



VNIVERSITAT
DE VALÈNCIA



Facultat de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN
FÍSICA Y DEPORTIVA

PROGRAMA DE DOCTORADO 3161
ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE

TESIS DOCTORAL

**ACTIVACIÓN NEUROMUSCULAR
EN UN EJERCICIO DE ADUCCIÓN
DE CADERA EN EL MEDIO
ACUÁTICO EN FUNCIÓN DEL
MATERIAL Y LA PROFUNDIDAD**

PRESENTADA POR:
D. JOSEP ESTEVE FURIÓ VAYÀ

DIRIGIDO POR:
DR. D. JUAN CARLOS COLADO SÁNCHEZ
DR. D. VÍCTOR TELLA MUÑOZ

Valencia, 2016

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA

PROGRAMA DE DOCTORADO 3161
ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE



TESIS DOCTORAL

ACTIVACIÓN NEUROMUSCULAR EN UN EJERCICIO DE ADUCCIÓN DE CADERA EN EL MEDIO ACUÁTICO EN FUNCIÓN DEL MATERIAL Y LA PROFUNDIDAD

PRESENTADA POR:

D. JOSEP ESTEVE FURIÓ VAYÀ

DIRIGIDO POR:

DR. D. JUAN CARLOS COLADO SÁNCHEZ

DR. D. VÍCTOR TELLA MUÑOZ

Valencia, 2016

Dr. D. Juan Carlos Colado Sánchez, Profesor Titular de la Universitat de València, adscrito al *Departament de Educado Física i Esportiva* de la Universitat de València.

Dr. D. Víctor Tella Muñoz, Profesor Titular de la Universitat de València, adscrito al *Departament de Educado Física i Esportiva* de la Universitat de València.

CERTIFICAN:

Que el presente trabajo, titulado "**Activación neuromuscular en un ejercicio de aducción de cadera en el medio acuático en función del material y la profundidad**" ha sido realizado bajo su dirección en el *Departament d'Educació Física i Esportiva* de la *Universitat de València* para optar al grado de Doctor. Habiéndose concluido, y reuniendo a su juicio las condiciones de originalidad y rigor científico necesarias, autorizan su presentación a fin de que pueda ser defendido ante el tribunal correspondiente.

Y para que así conste, expiden y firman la presente certificación en Valencia, a 4 de abril de 2016.

Fdo: Juan Carlos Colado Sánchez

Fdo: Víctor Tella Muñoz

Agradecimientos

En la tesis que se presenta han intervenido, directa e indirectamente, una serie de personas sin las cuales no hubiese sido posible su realización. Por ello, quiero expresarles desde estas líneas mi reconocimiento y agradecimiento más sincero.

Al Dr. D. Juan Carlos Colado, por haber confiado en mí al acogerme en su equipo de investigación y darme la oportunidad de iniciarme en el complejo pero fascinante mundo de la investigación. También por su comprensión en los momentos críticos y por guiarme pacientemente por el camino adecuado.

Al Dr. D. Víctor Tella, por sus consejos, su confianza y su apoyo.

A mis compañeros del grupo de investigación, y en especial a Sebastien Borreani, por transmitirme sus conocimientos sin reservas y prestarme su ayuda cuando se la he solicitado sin pedir nunca nada a cambio.

A Fernando Martín, por la ayuda ofrecida durante el periodo de recogida de datos durante el estudio.

A César Miquel por sus aportaciones y su amistad a lo largo de tantos años.

A Ximo Madera por sus consejos en cuanto al formato.

A la empresa Leisis S. L., por haber prestado desinteresadamente el material que se ha utilizado en este estudio.

Y, cómo no, a todos aquellos voluntarios que se prestaron a colaborar como muestra en el presente estudio, sin los cuales hubiese sido imposible el desarrollo del trabajo realizado.

Y con especial cariño:

- A mi hermano, Joan, pilar básico en mi discurrir por esta vida. Compañero, amigo y protector. Ojalá pueda devolvarte algún día todo lo que de ti he recibido

- A mis padres, José Esteban y Josefina, por hacerme el impagable regalo de una educación en valores fuerte y provechosa, base sin la cual no se llega a ningún lado. Por su ejemplo en la vida, el cual sin duda forma ya parte indisoluble de mi persona. Y, cómo no, por su constante apoyo, atención y ánimo.

- A mi mujer, Mónica, por estar al pie del cañón día y noche, asistiéndome, animándome y apoyándome en todo momento. Por aguantarme y aguantar tantas situaciones difíciles, por darme mil y una oportunidades para ser mejor, y por regalarme su compañía y su persona día tras día.

Resumen

Las últimas tres décadas han sido prolíficas en cuanto a producción científica referida a los beneficios que la mejora de la condición física tiene sobre la salud y el rendimiento, así como a la forma de obtenerlos. Tradicionalmente, en el medio acuático dicha producción científica se ha concentrado en la natación competitiva, aunque debe resaltarse el hecho de que cada vez existen más estudios dedicados a los efectos agudos y crónicos del entrenamiento de la condición física en ejercicios acuáticos en posición vertical. En este sentido, el medio acuático se ha posicionado como un medio válido para la adquisición de dichos beneficios, de modo que es perfectamente viable conseguir mejoras en la fuerza (además de en otros parámetros) a través de la ejercitación en posición vertical en dicho medio. A su vez, para conseguir estas mejoras en el medio acuático, se ha recurrido de forma asidua a las propiedades que ofrecen materiales diversos, entre los cuales destacan los materiales de resistencia y los materiales de flotación. No obstante, el conocimiento acerca del comportamiento de la actividad eléctrica del músculo al utilizar estos materiales es muy limitado, así como su uso en diferentes profundidades de inmersión. Así pues, el objetivo de la presente tesis es estudiar el efecto que tiene el uso de diversos materiales y profundidades sobre la activación eléctrica del aductor largo y varios músculos del tronco en un ejercicio de fuerza para miembros inferiores en el medio acuático. Para ello, 24 varones jóvenes y con experiencia en el entrenamiento de la fuerza, y tras familiarización previa con los procedimientos y condiciones a evaluar, efectuaron en una misma sesión de medición 3 repeticiones de aducción de la cadera a la máxima velocidad de ejecución empleando en un orden aleatorizado 4 dispositivos diferentes ubicados en la articulación del tobillo (material de resistencia grande, de resistencia pequeño, de flotación grande, y de

flotación pequeño) y con dos niveles de inmersión corporal (a nivel de apófisis xifoides y a nivel clavicular). Siguiendo procedimientos validados para la obtención de las señales electromiográficas en el medio acuático, se registró el valor de la máxima amplitud de la señal durante la fase concéntrica del movimiento para los músculos aductor largo, recto anterior del abdomen, oblicuo externo del lado dominante, oblicuo externo del lado no dominante y erector espinal lumbar. Dichas señales electromiográficas se normalizaron mediante la obtención previa de la máxima contracción voluntaria isométrica de cada uno de los grupos musculares analizados. No se han detectado diferencias significativas ($p>0.05$) entre la activación proporcionada por los diferentes materiales para ninguno de los músculos estudiados en la profundidad de apófisis xifoides. Tampoco se han encontrado diferencias significativas ($p>0.05$) en la activación de los diversos músculos al comparar la activación muscular proporcionada por las condiciones entre las dos profundidades de inmersión corporal evaluadas. No obstante, en las condiciones realizadas a la profundidad de inmersión de la apófisis xifoides y también clavicular se ha detectado una activación significativamente mayor para el oblicuo externo del lado no dominante respecto al oblicuo externo del lado dominante para las diferentes condiciones de dichas profundidades ($p<0.05$). Así pues, ni el material utilizado ni la profundidad a la que se realiza el ejercicio parecen afectar a la activación muscular del aductor largo y los músculos del tronco estudiados durante la aducción de cadera en el medio acuático.

Palabras clave: electromiografía de superficie, entrenamiento acuático, cadera, material de flotación, core, ejercicio unilateral.

Abstract

The last three decades have been prolific regarding the scientific studies concerning the benefits that the improvement of physical fitness has on health and performance, as well as the way to obtain them. Traditionally, in the aquatic environment such scientific production has focused on competitive swimming. Nevertheless, we should remark the fact that one can find an increasing number of works devoted to studying the acute and chronic effects of training the physical condition in vertical aquatic exercises. In this sense, the aquatic environment stands for a valid means to acquire these benefits, so it is perfectly feasible to achieve improvements in strength (as well as other parameters) through the head-out aquatic exercise. In turn, to achieve these improvements in the aquatic environment, professionals has resorted assiduously to the properties that various materials offer, among which resistance and floating materials can be highlighted. However, knowledge about the behavior of the electrical activity of muscle whenever these materials are used is still very limited, as well as its use in different immersion depths. Thus, the aim of this thesis is to study the effects of the use of different materials and depths on the electrical activation of the adductor longus and some other trunk muscles in a strength exercise for lower limbs in the aquatic environment. To do this, 24 young and strength-trained men, and after prior familiarity with the procedures and conditions to evaluate, made 3 repetitions of hip adduction at the maximum speed of execution using in randomized order 4 different devices located in the ankle joint (high resistance device, small resistance device, large flotation device and small flotation device) and two levels of body immersion (at xiphoid process level and clavicular level), in the same measurement session. Following validated procedures for obtaining electromyography signals in the aquatic environment, the value of the maximum amplitude of the signal

during concentric phase of the movement for muscles adductor longus, rectus abdominis, oblique dominant side, oblique external nondominant side and erector lumbar spinae was recorded. Such electromyographic signals were normalized by prefetching maximal voluntary isometric contraction of each analyzed muscle. No significant differences were detected ($p>0.05$) between the activation provided by the different materials for any of the muscles studied in xiphoid process depth. Nor were significant differences ($p>0.05$) detected when comparing the muscular activations provided by the conditions of both assessed body immersion depths. However, regarding the conditions made to the depth of immersion of the xiphoid process and clavicular, a meaningfully higher activation for the external oblique nondominant side was detected compared with the external oblique dominant side ($p < 0.05$). Thus, neither the material used nor the depth at which the exercise is performed seem to affect the adductor longus and studied trunk muscles activation during hip adduction in the aquatic environment.

Keywords: surface electromyography, water training, hip, floating device, core, unilateral exercise.

Índice de contenidos

1. Introducción	1
2. Marco teórico	5
2.1. La relación histórica entre el hombre y el agua.	7
2.1.1. Evolución de la práctica física en el medio acuático.	7
2.1.2. Las actividades acuáticas en España desde 1980 hasta la actualidad.	11
2.1.3. Breve historia de la hidroterapia.	15
2.2. Propiedades del agua.	18
2.2.1. Densidad y flotabilidad.	19
2.2.2. Presión hidrostática.	22
2.2.3. Factores termodinámicos.	24
2.2.4. Viscosidad.	27
2.3. Acondicionamiento físico en el medio acuático.	29
2.3.1. Materiales en el acondicionamiento físico en el medio acuático.	31
2.3.2. Entrenamiento de la fuerza en el medio acuático.	33
2.3.2.1. Ejercicios de salto en el medio acuático.	34
2.3.2.2. Trabajo de fuerza en sujetos de edad avanzada y poblaciones especiales en el medio acuático.	36
2.3.2.3. Entrenamiento de la fuerza en sujetos jóvenes y adultos en el medio acuático.	41
2.4. La musculatura del tronco en el acondicionamiento físico.	47
	XI

2.4.1. Las situaciones que generan inestabilidad como recurso para el entrenamiento del <i>core</i> .	51
2.4.2. Estudio de la actividad de los músculos del tronco en el medio acuático.	60
2.5. Electromiografía como técnica para medir la actividad eléctrica del músculo.	64
2.5.1. Comparación electromiográfica de la máxima contracción voluntaria isométrica en tierra y agua.	69
2.5.2. Comparación de la señal electromiográfica en ejercicios dinámicos en tierra y en agua.	72
2.5.3. Comparación de la señal electromiográfica en ejercicios dinámicos en el medio acuático.	79
2.6. Síntesis bibliográfica y génesis de la investigación.	84
3. Objetivos e hipótesis	87
3.1. Objetivo general.	89
3.2. Objetivos específicos.	89
3.3. Hipótesis.	90
4. Material y métodos	91
4.1. Diseño.	93
4.2. Población y muestra.	93
4.2.1. Descripción de la muestra.	94
4.3. Material.	94
4.3.1. Material utilizado para la descripción de la muestra.	94

4.3.2. Material utilizado para la realización de las diferentes condiciones de ejercitación.	95
4.3.3. Material utilizado para la obtención de la variable dependiente.	97
4.4. Protocolo seguido para la medición de las variables dependientes.	98
4.4.1 Procedimientos generales.	98
4.4.2. Sesión de familiarización.	99
4.4.3. Sesión de medición.	100
4.4.3.1. Test de máxima contracción voluntaria isométrica.	100
4.4.3.2. Músculos estudiados.	103
4.4.3.3. Ejercicios.	105
4.4.3.4. Profundidad.	107
4.4.4. Electromiografía (EMGs).	109
4.4.4.1. Preparación de la piel.	109
4.4.4.2. Ubicación y colocación de los electrodos.	110
4.4.4.3. Aislamiento de los electrodos.	111
4.4.4.4. Tratamiento de las señales electromiográficas.	113
4.4.5. Cuantificación de la velocidad de ejecución de los ejercicios.	114
4.5. Análisis estadístico.	116
5. Resultados	119
5.1. Diferencias en la activación muscular entre condiciones a nivel de inmersión corporal a la apófisis xifoides.	121

