersió.

Pel que fa al Tc, quan realitzem una immersió en aigua freda com a recuperació, es produeix un augment del mateix que es pot observar immediatament després de la recuperació i que es manté fins als 60 min posteriors a la recuperació. Un Tc més elevat, significa que és necessari més temps per arribar a realitzar el 90% de la contracció màxima, el que es pot relacionar amb un múscul més lent. En canvi, quan es realitza el protocol d'immersió en aigua calenta, el Tc sempre és menor que el basal, a excepció dels 15 min posteriors a la recuperació, que es major. Aquest resultats es podrien relacionar amb un múscul més ràpid. Sorprenentment, en la

recuperació mitjançant el descans, també s'obtenen uns valors de Tc inferiors als basals i, finalment, als 60 min es detecta un Tc més elevat. Cal destacar que entre la immersió d'aigua calenta i la recuperació passiva no existeixen diferències significatives (Fig.5).

Finalment, pel que fa a la Vcr, s'observen uns valors inferiors als basals, el que podria associar-se amb un augment de la rigidesa (García-Manso, Rodríguez-Matoso, et al., 2011); cal destacar que els valors en la recuperació amb aigua freda són significativament majors que en aigua calenta o descans passiu (25.13%, 24.95%, 16.04%, 6.93% i 1.10% en la post recuperació immediata, als 15, 30, 45 i 60 min posteriors, respectivament). La immersió en aigua calenta, és l'única estratègia de recuperació que aconsegueix, als 45 min, un valor superior al paràmetre basal (4.15%) (Fig.6).



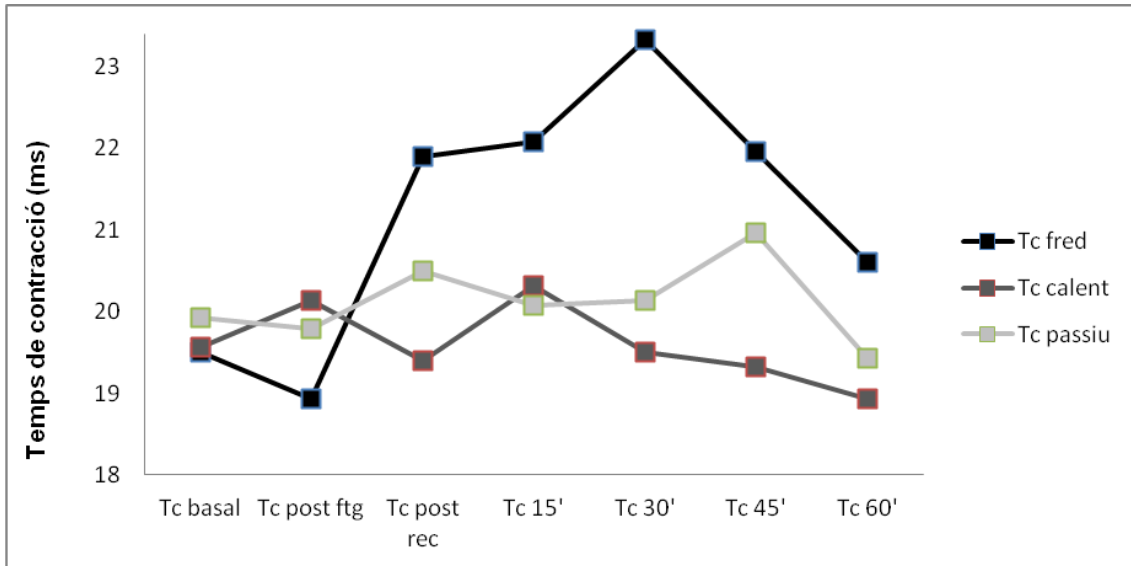
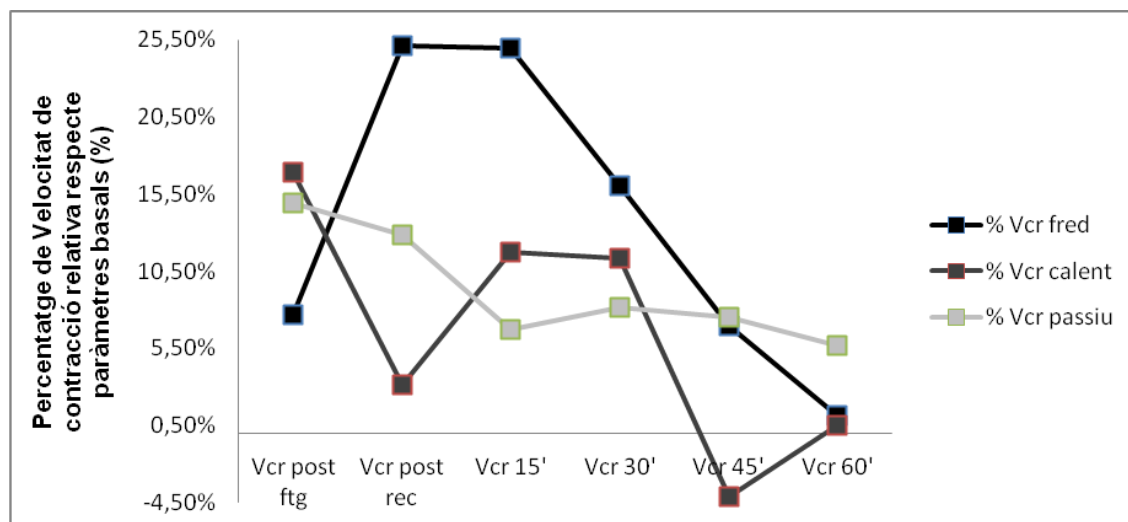


Fig. 5: cinètica d'evolució del Tc al llarg del temps per a cadascuna de les estratègies de recuperació. Tc basal; Temps de contracció basal. Tc post ftg; Temps de contracció post fatiga. Tc post rec; Temps de contracció post recuperació. Tc 15'; Temps de contracció als 15 min de la immersió. Tc 30'; Temps de contracció als 30 min de la immersió. Tc 45'; Temps de contracció als 45 min de la immersió. Tc 60'; Temps de contracció als 60 min de la immersió.