5.2. Diferencias entre profundidad de inmersión a nivel de la apófisis xifoides y clavicular.	125
5.3 Diferencia en la activación muscular del oblicuo externo del lado dominante respecto del no dominante.	126
5.4. Diferencias en la velocidad angular de ejecución.	128
6. Discusión	131
6.1. Nivel de activación de los músculos.	133
6.2. Comportamiento de los músculos del tronco en la aducción de cadera.	143
6.3 Diferencias entre distintas profundidades de inmersión corporal.	148
6.4. Valoración de las activaciones musculares conseguidas.	154
7. Conclusiones	159
8. Implicaciones prácticas	163
9. Limitaciones y propuestas para futuros estudios	167
9.1. Limitaciones.	169
9.2. Propuestas para futuros estudios.	169
10. Referencias bibliográficas	171
11. Anexos	203
Anexo 1: Consentimiento informado.	205
Anexo 2. Ficha de recogida de datos de la muestra.	206
Anexo 3. Distribución aleatoria de los ejercicios.	207
Anexo 4. Publicaciones derivadas de la presente tesis	209

Anexo 5: Modelo informático de Matlab 7.0 para el tratamiento de señales de EMGs. 210

Índice de figuras

Figura 4.1. Material de resistencia y de flotación	95
Figura 4.2. Materiales utilizados para el control de la ejecución del ejercicio	97
Figura 4.3. Material utilizado para la electromiografía y el aislamiento de electrodos	97
Figura 4.4. Test de MCVI en todos los músculos estudiados. De izquierda a derecha, aductor largo, recto anterior del abdomen, oblicuo externo lado izquierdo, oblicuo externo lado derecho, y erector espinal lumbar (abajo).	102
Figura 4.5. Músculos estudiados. De izquierda a derecha: aductor largo, recto anterior del abdomen, oblicuo derecho, oblicuo izquierdo y erector espinal lumbar (abajo). Tomado de la aplicación web The Biodigital Human (Biodigital, Inc., Nueva York)	104
Figura 4.6. Ejercicio de aducción de cadera (posición intermedia) con material de flotación grande.	106
Figura 4.7. Realización del movimiento completo de aducción con material de resistencia grande. De izquierda a derecha: posición inicial, intermedia, y final	107
Figura 4.8. Niveles de profundidad, ejercicios y material empleado	108
Figura 4.9. Ubicación de los electrodos. De izquierda a derecha: aductor largo, recto anterior del abdomen, oblicuo externo lado izquierdo y derecho, y erector espinal lumbar. Tomado de Cram (2011).	111
Figura 4.10. Proceso de implementación y aislamiento de la EMGs	113
Figura 4.11. Señales electromiográficas de MCVI (arriba) y ejercicio dinámico (abajo). La señal cruda o raw (izquierda en rojo) y señal tratada (derecha en azul).	114
Figura 4.12. Obtención de la velocidad angular a partir de la angulación y el tiempo con el software Dartfish.	116
Figura 5.1. Porcentaje de activación de la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) del aductor largo proporcionada por los diferentes materiales a nivel de la	

apófisis xifoides. RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño 122

Figura 5.2. Porcentaje de activación de la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) del recto anterior del abdomen proporcionada por los diferentes materiales a nivel de la apófisis xifoides. RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño 123

Figura 5.3. Porcentaje de activación de la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) del oblicuo externo del lado dominante proporcionada por los diferentes materiales a nivel de la apófisis xifoides. RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño 123

Figura 5.4. Porcentaje de activación de la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) del oblicuo externo del lado no dominante proporcionada por los diferentes materiales a nivel de la apófisis xifoides. RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño. 124

Figura 5.5. . Porcentaje de activación de la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) del erector espinal lumbar proporcionada por los diferentes materiales a nivel de la apófisis xifoides. RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño 124

Figura 5.6. Porcentaje de activación de la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) global de todos los músculos proporcionada por cada material a nivel de la apófisis xifoides. RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño 125

Figura 5.7. Porcentaje de activación sobre la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) proporcionados por el material de resistencia en las dos profundidades estudiadas. AL: aductor largo; RA: recto anterior del abdomen; OED: oblicuo externo lado dominante; OEND: oblicuo externo lado no dominante; EES: erector espinal lumbar 126

Figura 5.8. Porcentaje de activación sobre la máxima contracción voluntaria individual (%MCVI) del oblicuo externo del lado dominante (OED) y no dominante (OEND) en la profundidad de apófisis xifoides en todas las condiciones de material. RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño 127

Figura 5.9. Porcentaje de activación sobre la máxima contracción voluntaria individual (%MCVI) del oblicuo externo del lado dominante (OED) y no dominante (OEND) a la profundidad de clavícula 128

Índice de tablas

Tabla 4.1. Descriptivos de la muestra.	94
Tabla 5.1. Media \pm EEM de %MCVI de los diferentes músculos en las diferentes condiciones de material a nivel de apófisis xifoides (n = 24)	122
Tabla 5.2. Media \pm (EEM) de %MCVI de los diferentes músculos durante las dos condiciones de profundidad (n = 24)	126
Tabla 5.3. Media \pm (EEM) de %MCVI de los músculos oblicuo del lado dominante (OED) y no dominante (OEND) en las diferentes condiciones de material a la profundidad de inmersión de la apófisis xifoides	127
Tabla 5.4. Media \pm (EEM) de %MCVI de los músculos oblicuo del lado dominante (OED) y no dominante (OEND) en la condición de material de resistencia grande a la profundidad de inmersión clavicular	128
Tabla 5.5 Velocidad angular media \pm EEM en el ejercicio de aducción de cadera a nivel de la apófisis xifoides con diferentes materiales (n = 8).	129
Tabla 5.6. Velocidad angular media \pm EEM en el ejercicio de aducción de cadera con material de resistencia grande en las dos profundidades de inmersión corporal estudiadas (n = 8).	129
Tabla 6.1. Correspondencia entre intensidades y niveles de activación en ejercicios de aducción de cadera según Brandt et al. (2013).	156

Abreviaturas

%MCVI	Porcentaje de la máxima contracción voluntaria isométrica
ACSM	American College of Sports Medicine
AHA	American Heart Association
AL	Aductor largo
ANOVA	Análisis de la varianza
DE	Desviación estándar
EEL	Erector espinal lumbar
EEM	Error estándar de la media
EH	Empuje hidrostático
EMG	Electromiografía
EMGs	Electromiografía de superficie
FG	Material de flotación grande
FP	Material de flotación pequeño
MCVI	Máxima contracción voluntaria isométrica
OED	Oblicuo externo del lado dominante
OEND	Oblicuo externo del lado no dominante
ppm	Pulsos por minuto
RA	Recto anterior del abdomen
RG	Material de resistencia grande
RM	Repetición máxima
RMS	Root mean square (valor cuadrático de la media)
RP	Material de resistencia pequeño
UM	Unidad motora

VO₂

Consumo de oxígeno

VO₂máx

Consumo de oxígeno máximo

1. Introducción

En las últimas décadas, el acondicionamiento físico en general ha experimentado un gran auge gracias a que la sociedad ha modificado su percepción y conocimiento sobre el ejercicio físico. Gracias a los numerosos estudios que han ido surgiendo, la idea de la salud se ha ido uniendo inexorablemente a la de ejercitación física, aumentando la población que se preocupa por su salud y su bienestar y busca productos y actividades que satisfagan esa necesidad (Colado, 1996). Fruto de ello ha sido la ingente diversificación de la oferta dirigida al ocio de actividad física y la salud, entre la cual ha emergido el acondicionamiento físico en el medio acuático (Colado & Moreno, 2001). Este tipo de actividades han experimentado un auge y han proliferado considerablemente en nuestra sociedad dando lugar a una variada oferta dentro de las instalaciones acuáticas de nuestro país (González & Sebastián, 2000). Por tanto, este tipo de acondicionamiento físico ha evolucionado dando pruebas empíricas de su influencia en la mejora de los parámetros saludables de la población, tales como el aumento de la fuerza, de la masa muscular y la disminución del tejido graso, entre otros (Cardoso, Tartaruga, Barella, Brentano, & Krueel, 2004; Colado, Triplett, Tella, Saucedo, & Abellán, 2009; Katsura et al., 2010; Takeshima et al., 2002). Entre las actividades más demandadas se encuentran aquellas que tienen como objetivo la mejora de la fuerza, la resistencia y la flexibilidad (Colado, 2004).

Como según se destaca de manera contundente en la literatura científica, las actividades que pretenden mejorar la fuerza son necesarias por sus efectos positivos en términos metabólicos, neuromusculares, psicológicos y funcionales (Colado & Chulvi, 2008). Sin embargo, estos estudios son menos abundantes al respecto del entrenamiento de la fuerza en el medio acuático existiendo por tanto aún pocos trabajos científicos que lo hayan abordado de manera específica (Borreani et al., 2014), dado que en general, son muchas las actividades con este objetivo que se llevan a cabo en el día a día de las

instalaciones y muy poca la base científica de éstas por la relativa juventud de las investigaciones, quedando evidenciada la necesidad de profundizar en su estudio. De manera concreta, comienzan a existir unos pocos estudios que ponen de relevancia una metodología específica y unos resultados que apuntan a que este tipo de ejercicio podría ser una práctica totalmente válida y equiparable al entrenamiento de la fuerza en tierra, además de que podría evitar problemas articulares gracias a la propiedad de la hipogravidez, la cual disminuye el impacto en ciertas articulaciones sin mermar los efectos del entrenamiento de fuerza (Alberton et al., 2015; Colado, Garcia-Masso, González, et al., 2010; Colado & Triplett, 2009; Pöyhönen et al., 2001a, 2001b; Triplett et al., 2009; Tsourlou, Benik, Dipla, Zafeiridis, & Kellis, 2006). Algunos de estos trabajos emplean la electromiografía de superficie aplicada en dicho medio para evidenciar aspectos relevantes a la aplicabilidad de estas propuestas, aunque la forma de implementarla es más compleja que si se hiciera en el medio terrestre (Carvalho et al., 2010; Masumoto & Mercer, 2008; Pinto et al., 2010; Pöyhönen et al., 2001b, 2002; Rainoldi, Cescon, Bottin, Casale, & Caruso, 2004; Silvers & Dolny, 2010). Por tanto, de lo expuesto se debe resaltar que son escasos los estudios que describen la actividad muscular en ejercicios de fuerza acuáticos y aún menos los que se centran en gestos realizados con los miembros inferiores. El fortalecimiento de estos miembros es importante, ya que éste está directamente relacionado con la prevención de lesiones en diversas modalidades deportivas (Chomiak, Junge, Peterson, & Dvorak, 2000; Dvorak & Junge, 2000; Hanna, Fulcher, Elley, & Moyes, 2010), además de reducir los síntomas asociados a la osteoartritis y garantizar una mejor calidad de vida en general (Bennell et al., 2010).

A su vez, acompañando a dichas actividades, existe una gran variedad de materiales que los profesionales utilizan con más o menos acierto para que les ayuden a

conseguir los objetivos propios de los programas que llevan a cabo (Barbosa, Marinho, Reis, Silva, & Bragada, 2009; Colado, 2004). Entre esos materiales destacan dos grupos, los materiales de resistencia y los materiales de flotación. No obstante, el escaso número de investigaciones sobre la utilidad de esos equipamientos no casa con la enorme variedad de aparatos comercialmente disponibles y su uso sobre una base fundada en ejercicios de acondicionamiento físico en el medio acuático (Colado & Triplett, 2009). Por lo tanto, es estrictamente necesario que se evalúen las repercusiones reales que puedan llegar a producir estos materiales sobre las adaptaciones al ejercicio físico en el medio acuático (Barbosa et al., 2009). De manera concreta, respecto al material de resistencia hay estudios que lo utilizan con diversos fines, como comprobar su efectividad sobre la mejora neuromuscular y ganancia de fuerza en un entrenamiento a corto-medio plazo, medir la activación muscular puntual que puede llegar a proporcionar dicho material variando el tamaño del área que proporciona la resistencia y ejecutando el movimiento a diferentes cadencias, o variar la ejercitación cardiovascular en el medio acuático (Colado, Tella, & Triplett, 2008; Colado & Triplett, 2009; De Souza et al., 2012; Pöyhönen et al., 2002). También existen unos pocos estudios que analizan el empleo del material de flotación para el entrenamiento de la fuerza (Costa, Alfonso, Bragada, Reis, & Barbosa, 2008; Graef, Pinto, Alberton, De Lima, & Kruel, 2010; Kruel et al., 2005). Únicamente se ha encontrado dos estudios que utilicen y comparen material de resistencia y material de flotación, aunque sólo existe gradación de las condiciones en el más reciente (Colado et al., 2013; Pinto et al., 2011).

Por otro lado, dentro de las actividades para el entrenamiento de la fuerza en general y, en particular, también de aquellas que se desarrollan en el medio acuático, destaca la ejercitación de la musculatura del tronco (*core*) debido a su efecto positivo sobre la prevención de lesiones, el aumento del rendimiento y la mejora de la calidad de

vida (Behm & Colado, 2012). En particular, con referencia al estudio de la ejercitación de la musculatura del *core* en el medio acuático, existen unos pocos artículos que han estudiado diversos músculos del tronco (por ejemplo: multifídus, recto anterior del abdomen, oblicuo externo y erector espinal) durante la ejecución de diversos ejercicios en situaciones diferentes, como por ejemplo la carrera y marcha en agua profunda y a diferentes cadencias, y aducción-abducción del hombro a una cadencia determinada (Bressel, Dolny, & Gibbons, 2011; Colado & Tella, 2006; Colado et al., 2008; Kaneda, Sato, Wakabayashi, & Nomura, 2009). Cabe destacar que, hasta donde se conoce, no existe ningún estudio que describa el comportamiento de uno o varios músculos del tronco durante la ejecución de un ejercicio analítico realizado con el miembro inferior en el medio acuático y menos aún que ponga de relevancia la influencia en la profundidad de inmersión durante su realización sobre la activación de músculos fásicos de las extremidades y estabilizadores del tronco.

En consecuencia, después de la revisión profunda de la literatura existente hasta la fecha, se ha llegado a la conclusión de que no hay estudios que hayan comparado la actividad eléctrica del músculo de manera analítica en diferentes situaciones de implementación graduada (flotación y resistencia), en movimientos del miembro inferior en el plano frontal (aducción) y a diferentes profundidades, destacándose así la originalidad del presente trabajo.

2. Marco teórico

A continuación se procede a desarrollar los apartados del marco teórico que dotarán a la presente tesis de una base científica, además de poner de relevancia las lagunas actuales a las que pretende dar respuesta el trabajo que aquí se presenta.

2.1. La relación histórica entre el hombre y el agua.

“Todo lo que nace proviene necesariamente de una causa; pues sin causa nada puede tener origen” (Platón, 427 a. C. – 347 a. C.)

Se considera necesario y conveniente incluir un apartado referido a la evolución de las prácticas en el medio acuático a lo largo de la historia de la humanidad para así conocer el origen de estas prácticas y entender, después de esta exposición, el estado actual de las mismas; aunque cabe recalcar que sólo se expondrán aquellas prácticas relacionadas con la ejercitación física (excluyendo la navegación). Este apartado consistirá, pues, en una sucinta exposición de los principales hechos históricos que han marcado la evolución de las prácticas físicas en el agua, haciendo un especial hincapié en la época contemporánea.

2.1.1. Evolución de la práctica física en el medio acuático.

El ser humano, al estar adaptado al medio terrestre, no ha nacido con patrones motores destinados a moverse eficazmente en el medio acuático, por lo que su adaptación a este medio ha estado mediatizada en gran medida por la cultura y costumbres del lugar en que haya nacido cada uno (Moreno, 2000). Esto queda reflejado por las diversas formas de moverse en el agua que han aparecido y evolucionado a lo largo de la historia de la humanidad y que principalmente han tenido una orientación utilitaria (conseguir alimento, conseguir ventajas en las batallas, productos para

comerciar, etc.) aunque no se puede descartar que también lo pudiera hacer por placer (Llana, Pérez, & Aparicio, 2011).

Las evidencias más antiguas de las que dispone la arqueología respecto a la relación entre el hombre y el agua datan del año 4500 a. C. Se trata de unas pinturas rupestres encontradas en una cueva al suroeste de Egipto donde se puede observar un grupo de humanos nadando; esta cueva fue bautizada como “Cueva de los Nadadores” por su descubridor, el conde Laszlo Almasy (Llana et al., 2011).

Las primeras grandes civilizaciones se asentaron en la ribera de grandes ríos (Indo, Tigris y Éufrates, Nilo), por lo que no es de extrañar que surgiera una relación entre el hombre y el agua. La cultura Harappa surgió hacia el 2500-1800 a. C., y perteneciente a esta cultura es la ciudad de Mohenjo-Daro, donde se encontró lo que histórica y arqueológicamente se considera como la primera “piscina”, con unas dimensiones de 11,7 m de largo por 6,9 m de ancho y 2,4 m en su zona más profunda. Se ha concluido que era una piscina por las características de su construcción (ladrillos empastados de forma más compacta que el resto, así como restos de un impermeabilizante en su interior) (Llana et al., 2011). Tanto la civilización mesopotámica (3000-2330 a. C.), como la persa y asiria (2300-600 a. C.), han dejado constancia de su interacción con el medio acuático. Así pues, de la primera se ha conservado un texto en el cual un rey demuestra sus dotes como nadador y buceador, además de usar el baño como función recreativa, por lo que se puede deducir que en dicha civilización se pudieron dar ambas vertientes del uso acuático (Añó, 1997). De las segundas han perdurado muchas escenas natatorias de sus soldados en diversos bajorrelieves, los cuales eran los únicos que tenían permitido bañarse en el río, ya que en estas civilizaciones los ríos tenían la consideración de sagrados. Así pues, estas civilizaciones vieron que dominar los desplazamientos en el medio acuático suponía una

clara ventaja en la guerra. Además, la civilización asiria aporta la primera prueba arqueológica de un material auxiliar utilizado en la locomoción acuática: una vejiga hinchada para aumentar la flotabilidad (Añó, 1997).

Las culturas griega y romana fueron muy prolíficas en prácticas acuáticas, ya que hoy en día se conservan numerosos testimonios tanto en escritos como en el arte. Los griegos incluían la natación en su programa educativo, aunque un hecho a tener en cuenta es que nunca se incluyeron pruebas natatorias ni acuáticas en ninguno de los Juegos Panhelénicos de la antigüedad, aunque sí se sabe que la natación formaba parte de la preparación del atleta por algunos textos del historiador griego Pausanías; no obstante, sí que se tiene constancia de carreras de natación una vez al año en la polis de Hermione (Llana & Pérez, 2007). También es bien conocida la importancia de la natación en la sociedad griega gracias a la famosa frase que pronunció el célebre filósofo Platón, quien dijo: "¿debería confiarse un cargo público a personas que son lo contrario de la gente culta, los cuales, según el proverbio, no saben ni nadar, ni leer?" (Betancur, 1996). De dicha frase se deduce que los griegos situaban a la natación en el mismo nivel de importancia que otras capacidades intelectuales. Pero no todas las prácticas giraban en torno al desplazamiento acuático, ya que ha llegado hasta nuestros días un fresco del año 470 a.C. situado en la polis de Poseidonea, en Campania (Italia) llamado "La tumba del zambullidor", en una clara alusión a los saltos, así como una figura del año 460 a. C. que representa a una persona en la posición preparatoria típica previa a la realización de un salto de cabeza (Llana et al., 2011). Por su parte, los romanos heredaron de los helenos muchas de las prácticas acuáticas. Así pues también realizaban competiciones natatorias anuales, aunque los hechos más reseñables son la creación en el ejército del primer escuadrón especializado en el medio acuático, llamado "urinadores" (buzos o buceadores) y la aparición de bailes acuáticos coreografiados de

hombres y mujeres formando diversas figuras, como atestigua un fresco hallado en Pompeya (Clemençon, 2000 citado en Tuero-Del Prado, 2013).

El Renacimiento supuso una vuelta a los valores clásicos helenos, con lo que el hombre y la práctica física volvieron a ser objeto de estudio después de una Edad Media marcada por la negación del cuerpo y toda práctica física (a excepción de los caballeros con fines bélicos). Este estudio se plasmó en lo que se considera el primer libro de natación, «Colymbetes, sive de arte natandi dialogus et festivus et iucundus lectu», que fue escrito por Nicholas Wynman e impreso en 1538 en Ausburgo, Alemania (Moreno, 2000). Desde esta publicación hasta el siglo XIX se escribieron numerosos tratados sobre la natación en Alemania, Gran Bretaña, Francia, y lo que finalmente se convertiría en los EEUU de América (Llana, Pérez, Del Valle, & Sala, 2012).

Durante el s. XIX, la natación se difundió gracias a las grandes travesías realizadas por personajes notables, las cuales tuvieron una gran propagación entre la población. Tal es el caso de la travesía realizada por Lord Byron en 1810 emulando al personaje griego Leandro cruzando a nado el estrecho de los Dardanelos, el capitán Matthew Weeb en 1875 atravesando el Canal de la Mancha por primera vez, o Gertrude Ederle (1926), la primera mujer en realizar la misma travesía (Llana et al., 2012; Mestres, 1956 citado en Tuero-Del Prado, 2013). También pertenecen a este siglo las primeras asociaciones en torno a actividades acuáticas, como son la National Swimming Association (1837, en Inglaterra), la primera asociación de Salvamento y Socorrismo, la Life Living Society (1891, también en Inglaterra), así como la creación de diversos clubes de “ballet acuático”, los cuales se inician con el s. XIX por hombres y solo a partir del 1900 empiezan a incorporarse mujeres (Joven, 2001 citado en Tuero-Del Prado, 2013; Llana et al., 2012). Estas asociaciones serían el germen de lo que finalmente sería la FINA, fundada en el año 1904 en Londres. Cabe señalar también que

la primera piscina moderna se construyó en el 1845 en Inglaterra. Pero el hecho definitivo que impulsó la natación a un nivel internacional fueron los primeros Juegos Olímpicos de la era moderna en la Atenas de 1896. Las competiciones se realizaron en una bahía cerca del puerto del Pireo (la primera competición olímpica en piscina no llegaría hasta París 1924), y todas fueron de la modalidad “estilo libre” (Llana et al., 2012). En España, los inicios de la natación como deporte se la debemos a Bernardo Picornell, quien en 1907 fundó el primer club de natación, el Club Natación Barcelona. Más tarde llegarían las construcciones de las primeras instalaciones acuáticas españolas destinadas a la práctica de este deporte; la primera piscina descubierta fue construida en el 1916 por el Club Natación Sabadell, mientras que la primera piscina cubierta data del 1923 y la obra corrió a cargo del Club Natación Barcelona (Carnero, 1990). Hasta el último tercio del siglo XX, las instalaciones acuáticas (piscinas) estaban vinculadas a los clubes acuáticos y también náuticos, lo cual marcaría de forma determinante las tendencias de las prácticas acuáticas, que quedaron supeditadas al uso deportivo y competitivo (Zapico & Tuero-Del Prado, 2010).

2.1.2. Las actividades acuáticas en España desde 1980 hasta la actualidad.

La instauración de la democracia en España marcó el inicio de la democratización del deporte, de manera que a partir de ese momento, y gracias a la Constitución, los ciudadanos españoles tienen el derecho a la práctica deportiva, así como las entidades públicas tienen la obligación de fomentar y promocionar el deporte para todos sus ciudadanos (Zapico & Tuero-Del Prado, 2010). De esta forma surge un movimiento llamado “deporte para todos”, el cual supuso el auge del uso de la práctica física como recreación. Este movimiento surge en los países escandinavos en la década de los 70, y nace como alternativa moderada entre la inactividad de la población y la rigidez y exigencia del deporte federado y estandarizado (Camerino, 2000). En un

primer momento, fruto del dominio hegemónico del deporte de la natación, todas aquellas prácticas acuáticas que quedaban fuera de la práctica de este deporte (actividades de enseñanza, acondicionamiento físico, jornadas recreativas, actividades para grupos especiales como bebés, mujeres embarazadas o tercera edad) pasaron a denominarse “natación recreativa”, las cuales en un principio tuvieron un marcado carácter estacional, reduciéndose en mayor parte a la época estival (Tuero-Del Prado, 2015). Según esta autora, hay que remarcar un hecho como germen de la recreación acuática en España: un evento formativo sobre animación y recreación acuáticas realizado en la Comunidad de Madrid en 1989, con la finalidad de difundir experiencias sobre este campo que se estaban llevando a cabo en otros puntos de Europa, el cual fue el responsable de que la recreación acuática se esparciera por todo el país, trasladando diversos profesionales lo allí aprendido a sus respectivas comunidades. Así pues, los años noventa es la década donde prospera el cuerpo teórico de la recreación acuática española, con la aportación de numerosos autores. El término natación recreativa lo acuña García Ferrando en sus informes (García-Ferrando, 2006), y de ellos se desprende que ésta sería una práctica en piscina u otros espacios naturales despojada de cualquier encorsetamiento propio del deporte federado y con una clara inclinación a la diversión y al disfrute como objetivos prioritarios. Se hace necesario incidir en que el objetivo principal era el componente lúdico, ya que aunque algunas publicaciones de esta época nombraban la condición física, la calidad de vida o el bienestar, estos términos quedaban relegados a un segundo e irrelevante plano. Respecto al término acuñado como “natación recreativa”, Tuero-Del Prado afirma que “reducir a una versión recreativa la natación de competición es simplificar excesivamente la naturaleza y posibles manifestaciones recogidas bajo esta denominación” (Tuero-Del Prado, 2015, p. 166). En la misma línea se sitúa la valoración de Colado, quien, refiriéndose a las

actividades físicas en el medio acuático, expone que “el término clásico de natación se ha quedado acotado, sesgado e insuficiente para captar la diversidad de actividades existentes” (Colado, 2004, p. 27). Así pues, en la década de los 90 surgieron numerosas acepciones para intentar abarcar a todas aquellas actividades que se alejan del concepto más puramente deportivo de la natación, como son natación recreativa, actividades acuáticas recreativas, recreación acuática deportiva, acondicionamiento físico en el medio acuático, etc., todas ellas con matices bien diferenciados que reflejan el gran potencial de posibilidades que tiene el ejercicio físico en el medio acuático (Colado, 2002). Fruto de este cambio desde la natación a otras actividades con diferentes orientaciones es la transformación que sufren las instalaciones y equipamientos acuáticos. Como afirma Tuero-Del Prado (2013), la piscina ya no es un rectángulo para hacer largos, sino que adquiere polivalencia, y se diseñan distintos vasos según la finalidad de cada actividad (discapacitados, mujeres embarazadas, tercera edad, etc.).