GRÀFIC 4: relació entre els paràmetres basals i la seva evolució al llarg del temps per a cadascuna de les estratègies de recuperació, expressat en %. Vcr post ftg; Velocitat de contracció relativa post fatiga. Vcr post rec; Velocitat de contracció relativa post recuperació. Vcr 15'; Velocitat de contracció relativa als 15 min de la immersió. Vcr 30'; Velocitat de contracció relativa als 30 min de la immersió. Vcr 45'; Velocitat de contracció relativa als 45 min de la immersió. Vcr 60'; Velocitat de contracció relativa als 60 min de la immersió.

Aquestes descobertes estan en línia amb les propostes d'altres autors que diuen que l'aigua calenta afavoreix l'augment de la transmissió neural (Cotts et al., 2004), la propiocepció i la millora del temps de reacció (Burke et al., 2001), així com una major elasticitat muscular, extensibilitat de les articulacions, analgèsia i reducció dels espasmes musculars (Wilcock et al., 2006a). Mentre que l'ús d'aigua freda és probable que estimuli les cèl·lules superficials que regulen la inhibició de l'impuls nerviós de la percepció del dolor que va al sistema nerviós central (Wilcock et al., 2006a). Si bé la reducció en el dolor pot ésser beneficiosa, la reducció en la transmissió nerviosa pot ser causant de la disminució en la velocitat contràctil del múscul i la capacitat de

generar força per part d'un atleta, després de la seva aplicació. Per tant, el rendiment podria estar "inhibit" si l'exercici es realitza immediatament després de la immersió (Barnett, 2006; Cheung et al., 2003; Crampton et al., 2011; Goodall & Howatson, 2008; Halson et al., 2008; Kinugasa & Kilding, 2009; Wilcock et al., 2006b). No en va, alguns autors sustenten que encara queda força per investigar sobre l'aplicació del fred i la seva eficàcia, més enllà del seu efecte analgèsic (Barnett, 2006; Goodall & Howatson, 2008). Es podria dir doncs, que l'ús de la immersió en aigua freda, podria obstaculitzar el rendiment en exercicis de curta durada i alta intensitat; tot i que en ambients calorosos, el refredament del cos podria ser beneficiós per al rendiment d'aquelles modalitats de resistència (Barnett, 2006; Kinugasa & Kilding, 2009; Vaile et al., 2007; Vaile et al., 2008c; Wilcock et al., 2006a, 2006b).

Els resultats obtinguts en aquesta investigació, evidencien que la hidroteràpia és una estratègia de recuperació adequada després d'un protocol d'inducció a la fatiga. Quan parlem de rendiment, les estratègies de recuperació, són igualment importants si són capaces de mantenir el rendiment (Kinugasa & Kilding, 2009). Tanmateix, la immersió en aigua pot tenir una influència psicològica directa en la reducció de la fatiga post esforç, on la temperatura pot influenciar sobre la percepció d'aquesta recuperació (Crampton et al., 2011; Wilcock et al., 2006b).

És interessant continuar investigant en diferents protocols de temps d'immersió i temperatura, com a recuperadors post fatiga, per ajustar dits paràmetres i trobar els que millor s'adaptin a les característiques i necessitats de cada disciplina esportiva.

## **CONCLUSIONS**

La hidroteràpia és una estratègia de recuperació post fatiga dels paràmetres contràctils del múscul. El Dmr es restableix als 45 min després d'un protocol d'immersió, tant en aigua calenta com freda, mentre que la recuperació passiva, no aconsegueix restaurar els paràmetres inicials. El Tc presenta uns valors més elevats en la immersió en aigua freda i el descans passiu (excepte als 60 min post recuperació passiva), essent més destacables en l'ús d'aigua freda, mentre que es mostren inferiors en l'ús d'aigua calenta, a excepció dels 15 min posteriors a la recuperació. La Vcr mostra uns valors inferiors als basals, essent més destacables en la recuperació mitjançant aigua freda.

# **Conclusions generals**

**“El que sabem és una gota d’aigua; el que ignorem és l’oceà”**

**Isaac Newton 1642 – 1727**

**(matemàtic i físic)**

Les conclusions extretes de la part teòrica i de la part experimental es presenten a continuació:

- L'aplicació d'aigua amb finalitats terapèutiques, és un dels més vells procediments de la història de la humanitat. Els seus orígens es remunten a l'antiguitat. Però al llarg de la història, l'ús de la hidroteràpia, ha passat per diversos alts i baixos; sent un element indispensable en certes èpoques i en d'altres un element relegat a un segon terme. En l'actualitat, conflueixen dues visions de l'ús de l'aigua: una passiva (Hidroteràpia) i una activa (Hidrocinèsiteràpia).
  
- Les bases teòriques que defineixen les característiques i propietats de l'aigua estan ben descrites, ja que es basen en els principis químics i físics descrits des de temps immemorials i en els quals es recolzen les lleis de la termodinàmica i la dinàmica de fluids (tant la hidrostàtica com la hidrodinàmica).
  
- Els efectes de l'aigua en el cos humà, deriven directament de les seves propietats (físiques, tèrmiques i químiques) i de la magnitud de l'estímul (temps d'immersió i zona d'immersió), així com de la fisiopatologia de l'individu. Per tant, a l'hora de cercar uns resultats concrets després d'un tractament amb hidroteràpia, no tan sols s'ha de tenir en compte la pressió hidrostàtica de l'aigua i la flotació (principals característiques físiques que afecten al cos en immersió), sinó l'estat en que es trobi aquest cos, és a dir la patologia que pugui patir l'organisme o la part immersa i, evidentment, la quantitat de temps a la que se sotmeti a tractament i a la profunditat a la que se situï, ja que a major profunditat, major serà la influència de la pressió hidrostàtica i la flotació. Malauradament, una gran part de la literatura científica existent al respecte, sembla ser basada en informacions més aviat empíriques. El que provoca la necessitat de continuar investigant al respecte.

- Les bases teòriques de l'aigua determinen que els efectes de l'ús de l'aigua calenta en aplicacions llargues, afavoreix l'acció analgèsica i antiespasmòdica, augmenta la transmissió neuronal i millora el temps de reacció. Per altra banda, l'ús de l'aigua freda en aplicacions llargues, produeix un efecte analgèsic i antiinflamatori, gràcies a la disminució en la taxa de transmissió de les neurones. Sembla ser doncs, que la termohidroteràpia i la criohidroteràpia d'exposició llarga, aconseguen els mateixos efectes en el cos immers, però una ho fa a través de les vies nervioses directes i l'altre de les indirectes. Aquesta constatació coincideix amb els resultats obtinguts en les nostres investigacions.
- En canvi, quan parlem dels efectes fisiològics sobre el rendiment produïts després d'una immersió, sembla ser que existeix un gran buit científic quan parlem de l'aigua calenta; per contra, alguns autors coincideixen i manifesten que l'ús de l'aigua freda pot obstaculitzar el rendiment posterior en aquells exercicis de curta durada i alta intensitat. A més, en esportistes no entrenats, el seu ús pot dificultar l'aparició dels processos adaptatius de l'entrenament.
- Per contra, els banys de contrast són una de les estratègies més populars a l'hora de recuperar i millorar l'entrenament. Són diversos els autors que han estudiat els efectes fisiològics produïts en l'organisme després del seu ús, però la gran varietat de protocols existents, no permet establir conclusions definitives, ja que és difícil desgranar si els beneficis són produïts pel contrast en les temperatures o bé, en la pròpia pressió hidrostàtica. La gran aportació d'aquests estudis radica en que els banys de contrast imiten els mecanismes de la recuperació activa, però sense el desgast d'energia causat per aquest. Altrament, afavoreixen la reducció en la percepció de fatiga per part dels esportistes, amb uns resultats més efectius que altres estratègies.

- Per tant, queda palès que la varietat de protocols a l'hora de pautar un tractament d'hidroteràpia (ja sigui aigua freda, aigua calenta o de contrast) dificulta la comparació de resultats, l'establiment real dels seus efectes i la possibilitat de presentar els protocols més efectius.
  
- La TMG es presenta com un mètode justificat en la valoració de les propietats contràctils del múscul. De la mateixa manera, és vàlida per mesurar els canvis produïts en el múscul després de l'aplicació d'un protocol d'inducció a la fatiga, així com després de l'aplicació d'un protocol d'immersió en aigua freda i un en aigua calenta.
  
- La relativització dels paràmetres Dm i Vc a partir del gruix antero posterior del vast medial del quàdriceps, mesurat mitjançant ecografia, permet comparar els resultats obtinguts de cada subjecte, dotant aquests d'una major qualitat. L'explicació no és una altra que la magnitud de la contracció (Dm) pot ser diferent en funció del nivell esportiu o, inclús del sedentarisme, dels subjectes estudiats, el que pot desvirtuar els resultats obtinguts; d'aquesta manera, es normalitzen els valors obtinguts per a cada subjecte i fa més efectiu la seva comparació entre subjectes. Igualment, com la Vc és el resultat de dividir l'espai (és a dir el Dm) entre el temps (és a dir, el Tc), sembla necessari aplicar la mateixa lògica que en la relativització del Dm.
  
- Les propietats de l'aigua poden millorar o reduir el funcionament dels músculs, en funció de les tècniques d'immersió emprades. La temperatura de l'aigua afecta al comportament de les propietats contràctils del múscul després d'una immersió de 20 min. En la mateixa línia, queda demostrat que l'ús de la hidroteràpia durant 15 min, és un mètode legítim per a la recuperació de les propietats contràctils del múscul, després d'aplicar un protocol d'inducció a la fatiga.



- És necessari tenir en compte que cal esperar fins als 40 min posteriors a la immersió per observar el major augment del Dm, i és en l'aigua freda on es troba en major magnitud. Aquests resultats mostren que, tant l'aigua freda com l'aigua calenta aconseguen relaxar el to muscular després d'una immersió, però la relaxació no s'obté immediatament després de la intervenció, sinó que cal esperar fins als 40 min posteriors; per tant, podem afirmar que el comportament muscular segueix la mateixa cinètica en aigua freda que en aigua. Per contra, el Tc, augmenta de forma més elevada posteriorment a la immersió en aigua freda i als 10 min en l'aigua calenta. És a dir, que el múscul esdevé més lent immediatament després de l'aplicació de l'aigua freda o al cap de 10 min en l'aplicació d'aigua calenta. Per tant s'haurà de calcular les necessitats específiques de la disciplina esportiva per tal de pautar el protocol que millor s'hi adapti.
  