Hoy en día la práctica estandarizada del deporte de la natación ha decaído en pro de actividades de mantenimiento de la salud, de mejora de la condición física y de diversión (Colado, 2004). En el siglo XXI, la evolución de la sociedad, la rápida evolución de las actividades físicas en el agua, la introducción de multitud de equipamientos y la construcción de instalaciones adaptadas han supuesto un cambio de los valores de la práctica deportiva, consiguiendo una posición dominante la salud y el bienestar en todas sus dimensiones, así como la realización personal (Colado, 2002), lo cual supone la principal diferencia con la década anterior. Respecto a las instalaciones, según Burillo citado en Tuero-Del Prado (2015) la construcción de piscinas aumentó un 305% entre 1997 y 2005, ciñéndose éstas a las nuevas necesidades y características de la creciente variedad de actividades y modificándose así ciertos factores como elementos arquitectónicos, temperatura, espacios auxiliares, profundidad y dimensiones

de los vasos, etc. En este sentido, estas modificaciones han permitido recoger toda la variedad de actividades acuáticas y perpetuarlas durante todo el año y no solo durante la época estival (Colado, 2002). De entre dicha variedad de actividades, cabría destacar las propuestas acuñadas bajo la denominación de *fitness* y *wellness* acuático, las cuales surgen en los últimos años del s. XX y se identifican plenamente con la nueva visión de recreación acuática relacionada con la mejora de la forma física y la salud, el bienestar y la socialización, en plena sintonía con los valores de la sociedad actual (Colado, Moreno, & Vidal, 2000). Estas gimnasias acuáticas tienen la característica de practicarse en posición vertical, dirigidas por un instructor y realizadas de forma individual (Colado & Moreno, 2001). Por otra parte, Tuero del Prado (2015) hace hincapié en los diversos informes de García Ferrando (García-Ferrando & Llopis, 2011), los cuales han profundizado sobre los hábitos de práctica física de los españoles cada cinco años, desde 1975. Así pues, la posición que ha ido ocupando la natación recreativa en la preferencia de práctica de los españoles ha ido variando a lo largo del tiempo, con ciertos matices que vale la pena destacar aquí. El primero de ellos es que la natación y la natación recreativa han estado, desde 1990 hasta la actualidad, entre las tres primeras actividades elegidas por los españoles para emplear su tiempo de ocio, consiguiendo el primer lugar en el periodo 2000-2005. El segundo aspecto reseñable de estos informes hace referencia a un cambio de nomenclatura, ya que este autor, hasta el informe concerniente a los años de 1990-1995, utilizaba el término natación, simplemente; pero a partir del segundo ciclo 1995-2000 es cuando introduce el concepto natación recreativa, lo cual es coherente con la evolución que se ha expuesto en este apartado. Y por último, el tercer aspecto destacable es el descenso de la natación recreativa al tercer puesto en el último ciclo estudiado, el 2005-2010, hecho que tiene una explicación. Hasta este periodo, dentro de la nomenclatura natación recreativa

quedaban incluidas muchas actividades de naturaleza muy dispar; sin embargo, en este último periodo las gimnasias acuáticas se han extraído de dicha categoría para incluirse en otra llamada “gimnasia y actividad física guiada” la cual ocupa el primer puesto en este ciclo 2005-2010. Dentro de esta categoría se incluyen modalidades de gimnasia acuática como aquaerobic, aquagym, aquabuilding, hip-hop acuático, aquastretching y otras muchas, todas ellas delimitadas y definidas por Colado y Moreno (2001). Así pues, queda constatado que este tipo de actividades (como el acondicionamiento físico en el medio acuático en el que se enmarca la presente tesis) están en primera línea de las actividades demandadas por los ciudadanos en la actualidad, justificando así su investigación y mejora. Queda también corroborado que durante los últimos años, estas actividades “han adquirido relevancia e identidad propia en los equipamientos acuáticos, bajo el amparo de la salud recomendada desde instancias diversas” (Tuero-Del Prado, 2015, p. 170). Más adelante, en posteriores apartados, quedará patente la investigación cada vez más extensa sobre las contribuciones de estas prácticas acuáticas a la salud y a la mejora de la forma física.

2.1.3. Breve historia de la hidroterapia.

Si bien la hidroterapia es también un tipo de actividad física en el medio acuático, se ha tenido a bien desarrollarlo en este apartado por ser una práctica específica dirigida a un tipo de población específico.

A lo largo de la historia, la relación del agua con la medicina no siempre ha sido favorable. Durante ciertos periodos históricos, las prácticas acuáticas fueron recomendadas por la medicina, como lo corroboran los tratados hipocráticos, pero en otros momentos, como la Edad Media, el agua era considerada transmisora de enfermedades, por lo que su uso en cualquier término fue muy limitado (Tuero-Del

Prado, 2013). El agua ha sido usada como sanación desde épocas muy remotas, como en las culturas proto-indias (2400 a. C.) o la cultura hindú (1500 a. C.), donde se usaba para tratar los síntomas febriles (Petrofsky et al., 2003). Pero los griegos fueron los primeros en dejar constancia del uso del movimiento en el agua con propósitos de sanación, como lo atestiguan los escritos de Caelius Aurelianus (Lippert-Grüner, 2002), quien fue un escritor romano que dedicó su vida a traducir textos de los médicos griegos. Existe concretamente un escrito que llama la atención por utilizar un plan de rehabilitación muy parecido a los actuales, siguiendo patrones muy similares. Este plan seguía una serie de fases, cuya fase final eran movimientos en el agua, los cuales podían facilitarse atando “globos” llenos de aire al miembro o miembros afectados con el fin de aliviar la tensión al desplazarse por el agua (Lippert-Grüner, 2002). Hipócrates creía que los baños fríos seguidos de movimientos activos tenían un efecto de calentamiento mejor que el simple baño caliente (Lippert-Grüner, 2002; Pérez & Novoa, 2002). También propuso la utilización del agua fría como medida para atenuar los dolores articulares inflamatorios y contracturas musculares, y baños en agua marina para mejorar eccemas y heridas que no estuvieran infectadas (Pérez & Novoa, 2002).

El Renacimiento supuso un redescubrimiento de los autores clásicos. Así pues, en el siglo XVI se rescataron textos de los médicos helenos (Hipócrates y Galeno, sobretodo), y con ellos, la hidroterapia (Palmer, 1990). Además, la invención de la imprenta hizo que esos saberes tuvieran una importante difusión en la época (Palmer, 1990; Pérez & Novoa, 2002). Durante los siglos XVII y XVIII la hidroterapia siguió desarrollándose, destacando la visión adelantada a su tiempo del alemán Ovelgün (1725), quien en su propuesta no planteaba exclusivamente un tratamiento hidroterapéutico, sino que también incluía la consideración de las actividades diarias, periodos de ejercicio y reposo, el descanso y la dieta (Pérez & Novoa, 2002).

No sería hasta mediados del s. XIX cuando aparecen los primeros balnearios “modernos”, muy unidos a la terapia acuática y a las clases altas. Estos balnearios fueron respaldados y promocionados por la medicina, la cual impulsó esta práctica con la aparición de numerosos estudios anglosajones dedicados a los beneficios de la talasoterapia (Zapico & Tuero-Del Prado, 2010). De ésta se dijo que curaba muchas y diversas enfermedades, pues de hecho, según estas autoras, la atenuación de los males guardaba una relación directa con el número de baños. Aquí en España, no fue hasta el 1850 cuando A. M. Gaudet publica “Nuevas investigaciones sobre el uso y efecto de los baños de mar”. En estos balnearios, a parte de la figura del médico, surgió también la del bañero, el cual tenía la misión de vigilar y cuidar de los bañistas (Zapico & Tuero-Del Prado, 2010).

Ya en el s. XX, en 1911 se empezaron a utilizar bañeras terapéuticas con el fin de tratar enfermos con parálisis cerebral, para utilizar posteriormente piscinas (Becker, 2009). Durante los años 30 se desarrollaron muchos estudios referentes a tratamientos en piscina. Como ejemplo más notable, en 1937 el doctor Charles Leroy Lowman publicó “Técnica de gimnasia subacuática: un estudio en aplicaciones prácticas”, en el cual detalló métodos de terapia acuática para ejercicios específicos que regulaban la dosis, el carácter, la frecuencia, la duración y la dirección del movimiento, aprovechando al máximo las propiedades que ofrece el agua (Becker, 2009). Pero en este siglo, no todas las tendencias de la hidroterapia estaban dedicadas a la curación de enfermedades, ya que tanto en la Primera como en la Segunda Guerra Mundial se utilizó para el mantenimiento de la forma física de los soldados (Krizek, 1963 citado en Petrofsky et al., 2003).

Actualmente, la fisioterapia, las ciencias de la actividad física y el deporte y la medicina han avanzado mucho en su cuerpo de conocimientos respecto a la prevención,

tratamiento y rehabilitación de patologías utilizando el medio acuático, de manera que hoy en día hay evidencias científicas respecto al tratamiento de rehabilitación cardiovascular, cardiopulmonar y respiratorio, respecto a rehabilitación de lesiones deportivas y musculoesqueléticas, al tratamiento de síntomas de la artritis y fibromialgia, aplicaciones relativas a la rehabilitación psiquiátrica, programas para el tratamiento de la obesidad, así como programas para mejorar la forma física de personas activas físicamente y atletas (Barker et al., 2014; Becker, 2009; Borreani et al., 2014; J. Y. Lim, Tchai, & Jang, 2010).

2.2. Propiedades del agua.

Como se ha visto en el apartado anterior, en los últimos veinte años los ejercicios relacionados con las gimnasias acuáticas (entre otras gimnasias) se han convertido en la primera opción de los ciudadanos para ocupar su tiempo de ocio de forma saludable (García-Ferrando & Llopis, 2011). El diseño de programas acuáticos destinados tanto a la mejora de la condición física como a la rehabilitación debe realizarse desde el conocimiento y la comprensión de los principios físicos que gobiernan el medio acuático para poder aplicarlos de forma efectiva y adecuada, de manera que se consigan los objetivos fisiológicos pretendidos (Colado, 2004). De las propiedades físicas del agua que se expondrán a continuación, las que más repercusión van a tener sobre el desempeño físico en el medio acuático son la densidad, flotabilidad y viscosidad, aunque también se desarrollarán otras propiedades valiosas para el entendimiento de factores importantes, como son la temperatura y la presión hidrostática.

A lo largo del presente apartado se citarán algunos estudios (los más relevantes) que ilustrarán el aprovechamiento de las propiedades que se exponen a modo de

ejemplo, pero debe tenerse en cuenta que se profundizará y se ampliará la información referida a dichos y otros estudios y sus hallazgos en apartados posteriores.

2.2.1. Densidad y flotabilidad.

La densidad es el resultado de la relación entre la masa de un cuerpo (kg) y el volumen que éste ocupa (m³) (Torres & Schelling, 2014). La densidad del cuerpo humano (974 kg/m³) es ligeramente inferior a la del agua (998 Kg/m³ a 20°C y una atmósfera de presión), aunque esta afirmación depende en gran medida de variables como el género, la raza, la edad o la capacidad pulmonar (Costill, Maglischo, & Richardson, 1994). La masa magra tiene una media de 1100 Kg/m³, mientras que el tejido graso tiene una densidad media de 900 Kg/m³, por lo que personas altamente musculadas y con poco tejido graso tenderán a tener una densidad superior a 1000 Kg/m³, mientras que la densidad de personas obesas o no entrenadas tenderá a ser inferior (Becker, 2009). Para interpretar estos datos en función de la flotabilidad debemos tener en cuenta el principio de Arquímedes, que postula que todo cuerpo inmerso en un fluido experimenta un empuje vertical (llamado también empuje hidrostático) y hacia arriba igual al peso del volumen del fluido desalojado (Torres & Schelling, 2014). Así pues, a medida que el cuerpo se sumerge en el agua, ésta se va desplazando, creando de esta forma el empuje hidrostático. Si este empuje vertical es mayor al peso corporal, el cuerpo flotará, y si ocurre a la inversa, el cuerpo no flotará, lo cual va a depender exclusivamente de la densidad del cuerpo sumergido en el agua, como se puede comprobar a continuación (Costill et al., 1994):

$$E_h = m_{\text{agua}} g = V_{\text{agua}} \rho_{\text{agua}} g$$

$$P = m_{\text{cuerpo}} g = V_{\text{cuerpo}} \rho_{\text{cuerpo}} g$$

Activación neuromuscular en un ejercicio de aducción de cadera en el medio acuático en función del material y la profundidad

$$V_{\text{agua}} = V_{\text{cuerpo}}$$

$$g = g$$

$$\rho_{\text{agua}} \neq \rho_{\text{cuerpo}}$$

Donde E_h es el empuje hidrostático, m_{agua} es la masa del agua, ρ_{agua} es la densidad del agua, g es la fuerza de la gravedad, P es el peso del cuerpo, m_{cuerpo} es la masa del cuerpo, V_{cuerpo} es el volumen del cuerpo y ρ_{cuerpo} es la densidad del cuerpo. Considerando la masa en función de la densidad, si $\rho=m/v$, entonces $m=v\rho$, que es lo que se ha substituido en la deducción anterior para corroborar que la clave de la flotación está en la densidad tanto del fluido como del cuerpo que se sumerge en él. No hay que olvidar que es posible modificar la densidad efectiva del cuerpo, ya que si se inspira profundamente, se llenan los pulmones de aire (que tiene una densidad de 1.27 Kg/m^3) aumentando el volumen, con lo que la densidad corporal resultante desciende (Costill et al., 1994).