- Pel que fa a les estratègies de recuperació post fatiga, el Dm relatiu, es restableix als 45 min, després d'un protocol d'immersió en aigua durant 15 min, ja sigui a 15° o a 42°; fet que no succeeix en la recuperació passiva. Aquests resultats, corroboren la cinètica de comportament muscular obtinguda anteriorment, on es mostra la necessitat d'esperar un temps al voltant dels 45 min per certificar que el to muscular és menor i, per tant, el múscul es troba més relaxat. Quan observem el comportament del Tc, detectem uns valors més elevats quan es fa ús de l'aigua freda, el que constata els resultats obtinguts anteriorment, on es mostra un múscul més lent; per contra, sembla ser que el múscul és més ràpid després d'una estratègia d'immersió en aigua calenta o en una de recuperació passiva, on s'obtenen uns valors inferiors als basals, i no existeixen diferències entre ambdues. Finalment, si observem el comportament de la Vc relativa és inferior en l'ús de les tres estratègies de recuperació, el que sembla indicar un augment de la rigidesa muscular; si bé, és cert, que aquesta rigidesa és força més evident en l'ús de l'aigua freda que en les altres estratègies de recuperació.

# **Perspectives de futur**

**“Si deixes que l’aigua tèrbola s’assenti, es tornarà clara. Si deixes que la teva ment torbada s’assenti, el teu rumb també es farà clar”**

**Amaury Rodríguez**

**(literat)**

Després de repassar les troballes de la revisió bibliogràfica, així com els resultats obtinguts en la part experimental, un no pot tancar els ulls a nous horitzons d'investigació.

Queda palès en la redacció d'aquesta tesi, que existeix una gran dificultat a l'hora d'evidenciar els efectes derivats de la immersió, degut a la gran varietat de protocols emprats, tant pel que fa als temps d'immersió, com pel que fa a les temperatures aplicades. Igualment, es mostra un gran buit en l'ús de la TMG per a la detecció dels canvis produïts en el comportament muscular després d'una immersió. És per aquest motiu, que es considera necessari continuar investigant en aquesta línia.

Serà interessant analitzar què succeeix amb d'altres grups musculars, especialment en els de l'extremitat superior.

Si, com s'ha explicat la pressió hidrostàtica és una propietat fonamental en els efectes produïts sobre el cos humà després d'una immersió, caldrà realitzar estudis on quedin reflexades les possibles diferències a diferents nivells d'immersió, ja que aquesta augmenta amb la profunditat.

Altres aspectes interessants a tenir en compte en futures investigacions serà estudiar les possibles diferències que poden tenir lloc en el comportament muscular, tant pel simple fet d'estar immers, com quan es fa ús de l'aigua per a la recuperació post fatiga tenint en compte si l'aigua és potable o salada (és a dir les propietats químiques). Altrament, l'ús de l'aigua en moviment versus l'aigua sense moviment, també pot plantejar altres diferències a tenir en compte.

Un aspecte clau en la recuperació post fatiga, és la pròpia percepció de l'esportista. Creiem molt interessant endinsar-nos en aquest concepte per esbrinar quina és l'estratègia de recuperació més adequada.

Totes aquestes suggerències es basen en el propòsit d'establir uns protocols de qualitat i consensuats, per tal d'afavorir la recuperació dels esportistes en funció de les característiques i necessitats requerides en la seva disciplina.

# **Bibliografia**

Abbiss, C., Peiffer, J., Netto, K., & Laursen, P. (2006). Reliability of surface EMG measurements of the quadriceps during maximal isometric contractions following water immersion. *Journal of Musculoskeletal Research*, 10(4), 197-203.

AmericanRedCross. (1992). *Swimming and diving*. San Luis: Mosby-Year Book.

Armijo, M., & San Martin, J. (1994). *Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia*. Madrid: Editorial Complutense.

Astrand, P., Rodahl, K., Dahl, H., & Stromme, S. (2003). *Textbook of work physiology. Physiological Bases of Exercise* (Fourth edition ed.). USA: Human Kinetics.

Bachmann, R., & Schleinkofer, G. (1998). *Las aplicaciones curativas del agua paso a paso* (1a ed. ed.). Barcelona: Integral.

Bagot, R. (1971). [Thalassotherapy]. *Revue De L'infirmière*, 21(5), 477-477.

Bailey, D., Erith, S., Griffin, P., Dowson, A., Brewer, D., Gant, N., & Williams, C. (2007). Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *Journal Of Sports Sciences*, 25(11), 1163-1170.

Barbosa, T., Garrido, M., & Bragada, J. (2007). Physiological adaptations to head-out aquatic exercises with different levels of body immersion. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1255-1259.

Barnett, A. (2006). Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help? *Sports Medicine*, 36(9), 781-796.

Basmajian, J., & De Luca, C. (1985). *Muscles alive*. Baltimore: William and Wilkins

Becker, B., Hildenbrand, K., Whitcomb, R., & Sanders, J. (2009). Biophysiological effects of warm water immersion. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 3, 24-37.

Belton, S., Peltier, D., & Santisteban, L. (2007). Rééducation du blessé médullaire en balnéothérapie: une liberté retrouvée dans un nouveau milieu. *Kinésithérapie, la Revue*, 70, 28-36.

Bizinni, M., & Mannion, A. (2003). Reliability of a new, hand-held device for assessing skeletal muscle stiffness. *Clinical Biomechanics*, 18, 459-461.

Bleakley, C., McDonough, S., & MacAuley, D. (2004). The use of ice in the treatment of acute soft-tissue injury: a systematic review of randomized controlled trials. *American Journal of Sports Medicine*, 32(1), 251-261.

Bohannon, R., & Smith, M. (1986). Interrater reliability of a modified Ashworth scale or muscle spasticity. *Physical Therapy*.

Bonde-Petersen, F., Schultz-Pedersen, L., & Dragsted, N. (1992). Peripheral and central blood flow in man during cold, thermoneutral, and hot water immersion. *Aviation, Space, And Environmental Medicine*, 63(5), 346-350.

Brukner, P., & Khan, K. (2001). *Clinical sports medicine* (2nd ed ed.). Sydney: McGraw-Hill.

Burke, D., Holt, L., Rasmussen, R., MacKinnon, N., Vossen, J., & Pelham, T. (2001). Effects of hot or cold water immersion and modified proprioceptive neuromuscular facilitation flexibility exercise on hamstring length. *Journal of Athletic Training*, 36(1), 16-19.

Burke, D., MacNeil, S., Holt, L., MacKinnon, N., & Rasmussen, R. (2003). The effect of hot or cold water immersion on isometric strength training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(1), 23-25.

Cheung, K., Hume, P., & Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Medicine*, 33(2), 145-164.

Chevutschi, A., Dengremont, B., Lensele, G., Pardessus, V., & Thevenon, A. (2007). La balnéothérapie au sein de la littérature. Applications thérapeutiques. *Kinésithérapie, la Revue*, 71, 14-23.

Chevutschi, A., Dengremont, B., Lensele, G., & Thevenon, A. (2007). La balnéothérapie au sein de la littérature: propriétés de l'eau. *Kinésithérapie, la Revue*, 70, 14-20.

Chillón Martínez, R., Rebollo Roldan, J., & Meroño Gallut, A. (2008). Aproximación a la Historia de la Fisioterapia Española desde las fuentes documentales. *Cuestiones de Fisioterapia*, 37(3), 150-163.

Clarke, D. (1963). Effect of immersion in hot and cold water upon recovery of muscular strength following fatiguing isometric exercises. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 44, 565-568.

Cobos, M., & Marin, M. (2008). Variabilidad en la aplicación de baños de contraste en la práctica de la Fisioterapia. *Cuestiones de Fisioterapia*, 37, 3-12.

Cochrane, D. (2004). Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Physical Therapy in Sport*, 5(1), 26-32.

Coffey, V., Leveritt, M., & Gill, N. (2004). Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. *Journal Of Science And Medicine In Sport / Sports Medicine Australia*, 7(1), 1-10.

Cole, A., & Becker, B. (2004). *Comprehensive Aquatic Therapy*. USA: Butterworth Heinemann. Elsevier Inc.

Collot, S., & Griveaux, H. (2007). Principes physiques en balnéothérapie. *Kinésithérapie, la Revue*, 70, 21-27.

Cote, D., Prentice, W. J., Hooker, D., & Shields, E. (1988). Comparison of three treatment procedures for minimizing ankle sprain swelling. *Physical Therapy*, 68(7), 1072-1076.



Cotts, B., Knight, K., Myrer, J., & Schulthies, S. (2004). Contrast-bath therapy and sensation over the anterior talofibular ligament. *Journal of Sport Rehabilitation*, 13(2), 114-121.

Crampton, D., Donne, B., Egana, M., & Warmington, S. (2011). Sprint Cycling Performance Is Maintained with Short-Term Contrast Water Immersion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(11), 2180-2188. doi: 10.1249/MSS.0b013e31821d06d9

Dahmane, R., Djordjevič, S., Šimunič, B., & Valenčič, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle. *Journal of Biomechanics*, 38(12), 2451-2459.

Dahmane, R., Valenčič, V., Knez, N., & Eržen, I. (2001). Evaluation of the ability to make non-invasive estimation of muscle contractile properties on the basis of the muscle belly response. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 39(1), 51-55.

Davidoff, R. (1992). Skeletal muscle tone and the misunderstood stretch reflex. *Neurology*, 951.

Delagi, E., Perotto, A., Lazzetti, J., & Morrison, D. (1975). *Anatomic guide for the electromyographer: the Limbs*. Springfield: IL.

Denegar, C. (2000). *Therapeutic modalities for athletics injuries*. Champaign: Human Kinetics.

Ditroilo, M., Hunter, A., Haslam, S., & De Vito, G. (2011). The effectiveness of two novel techniques in establishing the mechanical and contractile responses of biceps femoris. *Physiological Measurement*, 32, 1315-1326.

Djordjevič, B., Valencic, V., & Jurcic-Zlobec, B. (2001). The comparison of dynamic characteristics of skeletal muscles in two groups of sportsmen sprinters and cyclists. *Biomedical engineering*, 3, 1-4.

Dolto, B. (1995). *La cinesiterapia práctica*. Barcelona: Paidotribo.

Downie, P. (2001). *Neurología para fisioterapeutas* (4a ed.). Madrid: Editorial Médica Panamericana.

Dubarry, J., Blanquet, P., Tamarelle, C., & Dubarry, B. (1971). [Transcutaneous penetration of ions in thermal balneotherapy]. *Bordeaux Médical*, 4(12), 3703-3713.

Duffield, M. (1985). *Ejercicios en el agua*. Barcelona: Editorial JIMS, S.A.

Esnault, M. (1991). *Rééducation dans l'eau*. Paris: Masson.

Eston, R., & Peters, D. (1999). Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Journal Of Sports Sciences*, 17(3), 231-238.

Farr, T., Nottle, C., Nosaka, K., & Sacco, P. (2002). The effects of therapeutic massage on delayed onset muscle soreness and muscle function following downhill walking. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 5(4), 297-306.