Como se ha dicho anteriormente, a medida que el cuerpo se sumerge, éste desplaza un volumen determinado de agua, que a su vez creará dicho empuje hidrostático, lo cual provoca la sensación conocida como hipogravidez. Esta característica reduce la carga que soporta nuestro cuerpo, aliviando así la carga soportada por las articulaciones, de modo que con una inmersión a nivel del cuello (séptima vértebra cervical), el porcentaje de peso soportado es del 8% (o lo que es lo mismo, la fuerza compresiva en las articulaciones se reduce un 92%); si la inmersión es a nivel de la apófisis xifoides el porcentaje de peso soportado aumenta al 28% para el hombre y 35% para la mujer, y si la inmersión es a nivel de la cresta ilíaca superior se estará soportando un 54% del peso para el hombre, y el 47% para la mujer (Selepak, 2001). Esta propiedad del agua reporta ventajas que han sido analizadas en diversos

estudios en el campo de la rehabilitación y en el del acondicionamiento físico, por ejemplo el tratamiento de lesiones musculoesqueléticas que requieren de una liberación parcial o total de la carga del cuerpo para su rehabilitación (Barker et al., 2014; Becker, 2009; Lu et al., 2015), el aumento de fuerza de miembros inferiores sin comprometer las articulaciones (Colado, Garcia-Masso, González, et al., 2010; Triplett et al., 2009) o la mejora de las respuestas cardiovasculares evitando también la sobrecarga articular (Killgore, 2012; Meredith-Jones, Waters, Legge, & Jones, 2011). Por tanto, hay un cuerpo de estudios cada vez más importante que arrojan luz sobre el nivel de impacto que soportan diversas articulaciones en el transcurso de ejercicios en el medio acuático, centrados sobre todo en el salto y la carrera en el agua (Alberton et al., 2015; Colado, Garcia-Masso, González, et al., 2010; Donoghue, Shimojo, & Takagi, 2011; Fontana, Ruschel, Haupenthal, Hubert, & Roesler, 2015; Fontana et al., 2015; Haupenthal, Fontana, Ruschel, dos Santos, & Roesler, 2013). Así pues, se ha corroborado que cuanto mayor sea la profundidad de inmersión, menor serán las fuerzas de reacción en sentido vertical, lo cual permitirá minimizar el daño muscular y el riesgo de lesión sin renunciar a las adaptaciones pertinentes (Colado, Garcia-Masso, Triplett, et al., 2010; Fontana et al., 2015; Haupenthal et al., 2013). En relación con lo anterior, una aplicación interesante por su actualidad es la aplicación de programas de actividad física para personas con obesidad, ya que éstas tienen un porcentaje de incidencia de artritis en la rodilla de más del doble que la población no obesa, además de ser ésta un desencadenante de agravamiento de la obesidad por la falta de movimiento del sujeto a causa del dolor (J. Y. Lim et al., 2010). Una reducción del 10% de su peso podría reducir sus síntomas un 28%, por lo que el planteamiento de programas de actividad física para estas personas que permitan ejercitarse físicamente sin sobrecargar sus articulaciones dañadas tiene un alto valor añadido. (J. Y. Lim et al., 2010) llevaron a

cabo un estudio en el que compararon un entrenamiento en tierra y otro en el medio acuático, encontrando diferencias significativas en el descenso de la proporción de masa grasa en ambos casos. Además, en el grupo de entrenamiento acuático se obtuvieron diferencias significativas en la percepción de dolor, discapacidad y calidad de vida, por lo que éste se muestra como una herramienta efectiva para pacientes con obesidad que tengan dificultad para realizar actividad física por causa de la artritis de rodilla (J. Y. Lim et al., 2010).

2.2.2. Presión hidrostática.

La presión hidrostática es la presión que un líquido (agua, en este caso) realiza sobre la superficie del cuerpo inmerso en él, causando una deformación plástica en el cuerpo transitoria, y es directamente proporcional a la densidad del líquido, a la profundidad de inmersión del cuerpo y a la gravedad (Rodríguez & Iglesias, 2002; Torres & Schelling, 2014). Esta característica se explica por la famosa ley de Pascal, la cual se resume en que la presión ejercida en un punto cualquiera del fluido se transmitirá a todos los puntos de éste (Rodríguez & Iglesias, 2002). Debido a la presión hidrostática, las respuestas del cuerpo al ejercicio en el medio acuático son diferentes a las del medio terrestre (Torres & Schelling, 2014). Estas respuestas están mediatizadas por el hecho de que dicha presión hace que la sangre se desplace en dirección ascendente a través del sistema linfático y venoso, primero hacia los muslos, luego hacia los vasos de la cavidad abdominal, y finalmente hacia los grandes vasos de la cavidad torácica y el corazón, con lo cual la circulación de retorno se ve facilitada en gran medida (Torres & Schelling, 2014). Así, el volumen sanguíneo central aumenta en 0.7L y el volumen cardíaco se incrementa entre un 27% y un 30%, lo cual provoca que el volumen de eyección sanguíneo crezca en un 35% incluso en reposo, existiendo así

un incremento de la disponibilidad de oxígeno y nutrientes en los músculos, además de una mayor difusión de metabolitos creados por el músculo hacia la sangre (Becker, 2009; Torres & Schelling, 2014). Este incremento en el volumen de eyección sanguínea es la explicación de por qué el pulso cardíaco desciende entre un 12% y un 15% (una media de 10 latidos por minuto) cuando el cuerpo humano es introducido en el medio acuático. Estos hechos crean las condiciones idóneas para que el agua sea un medio apropiado para la rehabilitación de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, tales como el tratamiento de edemas y varices, así como la rehabilitación tras infarto de miocardio y cardiopatía isquémica (Becker, 2009). Esta presión hidrostática también tiene efecto sobre el aparato respiratorio, ya que éste se ve afectado por el desplazamiento de sangre hacia la cavidad torácica y además el agua presiona contra el pecho, con lo cual la mecánica ventilatoria se ve alterada de manera que la capacidad vital desciende entre un 6% y un 9% y el trabajo total se incrementa en un 60% cuando el cuerpo se sumerge a nivel del cuello (Becker, 2009). Se ha comprobado que al aplicar un entrenamiento específico de los músculos inspiratorios en nadadores, éstos no han mejorado su fuerza inspiratoria al compararse con otro grupo control de nadadores sin entrenamiento específico respiratorio, hipotetizando que al desempeñar su entrenamiento habitual en el medio acuático, estos nadadores ya habían alcanzado su techo en dicha variable por las propiedades de presión hidrostática del medio acuático. Así pues, teóricamente, para un deportista acostumbrado al entrenamiento en el medio terrestre el entrenamiento en agua supondrá una carga de trabajo más alta para sus músculos respiratorios, con lo que podría mejorar así su eficiencia respiratoria y por ende su desempeño atlético (Becker, 2009).

2.2.3. Factores termodinámicos.

El agua posee unas características termodinámicas que pueden ser de utilidad en el ámbito de la rehabilitación y el deporte. La capacidad calorífica se puede definir como la energía que se requiere para aumentar la temperatura de una determinada sustancia en una unidad de temperatura (Rodríguez & Iglesias, 2002). Debido a su estructura molecular, el agua tiene una capacidad calorífica alta (1000 veces superior al aire), lo que significa que posee un gran potencial para retener el calor o el frío y mantener una temperatura constante (Becker, 2009; Rodríguez & Iglesias, 2002; Torres & Schelling, 2014). Además el agua es también un conductor muy eficiente, ya que en comparación con el aire transmite el calor 25 veces más rápido (Becker, 2009). Teniendo en cuenta todo lo anterior, y sabiendo que la capacidad calorífica del ser humano es inferior a la del agua (0.83 kcal/kg·°C del ser humano frente a 1.00 kcal/kg·°C), tendremos como resultado que el cuerpo humano encontrará el equilibrio térmico más rápido que el agua; esto es, que será el cuerpo humano el que se adapte a la temperatura del agua, y no al revés (Torres & Schelling, 2014).

Como se ha apuntado anteriormente, estas propiedades térmicas se utilizan tanto en el área de la rehabilitación como en la del deporte, y sus campos de aplicación suelen ser el control de la inflamación de alguna lesión, minimizar la fatiga y acelerar la recuperación del deportista (Torres & Schelling, 2014). Para ello se utilizan diferentes técnicas, aunque las más comunes son la inmersión en agua fría o crioterapia, los baños de contraste y la inmersión en agua entre 21°C y 35°C. Respecto a las evidencias científicas que avalan a estos tratamientos, Torres & Schelling (2014) citan varios estudios de revisión bibliográfica cuyas conclusiones más relevantes se concretan en que el pre-enfriamiento en ambientes con temperaturas altas y moderadas es efectivo como estrategia para reducir el estrés térmico percibido e incrementar el rendimiento en

atletas; por otra parte, parece ser que los baños de contraste y la crioterapia son las estrategias más efectivas para prevenir y tratar el dolor muscular después del ejercicio (al menos comparado con baños con agua caliente y con agua a 35°C), aunque existen contradicciones entre los estudios y las revisiones citadas evidenciaron una carencia metodológica importante en los estudios examinados, por lo que se necesita más investigación en este campo para llegar a una conclusión clara.

Las piscinas terapéuticas suelen tener una temperatura de entre 33.5°C y 35.5°C, pero las piscinas convencionales, las que están situadas en las instalaciones deportivas acuáticas típicas de cualquier ciudad, se mueven en el rango de temperaturas de entre 27°C y 29°C (Becker, 2009). En el medio acuático se han establecido diferentes rangos de temperaturas considerados adecuados para diferentes actividades, lo cual ha dado lugar a un concepto llamado temperatura “termoneutra”, la cual se puede definir como la temperatura que ha de tener el agua para que los mecanismos de termorregulación del ejercitante no se estimulen (o lo hagan lo menos posible), ni para generar calor, ni para disiparlo (Rodríguez & Iglesias, 2002). Pero lo cierto es que, aunque esta temperatura termoneutra está ampliamente admitida para el reposo en 35°C, no hay tanto consenso en la temperatura termoneutra para el ejercicio acuático (Bergamin, Ermolao, Matten, Sieverdes, & Zaccaria, 2015). Barbosa et al. (2009) aconsejan una temperatura de 27°C, aunque este valor puede variar según la población y la actividad; Becker (2009) considera una temperatura de entre 26°C y 29.5°C para lo que denomina ejercicios vigorosos; y por último, la Asociación de Ejercicio Acuático indica un rango entre 28.3°C y 31.1°C, dependiendo de si los programas de fitness acuático son de intensidad alta o baja (Bergamin et al., 2015). Así pues, la ejercitación física en el medio acuático a diferentes temperaturas puede provocar respuestas fisiológicas diferentes, por lo que este campo ha sido objeto de estudio en los últimos

años (Bergamin et al., 2015). Por ejemplo, Ovando, Eickhoff, Dias, & Winkelmann (2009) evaluaron el efecto de la temperatura del agua en las respuestas cardiovasculares de jóvenes saludables durante la marcha acuática en tres temperaturas diferentes (29°C, 33°C y 37°C), obteniendo un aumento significativo de la frecuencia cardíaca y la presión arterial diastólica en la temperatura más alta. Hall, Macdonald, Maddison, & O'Hare (1998) compararon las respuestas cardiorrespiratorias de mujeres al ejercicio submáximo en cintas rodantes en tierra y en agua, además de evaluar el efecto de dos temperaturas diferentes en el agua (28°C y 36°C), obteniendo valores significativamente más altos de frecuencia cardíaca en la temperatura más alta respecto al resto de condiciones. Bergamin et al. (2015) estudiaron en hombres mayores las respuestas fisiológicas (frecuencia cardíaca, presión sanguínea y consumo de oxígeno) durante ejercicios de la parte superior del cuerpo a diferentes temperaturas (28°C y 36°C) y a diferentes cadencias (intensidades), concluyendo que la frecuencia cardíaca fue significativamente mayor en la condición de temperatura más alta, mientras que el consumo de oxígeno fue similar. Por último, en otro estudio (Yazigi et al., 2013) se evaluó la frecuencia cardíaca, el consumo de oxígeno, la concentración de lactato y el confort térmico en tres protocolos diferentes: un test máximo en un cicloergómetro en tierra, una bicicleta acuática a una temperatura de 27°C y bicicleta acuática a 31°C. Sus resultados no obtuvieron diferencias significativas ni en la frecuencia cardíaca ni en el consumo de oxígeno, aunque sí se observó un aumento significativo en la concentración de lactato en el protocolo terrestre, además de una percepción por parte de los sujetos de mayor confort en la temperatura más baja.