Fiscus, K., Kaminski, T., & Powers, M. (2005). Changes in lower-leg blood flow during warm-, cold-, and contrast-water therapy. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 86(7), 1404-1410.

. France Thalasso. (2011) Retrieved 09/06/2011, from <http://www.france-thalasso.com>

García-Manso, J., Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruiz, D., Sarmiento, S., de Saa, Y., & Calderón, J. (2011). Effect of cold-water immersion on skeletal muscle contractile properties in soccer players. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 90, 356-363.

García-Manso, J., Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruiz, D., Sarmiento, S., de Saa, Y., & Calderón, J. (2011). Effect of Cold-Water Immersion on Skeletal Muscle Contractile Properties in Soccer Players. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 90(5), 356-363. doi: 10.1097/PHM.0b013e31820ff352

García Manso JM, Rodríguez Ruiz D, Rodríguez Matoso D, Sarmientos S, Quiroga M, & ME, D. S. (2009). *La tensiomiografía como herramienta de evaluación muscular*. Paper presented at the I Congreso de ciencias de apoyo al rendimiento deportivo.

Gill, N., Beaven, C., & Cook, C. (2006). Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *British Journal of Sports Medicine*, 40(3), 260-263.

Godall, M. (1996). *Biologia Humana. Fonaments biològics per a diplomatures en Ciències de la Salut*. Barcelona: Biblioteca Universitaria. Edicions Proa.

Goodall, S., & Howatson, G. (2008). The effects of multiple cold water immersions on indices of muscle damage. *Journal of Sports Sciences and Medicine*, 7, 235-241.

Grabljevec, K., Burger, H., Kersevan, K., Valencic, V., & Marincek, C. (2005). Strength and endurance of knee extensors in subjects after paralytic poliomyelitis. *Disability & Rehabilitation*, 27(14), 791-799.

Grossiord, A., & Held, J. (1981). *Kinébalnéothérapie, médecine en rééducation*. Paris: Ed. Flammarions.

Gurfinkel, V., Lipshits, M., & Popov, K. (1974). Is the stretch reflex the main mechanism in the system of regulation of the vertical posture of man? *Biophysics*, 761-766.

Guy, B. (1968). [Thalassotherapy]. *Le Chirurgien-Dentiste De France*, 38(27), 31-47.

Halson, S., Quod, M., Martin, D., Gardner, A., Ebert, T., & Laursen, P. (2008). Physiological responses to cold water immersion following cycling in the heat. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 3(3), 331-346.

Hamlin, M., & Magson, P. (2002). *The effects of post-exercise hydrotherapy on blood lactate and performance recovery in netball players*. . Paper presented at the Conference of the Australasian College of Sports Physicians, Sports Medicine New Zealand, and Sport Science New Zealand, Christchurch, New Zealand.

Hamlin, M., & Sheen, A. (2004). *The effect of contrast-temperature water therapy on performance recovery of rugby players*. Paper presented at the Pre-Olympic Congress: Sport Science. Thru the Ages: Challenges in the New Millennium Thessaloniki, Greece.

Higgins, D., & Kaminski, T. (1998). Contrast therapy does not cause fluctuations in human gastrocnemius intramuscular temperature. *Journal of Athletic Training*, 33(4), 336-340.

Hilbert, J., Sforzo, G., & Swensen, T. (2003). The effects of massage on delayed onset muscle soreness. *British Journal of Sports Medicine*, 37(1), 72-75.

Hing, W., White, S., Bouaaphone, A., & Lee, P. (2008). Contrast therapy -- a systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 9(3), 148-161.

Kemoun, G., Watelain, E., & Carette, P. (2006). Hydrokinésithérapie. *Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation*.

Kersevan, K., Valencic, V., Djordjevic, S., & Simunic, B. (2002). The muscle adaptation process as a result of pathological changes or specific training procedures. *Cellular & Molecular Biology Letters*, 7(2), 367-369.

King, M., & Duffield, R. (2009). The effects of recovery interventions on consecutive days of intermittent sprint exercise. *Journal of Strength & Conditioning Research (Lippincott Williams & Wilkins)*, 23(6), 1795-1802. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b3f81f

Kinugasa, T., & Kilding, A. (2009). A comparison of post-match recovery strategies in youth soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research (Lippincott Williams & Wilkins)*, 23(5), 1402-1407. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181a0226a

Kneipp, S. (1893). *Mi cura por el agua*. Barcelona: Gili.

Kneipp, S. (1913). *Mi testamento*. Barcelona: Gili.

Knight, K. (2000). *Crioterapia. Rehabilitación de las lesiones en la práctica deportiva*. Barcelona: Ed. Bellaterra.

Knight, K., & Londeree, B. (1980). Comparison of blood flow in the ankle of uninjured subjects during therapeutic applications of heat, cold, and exercise. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, 12(1), 76-80.

Korhonen, R., Vain, A., Vannien, E., Viir, R., & Jurvelin, J. (2005). Can mechanical myotonometry or electromyography be used for the prediction of intramuscular pressure? *Physiological Measurement*, 26, 951-963.

Koury, M. (2000). *Acuaterapia. Guía de rehabilitación y fisioterapia en la piscina*. Barcelona: Ed. Bellaterra.

Križaj, D., Šimunič, B., & Žagar, T. (2008). Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(4), 645-651.

Lane, K., & Wenger, H. (2004). Effect of selected recovery conditions on performance of repeated bouts of intermittent cycling separated by 24 hours. *Journal of Strength & Conditioning Research (Allen Press Publishing Services Inc.)*, 18(4), 855-860.

Latash, M., & Jaric, S. (1998). Instruction-dependent muscle activation patterns within a two-joint synergy: Separating mechanics from neurophysiology. *Journal of Motor Behavior*, 194-198.