2.2.4. Viscosidad.

La viscosidad se define como la fuerza que se opone a que dos capas de fluido se separen, y viene determinado por el coeficiente de viscosidad, que para el agua a 20°C es de $1002 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (Llana, 2002). Dicho de otra forma, es la resistencia que posee un líquido a fluir debido a la fricción interna de sus moléculas, de manera que cuanto más viscoso sea un líquido, más resistencia opondrá a un movimiento realizado en su seno (Rodríguez & Iglesias, 2002). Así pues, la mayor resistencia que opone el agua en comparación con el aire no se debe sólo a su densidad, sino también a su viscosidad, la cual es responsable en última instancia de los tres tipos de resistencia que aparecen en el medio acuático (Torres & Schelling, 2014). El agua puede ofrecer tres tipos de resistencia: de fricción, de oleaje y de forma, también llamada de presión o frontal, de las cuales son las dos últimas las que, generalmente, tienen mayor importancia en el desempeño de actividades acuáticas (Llana, 2002; Maglischo, 2009). La resistencia de forma se expresa mediante la ecuación:

$$R_{FO} = \frac{1}{2}\rho \cdot C_x \cdot S \cdot V^2$$

Donde R_{FO} es la resistencia de forma expresada en Newtons, ρ es la densidad del agua en Kg/m^3 , C_x es el coeficiente de forma (el cual depende de la forma más o menos hidrodinámica que tenga el cuerpo), S es el área frontal que ofrece el cuerpo en m^2 y V es la velocidad a la que el cuerpo se desplaza por el fluido expresada en m/s (Llana & Pérez, 2007). Con ciertas nociones matemáticas se pueden sacar conclusiones interesantes de esta fórmula, como que cuanto mayor sea la superficie que se opone al movimiento en el agua, mayor será la resistencia generada. Se crea así un área de alta presión en la zona delantera (en dirección del movimiento) y otra de baja presión en la trasera, donde el flujo laminar del agua se reemplaza por el flujo turbulento (Llana,

2002; Torres & Schelling, 2014). Pero más determinante aún es el hecho de que la resistencia generada es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad, de manera que dicha resistencia aumenta exponencialmente cuando aumenta la velocidad a la que se desplaza el elemento en el fluido. Esta propiedad también se ha explotado en el mundo del ejercicio acuático ya que la resistencia ofrecida por el agua genera estímulos que pueden llegar a mejorar la recuperación muscular en términos de rehabilitación (Barker et al., 2014; Becker, 2009; Pöyhönen et al., 2001b), o provocar adaptaciones relacionadas con la resistencia cardiovascular y muscular en sujetos sanos (Borreani et al., 2014; Colado, Tella, Triplett, & González, 2009; Colado & Triplett, 2009; Jackson, Karavatas, Greene, Brown-White, & Burnet, 2014; Takeshima et al., 2002).

En este punto, si se quiere aprovechar la resistencia que ofrece el agua, es necesario tener en cuenta diversos factores relativos a la ejercitación física acuática. El primero de ellos es la Ley de Inercia formulada por Newton, de manera que su interpretación conduce a pensar que en un primer momento se deberá actuar sobre agua estancada, movilizándola a ésta. Pero por la misma ley, esta masa de agua continuará en movimiento, con lo que si se quiere continuar ejerciendo fuerza sobre dicha masa de agua, se deberá incidir en una ejecución activa del movimiento con el fin de seguir acelerando a la misma (Colado, 2008). Otros factores que inciden en la resistencia ofrecida durante la ejercitación acuática son el brazo de palanca utilizado, el tamaño del material de resistencia empleado y el hidrodinamismo del movimiento (Colado, 2008).

Hay que añadir también que se ha utilizado una gran variedad de materiales para aumentar o disminuir la resistencia generada por el líquido elemento, tanto en la rehabilitación como en el fitness acuático; pero esta cuestión, así como las evidencias

obtenidas en estudios que han utilizado esta propiedad para el trabajo de la condición física en el medio acuático, se tratarán más detenidamente en apartados posteriores.

2.3. Acondicionamiento físico en el medio acuático.

Durante los últimos años se han estudiado de forma exhaustiva los beneficios que la mejora de la condición física tiene sobre la salud, así como la forma de obtenerlos (Garber et al., 2011; Williams et al., 2007). Así, tanto el Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM) como la Asociación Americana del Corazón (AHA) recomiendan una combinación de ejercicios destinados a la mejora cardiovascular y ejercicios dedicados al trabajo de la resistencia muscular como método para evitar muchas de las llamadas enfermedades no contagiosas (o no transmisibles), como por ejemplo enfermedades cardiovasculares y respiratorias, obesidad, diabetes y problemas musculares y articulares (Garber et al., 2011; Williams et al., 2007). No obstante, tradicionalmente se ha prescrito a las personas con estas dolencias actividades cuyas propiedades revisten soporte de peso, lo cual puede no ser adecuado en algunos casos y se requiere de alternativas (Meredith-Jones et al., 2011). En el agua, la alternativa históricamente ha sido la natación, pero ésta requiere de técnicas concretas que deben aprenderse y que, de no dominarse, no provocará el estímulo adecuado, por lo cual se requiere de más variedad de actividades (Koury, 1998). Así, parece que la tendencia que se centraba en la investigación de la natación está cambiando hacia los efectos producidos por las actividades acuáticas en posición vertical, ya que éstas se ha vuelto muy populares en los últimos años (García-Ferrando & Llopis, 2011) debido a que no requieren de técnicas especiales, solo saltar, correr, y realizar movimientos similares a los terrestres, además de suponer un medio seguro para evitar accidentes traumáticos y sobrecargas articulares (Becker, 2009). Y no solo eso, ya que el ejercicio en posición vertical en el medio acuático se ha mostrado válido para provocar mejoras en sujetos

entrenados y deportistas de alto nivel (Colado, Garcia-Masso, González, et al., 2010; Colado, Tella, et al., 2009; Kamalakkanna, Azeem, & Arumuga, 2011; Triplett et al., 2009). Así pues en los últimos años ha aumentado la producción científica respecto a las actividades acuáticas, ya que se intenta comprender los efectos tanto agudos (por ejemplo: tasa de esfuerzo percibido, frecuencia cardíaca, presión sanguínea, concentración de lactato en sangre, consumo de oxígeno y gasto energético) como crónicos (por ejemplo: capacidad aeróbica, composición corporal, flexibilidad, fuerza y resistencia muscular) del ejercicio en el medio acuático (Barbosa et al., 2009; Borreani et al., 2014).

El ejercicio físico en el medio acuático se ha mostrado totalmente válido para la mejora de la condición cardiovascular (Chu & Rhodes, 2001; Graef & Krueel, 2006; Jackson et al., 2014; Kanitz, Reichert, et al., 2014; Kanitz, Liedtke, Pinto, Alberton, & Krueel, 2014; Killgore, 2012) así como también para otras cualidades físicas como la flexibilidad (Bento, Pereira, Ugrinowitsch, & Rodacki, 2012; Colado, Triplett, et al., 2009; Katsura et al., 2010; Tsourlou et al., 2006), o equilibrio (K. I. Lim, Hwnagbo, Nam, & Cho, 2014; Louder et al., 2014; Mann, Kleinpaul, Mota, & Santos, 2014; Matias et al., 2013; Sanders, Takeshima, Rogers, Colado, & Borreani, 2013; Simmons & Hansen, 1996). No obstante, más adelante se profundizará de una forma más exhaustiva en los estudios referidos a la producción de fuerza, activación muscular y el entrenamiento neuromuscular, por ser el tema central del presente trabajo doctoral. Pero antes, dado que se van a estar nombrado frecuentemente, se establecerá la clasificación de los materiales más utilizados en el medio acuático, además de explicar sus propiedades y usos.

2.3.1. Materiales en el acondicionamiento físico en el medio acuático.

El acondicionamiento físico en el medio acuático siempre ha ido parejo al uso de materiales para aprovechar al máximo las propiedades del agua (Colado, 2004). Básicamente, los materiales utilizados en el acondicionamiento físico en el medio acuático se pueden dividir en dos grandes bloques: materiales de resistencia y materiales de flotación (Barbosa et al., 2009; Borreani et al., 2014; Colado, 2004; Colado & Triplett, 2009; Martinez, Ghiorzi, Loss, & Gomes, 2011; Masumoto & Mercer, 2008; Pinto et al., 2011). El primero tiene la base de su utilidad en la ecuación general de fluidos vista en el apartado “Propiedades del agua”, ya que cuanto mayor sea el área del implemento, siempre y cuando se posicione de forma perpendicular a la dirección del movimiento (Pöyhönen et al., 2001b), mayor será la resistencia opuesta por el agua. Además, no hay que olvidar que la resistencia ofrecida es proporcional al cuadrado de la velocidad con que se desplaza el implemento en el seno del agua, por lo que la velocidad podría llegar a tener un papel preponderante respecto al área ofrecida. Este tipo de material ha sido utilizado en muchos estudios que tenían como objetivo el incremento de la fuerza en una población sana o de la tercera edad (Bento et al., 2012; Cardoso, Mazo, & Balbé, 2010; Cardoso et al., 2004; Carrasco & Vaquero, 2011, 2012; Colado et al., 2012; Colado, Tella, et al., 2009; Colado, Triplett, et al., 2009; Katsura et al., 2010; Kruegel et al., 2005; Pöyhönen et al., 2002; Takeshima et al., 2002; Tsourlou et al., 2006), o bien también se ha medido la activación muscular que puede llegar a proporcionar dicho material al emplearse en diferentes ejercicios y con distintas cadencias (Alberton et al., 2006; Black, 2005; Colado et al., 2013, 2008; Nakamura & Mizukami, 2011; Pinto et al., 2011; Pöyhönen et al., 2001b). Por último, como se explicará más detalladamente en el apartado de estudios que han evaluado la actividad eléctrica del músculo en ejercicios neuromusculares en el medio acuático, como

indicaba Colado & Triplett (2009) hasta hace poco prevalecía la idea de que en el agua no podía existir la contracción de tipo excéntrica, pero diversas evidencias han demostrado que con el material de resistencia dicho tipo de contracción sí que puede existir si se realizan movimientos de flexo-extensión sucesivamente y a máxima velocidad de ejecución (Alberton et al., 2006; Nakamura & Mizukami, 2011; Pöyhönen et al., 2001b).

Por otra parte, el material de flotación tiene su razón de ser gracias al principio de Arquímedes (también visto con anterioridad), ya que este tipo de material tiene la característica de ser mucho menos denso que el agua por el material con el que suele estar fabricado (etil vinil acetato) (Martinez et al., 2011). Por esto, este material tiene la propiedad de aumentar la resistencia al movimiento caracterizada por la resistencia que ofrecen estos materiales a hundirse (es decir, vencer el empuje hidrostático sufrido por dicho material), con lo cual ha sido utilizado en diversos estudios como método para trabajar la fuerza (Colado et al., 2013; Costa, Afonso, Bragada, Reis, & Barbosa, 2008; Graef et al., 2010; Kruel et al., 2005; Martinez et al., 2011; Pinto et al., 2011), o bien para auxiliar al movimiento por la reducción de las fuerzas compresivas y el impacto sobre las articulaciones, así como mantenerse a flote en una zona profunda para ejercitarse (Chu & Rhodes, 2001; Kaneda et al., 2009; Killgore, 2012).

Asimismo, hay que tener en cuenta que este material de flotación puede experimentar, además del empuje hidrostático, la fuerza de resistencia propia de materiales de resistencia, sobre todo aquellos que presenten mayor superficie. En el caso de querer utilizar el material de flotación para generar resistencia en contra del empuje hidrostático, también hay que tener presente que este tipo de material presenta una serie de limitaciones en cuanto a su uso en general, ya que sería necesario tener varios implementos (según su empuje) para los diferentes tipos de condición física de los

practicantes (Colado & Triplett, 2009), y además el aumento de tamaño entre los materiales comercialmente disponibles del mismo formato (por ejemplo, mancuernas de flotación) no está en concordancia con el empuje hidrostático ofrecido por dichos materiales (Martinez et al., 2011). Asimismo, para aprovechar el uso de los materiales de flotación como resistencia, dado que el empuje hidrostático es perpendicular al suelo horizontal de la piscina, en ocasiones deben adoptarse posiciones poco cómodas por parte de los ejercitantes (Colado & Triplett, 2009).

2.3.2. Entrenamiento de la fuerza en el medio acuático.

El entrenamiento de la fuerza en el medio acuático ha estado relegado hasta hace poco a un segundo plano, ya que predominaba la concepción de que estos ejercicios no eran capaces de ofrecer el umbral de estímulo suficiente como para poder provocar adaptaciones musculares en población normal (Colado, 2004; Colado, Tella, et al., 2009; Colado & Triplett, 2009). Pero lo cierto es que hay estudios (ver apartados posteriores) que han corroborado mejoras neuromusculares e hipertrofia muscular, aunque son muy escasos los que utilizaron como muestra sujetos sanos, físicamente activos y con experiencia en el campo del entrenamiento de fuerza (Colado, Tella, et al., 2009). Esta escasez de estudios en sujetos sanos y físicamente activos, junto con la abundancia de estudios con poblaciones concretas (tercera edad, mujeres postmenopáusicas, personas sin experiencia en el entrenamiento de fuerza) no ha contribuido precisamente a mejorar esta visión del entrenamiento de fuerza en el medio acuático para personas sanas y físicamente activas (Colado et al., 2008).

Por tanto, se necesitan más estudios para determinar los efectos que resultan de este tipo de entrenamiento realizado por usuarios convencionales de instalaciones acuáticas, ya que en muchos casos este tipo de entrenamientos llevados a cabo por

profesionales sin la suficiente formación desembocan en estímulos que no llegan a superar el umbral necesario para provocar las correspondientes adaptaciones (Colado & Triplett, 2009).

2.3.2.1. Ejercicios de salto en el medio acuático.

Relacionando este apartado con todo lo aportado en el apartado de las propiedades del agua referido a la flotabilidad y el empuje hidrostático, se ha demostrado que gracias a esta característica del agua una persona que se ejercite en el medio acuático con ejercicios de salto puede beneficiarse de los mismos efectos que en el entrenamiento equivalente en el medio terrestre (como el aumento de la fuerza en los miembros inferiores) sin sufrir el impacto articular propio de éste (Alberton et al., 2015; Becker, 2009; Colado, Garcia-Masso, González, et al., 2010; Colado, Garcia-Masso, Triplett, et al., 2010; Donoghue et al., 2011; Fontana et al., 2015; Meredith-Jones et al., 2011).

La producción científica referida al análisis de las fuerzas de impacto en el medio acuático ha sido prolífica durante los últimos veinte años, y ésta se ha centrado principalmente en aspectos relacionados con la rehabilitación y con la marcha y la carrera en el agua (Alberton et al., 2015). No obstante, en los últimos años desde el ámbito del acondicionamiento físico en el medio acuático también se ha puesto el foco en el estudio de estas variables, abriendo a la población practicante de gimnasia acuática en general y a deportistas de alto nivel los beneficios de dichas investigaciones (Alberton et al., 2015).

Así pues, la investigación a este respecto se ha centrado principalmente en comparar el efecto y las fuerzas de impacto de diferentes ejercicios realizados en tierra y en el agua. De esta manera encontramos estudios que han comparado los efectos de un

entrenamiento pliométrico de miembros inferiores y las fuerzas de impacto generadas (Donoghue et al., 2011; Kamalakkanna et al., 2011; Kobak, Rebold, DeSalvo, & Otterstetter, 2015; Robinson, Devor, Merrick, & Buckworth, 2004), estudios que comparan la producción de fuerza y variables cinéticas y cinemáticas de saltos con una o dos piernas en tierra y en agua con y sin material de resistencia (Colado, Garcia-Masso, González, et al., 2010; Colado, Garcia-Masso, Triplett, et al., 2010; Triplett et al., 2009), estudios que comparan las fuerzas de impacto que generan ejercicios típicos de gimnasias acuáticas (como carrera estática u otros más específicos como esquí de fondo) realizadas a diferentes cadencias y profundidades en tierra y en agua (Alberton et al., 2013, 2014, 2015; Dowzer, Reilly, & Cable, 1998; Fontana et al., 2015; Hauptenthal et al., 2013), y por último estudios que se centran en otros aspectos tales como comparar la respuesta aguda de los marcadores químicos de la osteoporosis y la densidad ósea en ejercicios en tierra y en el agua (Balsamo et al., 2013; Morgan, Weiss, & Kelley, 2015).

Los hallazgos más relevantes de los estudios citados anteriormente se pueden resumir en que la totalidad de estudios que compararon ejercicios en tierra y en agua concluyeron que el impacto en el agua fue significativamente menor que en tierra, teniendo en cuenta que el nivel de dicho impacto dependerá de: a) el tipo de ejercicio (p.e. el ejercicio acuático “esquí de fondo” ofrece un impacto significativamente menor que otros ejercicios) y la cadencia del mismo (a cadencias menores el nivel de impacto es menor, y viceversa) (Alberton et al., 2013, 2014, 2015; Hauptenthal et al., 2013); b) del nivel de profundidad de agua establecido (a menor profundidad, mayor índice de impacto y viceversa) (Dowzer et al., 1998; Fontana et al., 2015; Hauptenthal et al., 2013). Otros resultados interesantes están referidos a la ganancia de fuerza y al desarrollo de la fuerza concéntrica, concluyendo que la realización de entrenamientos

basados en ejercicios de multisaltos en el agua comparados con tierra ofrecen al menos las mismas ganancias en fuerza además producir fuerzas de impacto menores y menor daño y dolor muscular (Donoghue et al., 2011; Kamalakkanna et al., 2011; Kobak et al., 2015; Robinson et al., 2004). Asimismo, los entrenamientos basados en saltos en medio acuático han demostrado la producción de una mayor fuerza concéntrica máxima (o pico), un mayor índice de desarrollo de fuerza y una disminución significativa de la fuerza de impacto, lo cual es más relevante aún si se tiene en cuenta que estos estudios se realizaron con jugadoras de balonmano de alto nivel (Colado, Garcia-Masso, González, et al., 2010; Colado, Garcia-Masso, Triplett, et al., 2010; Triplett et al., 2009). De hecho otro hito importante que se observó en este último estudio fue que el tiempo hasta recibir el pico de impacto en el agua se veía enlentecido y por la tanto esto podría facilitar una mejor absorción de dicho impacto de por sí ya reducido por parte del sistema muscular. Para finalizar, los estudios que compararon marcadores de la osteoporosis en entrenamientos realizados en tierra y agua concluyeron que los entrenamientos acuáticos ofrecen estímulos de regeneración de tejido óseo tan efectivos como los entrenamientos homólogos terrestres (Balsamo et al., 2013; Morgan et al., 2015).

2.3.2.2. Trabajo de fuerza en sujetos de edad avanzada y poblaciones especiales en el medio acuático.

Como se ha puntualizado anteriormente, si bien es cierto que el estudio del entrenamiento de la fuerza en el medio acuático ha aumentado en la última década (Barbosa et al., 2009), este estudio se ha centrado más en sujetos de avanzada edad y poblaciones especiales (Colado & Triplett, 2009). Dentro de esta producción científica, los estudios más abundantes son los referidos al entrenamiento de la fuerza en el agua y

sus efectos en mujeres postmenopáusicas (Bento et al., 2012; Cardoso et al., 2010, 2004; Carrasco & Vaquero, 2011, 2012; Colado et al., 2012; Colado, Triplett, et al., 2009; Graef et al., 2010; Katsura et al., 2010; Krueel et al., 2005; Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015; Takeshima et al., 2002; Tsourlou et al., 2006), aunque dos de estos estudios también incluyeron a hombres en su muestra (Bento et al., 2012; Katsura et al., 2010).

En este punto, se puede avanzar que la totalidad de los estudios que se acaban de citar han demostrado aumentos en la fuerza muscular, bien sea comparando entrenamientos de la fuerza en el agua con entrenamientos de la fuerza en el medio terrestre (Colado et al., 2012; Colado, Triplett, et al., 2009), evaluando la eficacia de un programa de entrenamiento acuático de la fuerza en concreto (Bento et al., 2012; Cardoso et al., 2010; Carrasco & Vaquero, 2011; Tsourlou et al., 2006) o comparando dos entrenamientos de la fuerza en el medio acuático pero con diferentes condiciones, tales como entrenamientos con material y sin material (Cardoso et al., 2004; Katsura et al., 2010; Krueel et al., 2005), entrenamientos con y sin énfasis en el acondicionamiento de la fuerza (Cardoso et al., 2004; Graef et al., 2010), comparando un entrenamiento de natación y otro de gimnasia acuática (Carrasco & Vaquero, 2012), y evaluando el orden de los ejercicios intra-sesión (fuerza y resistencia) en dos entrenamientos acuáticos (Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015).

Respecto a los tipos de entrenamiento evaluados, la gran mayoría planteó un entrenamiento combinado con una parte dedicada al trabajo cardiovascular y otra parte específica de trabajo de la fuerza (Cardoso et al., 2010; Carrasco & Vaquero, 2011, 2012; Katsura et al., 2010; Krueel et al., 2005; Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015; Takeshima et al., 2002; Tsourlou et al., 2006), mientras que solo tres diseñaron un entrenamiento exclusivamente de la fuerza (Cardoso et al., 2004; Colado et al., 2012;

Colado, Triplett, et al., 2009). La duración de los estudios varió entre los diferentes planteamientos desde 8 semanas (Katsura et al., 2010) hasta 74 semanas (Cardoso et al., 2010), aunque una proporción elevada se situó en 12 semanas de duración. Respecto a la frecuencia, 7 estudios realizaron 2 sesiones/semana (Cardoso et al., 2010, 2004; Carrasco & Vaquero, 2011, 2012; Colado et al., 2012; Graef et al., 2010; Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015) mientras que 5 diseñaron 3 sesiones/semana, planteando entrenamientos progresivos en intensidad y volumen. En lo referente al número de series y repeticiones por serie utilizado, todos los estudios se movieron en un rango de 3-5 series y 12-15 repeticiones, con descansos que variaban entre 30'' y 120'' según intensidades (Carrasco & Vaquero, 2011, 2012; Colado et al., 2012; Colado, Triplett, et al., 2009; Graef et al., 2010; Kruel et al., 2005; Tsourlou et al., 2006); aunque hubo estudios que en lugar de repeticiones utilizaron tiempo de ejercitación, variando entre 10'' y 40'' por serie (Bento et al., 2012; Cardoso et al., 2004; Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015).

En relación al control de la intensidad en la parte específica de fuerza, estos estudios han utilizado diversos métodos, siendo el más utilizado la escala de esfuerzo percibido de Borg, (Bento et al., 2012; Cardoso et al., 2010, 2004; Carrasco & Vaquero, 2011, 2012; Katsura et al., 2010; Kruel et al., 2005), aunque también se han utilizado otros métodos de graduación de la intensidad, como realizar la máxima velocidad en la ejecución de los movimientos (Graef et al., 2010; Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015; Takeshima et al., 2002), la cadencia del movimiento en pulsos por minuto (ppm) (Tsourlou et al., 2006) o un método que combinó el número de repeticiones y la percepción de esfuerzo (escala OMNI-Res) (Colado et al., 2012; Colado, Triplett, et al., 2009). Los diferentes estudios obtuvieron mejoras utilizando tanto material de resistencia (Bento et al., 2012; Cardoso et al., 2010, 2004; Carrasco & Vaquero, 2011,

2012; Colado et al., 2012; Colado, Triplett, et al., 2009; Katsura et al., 2010; Takeshima et al., 2002; Tsourlou et al., 2006), como material de flotación (Graef et al., 2010; Krueel et al., 2005) e incluso sin usar ningún tipo de material (Cardoso et al., 2004; Krueel et al., 2005; Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015).

En lo referente a la cuantificación de la fuerza, los diversos estudios han evaluado tanto su expresión isométrica como dinámica en diferentes test (1 o 3 repeticiones máximas, torque isométrico máximo, flexión del tronco, salto vertical, sentadillas en 1', flexo-extensiones de codo en 30'', fuerza máxima de prensión, flexiones en tierra arrodillado), obteniendo, como se ha indicado anteriormente, mejoras en todos los estudios tanto para miembros superiores exclusivamente (Carrasco & Vaquero, 2011; Graef et al., 2010), miembros superiores e inferiores (Bento et al., 2012; Cardoso et al., 2010, 2004; Carrasco & Vaquero, 2012; Colado et al., 2012; Colado, Triplett, et al., 2009; Katsura et al., 2010; Krueel et al., 2005; Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015; Takeshima et al., 2002; Tsourlou et al., 2006) y tronco (Colado et al., 2012; Colado, Triplett, et al., 2009; Takeshima et al., 2002).

No obstante, además de la mejora de la fuerza, todos estos estudios también han corroborado mejoras en otras variables estudiadas, como la condición cardiorrespiratoria (consumo de oxígeno máximo $VO_{2máx}$, frecuencia cardíaca y consumo de oxígeno en el umbral anaeróbico, presión sanguínea sistólica y diastólica, capacidad vital y volumen en espiración forzada) (Colado, Triplett, et al., 2009; Katsura et al., 2010; Takeshima et al., 2002), composición corporal (Cardoso et al., 2010; Carrasco & Vaquero, 2011, 2012; Colado et al., 2012; Colado, Triplett, et al., 2009; Katsura et al., 2010; Takeshima et al., 2002; Tsourlou et al., 2006), perfil lipídico (Colado, Triplett, et al., 2009) (Takeshima et al., 2002), flexibilidad (Bento et al., 2012; Colado, Triplett, et al., 2009; Katsura et al., 2010; Tsourlou et al., 2006), agilidad y test

funcionales (test de paso lateral, test *timed up and go*, test de velocidad máxima de la marcha en 5m, equilibrio, test de la marcha de 6') (Bento et al., 2012; Katsura et al., 2010; Takeshima et al., 2002; Tsourlou et al., 2006) y, por último, aumento de masa muscular, actividad eléctrica máxima y economía muscular (actividad al 40% de la actividad eléctrica máxima) (Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015).

Por otra parte, dentro de los estudios realizados en personas de edad avanzada y ya fuera del grupo de mujeres postmenopáusicas, cabe destacar un estudio que comparó las respuestas agudas a un trabajo de fuerza en hombres jóvenes y hombres de edad avanzada (65 ± 6.5 años) (Cadore et al., 2009). En este estudio se compararon las concentraciones de testosterona y cortisol provocados por dos entrenamientos, uno aeróbico continuo a una intensidad de 13 en la escala de esfuerzo percibido de Borg, y otro de fuerza a una intensidad de 19. Sus resultados fueron que hubo un aumento significativo de la concentración de testosterona en ambos grupos después del entrenamiento a mayor intensidad. Por otra parte, no se encontraron aumentos significativos de la concentración de cortisol en ninguno de los dos grupos.