Lehman, J., Warren, C., & Scham, S. (1974). Therapeutic heat and cold. *Clinical Orthopaedics*, 99, 207 - 245.

Llor, J. (2008). Evidencia científica de la hidroterapia, balneoterapia, termpoterapia, crioterapia y talasoterapia. *Medicina Naturista*, 2(2), 76-88.

Low, J., & Reed, A. (1994). *Electrotherapy explained: principles and practice* (2nd ed ed.). Oxford: Butterworth and Heinemann.

Maertens de Noordhout, A., Rothwell, J., Day, B., Dressler, D., Nakashima, K., & Thompson, P. (1992). Effect of digital nerve stimuli on responses to electrical or magnetic stimulation of the human brain. *Journal of Physiology*, 535-548.

Maglischo, E. (1982). *Swimming faster*. Palo Alto CA, Mayfield.

Maraver, F., Álvarez-Sala, J., Armijo, F., Grego, M., Cuenca, C., de Jorge, J., & Rodríguez-Sánchez, J. (2012). Cien años de la Cátedra de Hidrología Médica. *Balnea*, 7(9-308).

Melzack, R., & Wall, P. (1965). Pain Mechanisms: A New Theory. *Science*, 150(3699), 971-979.

Merrick, M., Rankin, J., Andress, F., & Hinman, C. (1991). A preliminary examination of cryotherapy and secondary injury in skeletal muscle. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31, 1516-1521.

Molina, J. (2010). *L'activitat balneària dels segles XIX i XX a Catalunya i Espanya*. Tesis doctoral, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona.

Moreno, D., & Usach, R. (2007). Ús de la tensiomiografia com a detector de fatiga muscular. *DocuSport, la revista*, 26.

Moreno, D., Usach, R., Busquets, A., Benítez, A., Carrasco, M., Iruña, A., . . . Iglesias, X. (2008). *Tensiomyographic analysis of short-term muscular fatigue induced by specific training in fencing*. Paper presented at the 1st International Congress on Science and Technology in Fencing, Barcelona.

Mur, E., Verdú, A., Cirera, E., Ferrer, M., & Nadal, R. (2012). Manual de Fisioteràpia aquàtica. In C. I. d. F. d. Catalunya (Ed.). Barcelona.

Myrer, J., Draper, D., & Durrant, E. (1994). Contrast therapy and intramuscular temperature in the human leg. *Journal of Athletic Training*, 29(4), 318.

Myrer, J., Measom, G., Durrant, E., & Fellingham, G. (1997). Cold- and hot-pack contrast therapy: subcutaneous and intramuscular temperature change. *Journal of Athletic Training*, 32(3), 238-241.

Paddon-Jones, D., & Quigley, B. (1997). Effect of Cryotherapy on Muscle Soreness and Strength Following Eccentric Exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 18(8), 588-590.

Pazos, J., & Gonzalez, A. (2002). Técnicas de Hidroterapia. Hidrocinesiterapia. *Fisioterapia*, 24(2), 34-42.

Peiffer, J., Abbiss, C., Nosaka, K., Peake, J., & Laursen, P. (2009). Effect of cold water immersion after exercise in the heat on muscle function, body temperatures, and vessel diameter. *Journal Of Science And Medicine In Sport / Sports Medicine Australia*, 12(1), 91-96.

Peiffer, J., Abbiss, C., Watson, G., Nosaka, K., & Laursen, P. (2010a). Effect of a 5-min cold-water immersion recovery on exercise performance in the heat. *British Journal of Sports Medicine*, 44(6), 461-465. doi: 10.1136/bjism.2008.048173

Peiffer, J., Abbiss, C., Watson, G., Nosaka, K., & Laursen, P. (2010b). Effect of cold water immersion on repeated 1-km cycling performance in the heat. *Journal Of Science And Medicine In Sport / Sports Medicine Australia*, 13(1), 112-116.

Perez Fernández, M. (2005). *Principios de la hidroterapia y balneoterapia*. Madrid: McGraw-Hill / Interamericana.

Perez Fernández, M., & Novoa, B. (2002). Historia del agua como agente terapéutico. *Fisioterapia*, 24(2), 3-13.

Pöyhönen, T., & Avela, J. (2002). Effect of head-out water immersion on neuromuscular function of the plantarflexor muscles. *Aviation, Space, And Environmental Medicine*, 73(12), 1215-1218.

Pöyhönen, T., Keskinen, K., Hautala, A., Savolainen, J., & Mälkiä, E. (1999). Human isometric force production and electromyogram activity of knee extensor muscles in water and on dry land. *European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology*, 80(1), 52-56.

Prentice, W. (1999). *Therapeutic modalities in sport medicine* (4th ed ed.). St. Loius: McGraw-Hill.

Purves, D. (2008). *Neurociencia* (3a ed.). Madrid: Editorial Médica Panamericana.

Raimondi, P. (1999). *Cinesiología y psocomotricidad*. Barcelona: Paidotribo.

Remondière, R. (2009). Historia del conocimiento y de la práctica de la kinesiterapia. *EMC - Kinesiterapia - Medicina Física*, 30(1), 1-15.

Rodriguez, G., & Iglesias, R. (2002). Bases físicas de la hidroterapia. *Fisioterapia*, 24(2), 14-21.

Rodríguez, J. (2007). Agua que aún mueve molino: aproximación a la historia balnearia. *Anales de Hidrología Médica*, 2, 9-26.

Rodriguez, L. (2002). Agua. Efectos terapéuticos de las aguas según su composición. *Fisioterapia*, 24 (2), 22-28.

Rowsell, G., Coutts, A., Reaburn, P., & Hill-Haas, S. (2009). Effects of cold-water immersion on physical performance between successive matches in high-performance junior male soccer players. *Journal Of Sports Sciences*, 27(6), 565-573.

Sakakibara, H., Luo, J., Zhu, S., Hirata, M., & Abe, M. (2002). Autonomic nervous activity during hand immersion in cold water in patients with vibration-induced white finger. *Industrial Health*, 40(3), 254-259.

Sanders, J. (1996). *Effect of contrast - temperature immersion on recovery from short - duration intense exercise*. University of Canberra, Canberra, Australia.



Schniepp, J., Campbell, T., Powell, K., & Pincivero, D. (2002). The effects of cold-water immersion on power output and heart rate in elite cyclists. *Journal of Strength & Conditioning Research (Allen Press Publishing Services Inc.)*, 16(4), 561-566.

Sellwood, K., Brukner, P., Williams, D., Nicol, A., & Hinman, R. (2007). Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 41(6), 392-397.

Snow, B., Tsui, J., Bhatt, M., Varelas, M., Hashimoto, S., & Calne, D. (1990). Treatment of spasticity with botulinum toxin: a double-blind study. *Annals of Neurology*, 28(4), 512-515.

Souchard, P. (2012). *Reeducación postural global*. Barcelona: Elsevier España S.L - Masson.

Srámek, P., Simecková, M., Jansky, L., Savlíková, J., & Vybíral, S. (2000). Human physiological responses to immersion into water of different temperatures. *European Journal Of Applied Physiology*, 81(5), 436-442.

Stanton, D., Bear-Lehman, J., Graziano, M., & Ryan, C. (2003). Contrast baths: what do we know about their use? *Journal of hand therapy*, 16, 343 - 346.

Tous-Fajardo, J., Moras, G., Rodríguez-Jiménez, S., Usach, R., Moreno, D., & Maffiuletti, N. (2010). Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(4), 761-766.

Usach, R. (2012). *Anàlisi de les capacitats contràctils mitjançant el mètode tensiomiogràfic (TMG)*. Tesi doctoral, Universitat de Barcelona, Barcelona.

Vaile, J., & Gill, N. (2003). The effect of contrast therapy on symptoms of delayed onset muscle soreness (DOMS). *Journal of Science and Medicine in Sport*, 6.

Vaile, J., Gill, N., & Blazevich, A. (2007). The effect of contrast water therapy on symptoms of delayed onset muscle soreness. *Journal of Strength & Conditioning Research* 21 (3), 697 - 702.

Vaile, J., Halson, S., Gill, N., & Dawson, B. (2008a). Effect of cold water immersion on repeat cycling performance and thermoregulation in the heat. *Journal Of Sports Sciences*, 26(5), 431-440.

Vaile, J., Halson, S., Gill, N., & Dawson, B. (2008b). Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. *International Journal of Sports Medicine*, 29(7), 539-544.

Vaile, J., Halson, S., Gill, N., & Dawson, B. (2008c). Effect of hydrotherapy on the signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *European Journal Of Applied Physiology*, 102(4), 447-455.

Valencic V, Knez N, & B, S. (2001). Tenziomyography: Detection of skeletal muscle response by means of radial muscle belly displacement. *Biomedical engineering*, 1, 1-10.

Valencic, V., & Djordjevic, B. (2001). Influence of acute physical exercise on twitch response elicited by stimulation of skeleton muscles in man. *Biomedical engineering*, 2, 1-4.

Valencic, V., & Knez, N. (1997). Measuring of skeletal muscles' dynamic properties. *Artificial Organs*, 21(3), 240-242.

Viir, R., Laiho, K., Kramarenko, J., & Mikkelsen, M. (2006). Repeatability of trapezius muscle tone assessment by a myometric method. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 6(2), 215-228.

Viitasalo, J., Niemelä, K., Kaappola, R., Korjus, T., Levola, M., Mononen, H., . . . Takala, T. (1995). Warm underwater water-jet massage improves recovery from intense physical exercise. *European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology*, 71(5), 431-438.

Vinyes, F. (2004). *Hidroterapia. La curación por el agua*. Barcelona: Integral.

Weston, C., O'liare, J., Evans, J., & Corrall, R. (1987). Haemodynamic changes in man during immersion in water at different temperatures. *Clinical Science*, 73, 613-616.

Wilcock, I., Cronin, J., & Hing, W. (2006a). Physiological response to water immersion: a method for sport recovery? *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 36(9), 747-765.

Wilcock, I., Cronin, J., & Hing, W. (2006b). Water immersion: does it enhance recovery from exercise? *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 1(3), 195-206.

Winternitz, W. (1886). *Hidroterapia fundada en la fisiología y en la clínica*. Pontevedra: Luis Carragal y Puga.

Wong, C. W. (2008). *Apuntes: Registros en fisioterapia Neurológica 08-09*. EUIF Blanquerna. Barcelona.

Yamane, M., Teruya, H., Nakano, M., Ogai, R., Ohnishi, N., & Kosaka, M. (2006). Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. *European Journal Of Applied Physiology*, 96(5), 572-580.

Yanagisawa, O., Miyanaga, Y., Shiraki, H., Shimojo, H., Mukai, N., Niitsu, M., & Itai, Y. (2003). The effects of various therapeutic measures on shoulder strength and muscle soreness after baseball pitching. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43, 189-201.

Zagar, T., & Krizaj, D. (2005). Validation of an accelerometer for determination of muscle belly radial displacement. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 43(1), 78-84.

# **Annexes**