Así pues, como síntesis de los anteriores estudios, se pueden extraer varias líneas maestras en cuanto al entrenamiento de la fuerza en el medio acuático dirigido a mujeres postmenopáusicas y a personas de avanzada edad. Se pueden obtener mejoras en la capacidad de fuerza con una duración del entrenamiento mínima de 8 semanas con 3 días/semana, aunque también se obtienen mejoras con entrenamientos de 12 o más semanas y 2 días/semana. Siguiendo las prescripciones de la ACSM (Garber et al., 2011) y los estudios anteriores, para que el entrenamiento de la fuerza sea efectivo se debe progresar de menor volumen e intensidad a mayor, siendo efectivos planteamientos con 3-5 series y 12-15 repeticiones, con descansos que varíen entre 30'' y 120'' según intensidades, o también el mismo número de series pero cuantificado con

segundos, variando entre 10'' y 40'' de ejercitación por serie según intensidad. Para la obtención de mejoras es necesario el énfasis en el trabajo de la fuerza (Cardoso et al., 2004; Graef et al., 2010), adoptando una progresión en cuanto a la intensidad, situándose ésta en un mínimo de 12 y un máximo de 19 de la escala de Borg, o de 5-7 en la escala OMNI-Res; no obstante, otras formas de regulación de la intensidad también son válidas, como realizar los movimientos a la máxima velocidad o seguir una cadencia que progrese de 60 ppm a 120 ppm. Se pueden obtener mejoras de fuerza tanto utilizando material de resistencia, como material de flotación, o incluso sin ningún tipo de material.

El entrenamiento de la fuerza en el medio acuático también ha sido efectivo en poblaciones especiales, como pacientes con enfermedad arterial coronaria (Volaklis, Spassis, & Tokmakidis, 2007), sujetos con osteoartritis de cadera y rodilla (Wang, Belza, Elaine Thompson, Whitney, & Bennett, 2007), sujetos con artritis reumatoide, fibromialgia y dolor de espalda (Barker et al., 2014), y sujetos con diabetes tipo II (Cugusi et al., 2015).

2.3.2.3. Entrenamiento de la fuerza en sujetos jóvenes y adultos en el medio acuático.

Se procede a continuación a revisar la bibliografía referente al entrenamiento de la fuerza en el medio acuático en sujetos jóvenes y adultos. Como se ha mencionado con anterioridad, la literatura dedicada al entrenamiento de la fuerza en el medio acuático adolece de estudios en sujetos jóvenes y adultos, y tiene aún más carencias respecto a sujetos físicamente activos, tal y como se destacará a continuación. Del apartado anterior se pueden rescatar algunos estudios, ya que el rango de edad de los sujetos que participaron fue muy amplio y abarcó tanto la adultez y la tercera edad (mujeres entre

35-75 años) (Cardoso et al., 2004; Kruehl et al., 2005), como la juventud y la tercera edad (jóvenes de 25 años y hombres de 65 años) (Cadore et al., 2009). Por lo tanto, dado que estos estudios ya han sido analizados en el apartado anterior, se dejarán de lado durante este apartado.

Todos los artículos revisados se centran en una muestra femenina (De Souza et al., 2010; Pinto, Alberton, Cadore, et al., 2015; Pinto et al., 2013; Pöyhönen et al., 2002), a excepción de tres artículos, que realizan los entrenamientos con una población exclusivamente masculina (Cadore et al., 2009; Colado, Tella, et al., 2009; Pantoja, Alberton, Pilla, Vendrusculo, & Kruehl, 2009). Respecto al nivel de condición física de los participantes antes de realizar el entrenamiento, debe resaltarse que sólo un estudio verificó el aumento de la fuerza y de la masa muscular en sujetos jóvenes y físicamente activos con experiencia en el entrenamiento de la fuerza (Colado, Tella, et al., 2009), mientras que todos los demás utilizaron en su muestra a jóvenes o adultos sedentarios (Cadore et al., 2009; De Souza et al., 2010; Pantoja et al., 2009; Pinto, Alberton, Cadore, et al., 2015; Pinto et al., 2013; Pöyhönen et al., 2002).

Todos los estudios citados anteriormente han conseguido aumentos de los niveles iniciales de la fuerza, bien sea analizando el efecto sobre la fuerza de un tipo de entrenamiento en concreto (Colado, Tella, et al., 2009; De Souza et al., 2010; Pöyhönen et al., 2002), o comparando dos o más condiciones en un mismo entrenamiento, como el efecto que produce la alteración del orden de ejercicios dentro de la sesión de entrenamiento (primero fuerza, luego resistencia, y viceversa) (Pinto, Alberton, Cadore, et al., 2015; Pinto et al., 2013). Respecto a los tipos de entrenamiento evaluados, a diferencia del apartado anterior, son más (aunque tampoco muchos más) los entrenamientos dedicados íntegramente al trabajo de la fuerza (Colado, Tella, et al., 2009; De Souza et al., 2010; Pöyhönen et al., 2002), que los que combinan dicho trabajo

de fuerza con ejercicios cardiovasculares (Pinto, Alberton, Cadore, et al., 2015; Pinto et al., 2013).

La duración de los entrenamientos en los estudios varió entre las 8 y las 12 semanas. Respecto a la frecuencia, 2 estudios plantearon 3 días/semana (Colado, Tella, et al., 2009; Pöyhönen et al., 2002), mientras que 3 diseñaron 2 días/semana, planteando todos los estudios entrenamientos progresivos en intensidad y volumen, dividiendo el entrenamiento en varios mesociclos.

Hay que matizar que, respecto al volumen de entrenamiento en cada sesión, hubo estudios que se decantaron por una distribución tradicional de series y repeticiones (Colado, Tella, et al., 2009; Pöyhönen et al., 2002), mientras que otros, para cuantificar el volumen, en lugar de utilizar repeticiones utilizaron tiempo de ejecución (De Souza et al., 2010; Pinto, Alberton, Cadore, et al., 2015; Pinto et al., 2013). En lo referente al número de series y repeticiones por serie utilizados, los estudios mencionados se movieron en un rango de 2-5 series y 8-15 repeticiones (dependiendo del mesociclo), con descansos que variaron entre 30'' y 90'' según intensidades. Los estudios que utilizaron tiempo de ejecución, diseñaron series de tiempo de ejecución, que variaron entre 2-6 series de entre 30'' y 10'', aumentando las series y disminuyendo el tiempo conforme avanzaba el entrenamiento.

En relación al control de la intensidad en la parte específica de fuerza, todos los entrenamientos planteados han utilizado la realización del movimiento a la máxima velocidad (De Souza et al., 2010; Pinto, Alberton, Cadore, et al., 2015; Pinto et al., 2013; Pöyhönen et al., 2002), a excepción de uno (Colado, Tella, et al., 2009) que utilizó un sistema mediante el cual los sujetos testaron previamente movimientos a distintas cadencias (ppm pre-grabados proporcionados por un equipo de música) con el

fin de encontrar un ritmo de ejecución máximo para un rango definido de repeticiones según un objetivo previo.

Los diferentes estudios obtuvieron mejoras en los niveles de fuerza utilizando material de resistencia (Colado, Tella, et al., 2009; Pöyhönen et al., 2002), e incluso sin usar ningún tipo de material (De Souza et al., 2010; Pinto, Alberton, Cadore, et al., 2015; Pinto et al., 2013).

En lo referente a la cuantificación de la fuerza ganada por los sujetos, los diversos estudios han evaluado tanto su expresión isométrica como dinámica en diferentes test (1RM en diversos músculos, torque isométrico e isocinético para miembros inferiores, test de salto vertical) obteniendo, como se ha indicado anteriormente, mejoras en todos los estudios tanto en miembros superiores e inferiores (Colado, Tella, et al., 2009; De Souza et al., 2010; Pinto et al., 2013), como en inferiores exclusivamente (Pinto, Alberton, Cadore, et al., 2015; Pöyhönen et al., 2002). Incluso, además de la mejora de la fuerza, todos estos estudios han corroborado también mejoras en otras variables estudiadas, como la condición cardiorrespiratoria (VO_2 máx) (Pinto, Alberton, Cadore, et al., 2015), composición corporal (Colado, Tella, et al., 2009), aumento de la masa muscular (Colado, Tella, et al., 2009; Pinto et al., 2013; Pöyhönen et al., 2002), y por último actividad eléctrica máxima y economía muscular (actividad al 40% de la actividad eléctrica máxima) (Pinto, Alberton, Cadore, et al., 2015; Pinto et al., 2013).

Dejando a un lado los efectos crónicos que se producen con el entrenamiento sistemático y regular de la fuerza en el medio acuático, hay que destacar dos estudios que evaluaron los efectos agudos de dicho entrenamiento en jóvenes. El primero se ha citado en el apartado anterior, ya que realizó una comparación las respuestas agudas a

un trabajo de fuerza en hombres jóvenes y hombres de edad avanzada (65 ± 6.5 años) (Cadore et al., 2009). Así pues, se recuerda que en este estudio se compararon las concentraciones de testosterona y cortisol provocados por dos entrenamientos; uno aeróbico continuo una intensidad de 13 en la escala de esfuerzo percibido de Borg, y otro de fuerza a una intensidad de 19. Sus resultados fueron que hubo un aumento significativo de la concentración de testosterona en ambos grupos después del entrenamiento a mayor intensidad. Por otra parte, no se encontraron aumentos significativos de la concentración de cortisol en ninguno de los dos grupos.

Por otro lado, y siguiendo con los efectos agudos del entrenamiento de la fuerza en el medio acuático en jóvenes, un estudio (Pantoja et al., 2009) comparó el daño muscular (concentración de la enzima creatina quinasa) producido por tres series de un entrenamiento de fuerza en tierra y en agua. En tierra se ejecutaron 3 series de 10RM, mientras que en el agua se realizaron 3 series limitadas por tiempo de ejecución, el cual fue el mismo que se tardó en realizar las 10RM en tierra, con el fin de reproducir la misma ruta metabólica. El movimiento en el agua se realizó a la máxima velocidad. Los resultados mostraron un aumento significativo de creatina quinasa en tierra a las 48h horas post-ejercicio y una diferencia significativa de concentraciones entre los dos medios, siendo más alta en tierra que en agua. La creatina quinasa no varió en la condición de agua. Así pues, estos autores concluyeron que el medio acuático propició la no aparición de daño muscular, lo cual debe tenerse en cuenta en situaciones en las cuales se desee un daño muscular limitado. Dado que el dolor muscular tardío se asocia con el daño muscular (López & Dorado, 2008), este resultado está en consonancia con los obtenidos por Robinson et al. (2004), quienes encontraron mejoras en la fuerza de miembros inferiores y una reducción del dolor muscular tardío tras comparar un entrenamiento de multisaltos en tierra y en agua.

Finalmente, como síntesis de los anteriores estudios, se pueden extraer varias directrices maestras en cuanto al entrenamiento de la fuerza en el medio acuático dirigido a sujetos jóvenes y adultos. Se pueden obtener mejoras en la capacidad de la fuerza con una duración del entrenamiento mínima de 8 semanas con 3 días/semana, aunque también se obtienen mejoras con entrenamientos de 12 o más semanas y 2 días/semana. Siguiendo las prescripciones de la ACSM (Garber et al., 2011) y los estudios anteriores, para que el entrenamiento de la fuerza sea efectivo se debe progresar de menor volumen e intensidad a mayor, siendo efectivos planteamientos con 3-6 series y 8-15 repeticiones, con descansos que varíen entre 30'' y 90'' según intensidades, o también el mismo número de series pero cuantificado con tiempo de trabajo muscular, variando entre 10'' y 30'' de ejercitación por serie siempre y cuando el ejercicio se ejecute a la máxima velocidad. En cuanto al control de la intensidad, se muestra igualmente válido tanto el hecho de realizar el movimiento siempre a la máxima velocidad (de manera que a medida que los sujetos progresen en la ganancia de fuerza, generarán más resistencia contra el agua y la carga de trabajo será mayor) (De Souza et al., 2010; Pinto, Alberton, Cadore, et al., 2015; Pinto et al., 2013; Pöyhönen et al., 2002), como ajustar la velocidad del movimiento a una cadencia con la cual el sujeto llegue al fallo muscular en un número determinado de repeticiones (Colado, Tella, et al., 2009). En este sentido, se detecta una diferencia en el control de la intensidad entre entrenamientos dirigidos a sujetos jóvenes y adultos y aquellos dirigidos a mujeres postmenopáusicas y sujetos de edad avanzada. Mientras que en los primeros existe una tendencia mayor a utilizar tiempo de trabajo por serie y repeticiones ajustadas para provocar el fallo muscular, en los segundos se opta más por utilizar escalas de esfuerzo percibido para que el esfuerzo siempre sea submáximo. Por último,

se destaca el hecho de que se pueden obtener mejoras de la fuerza tanto utilizando material de resistencia como sin utilizar ningún tipo de material.

2.4. La musculatura del tronco en el acondicionamiento físico.

Ligado a la concepción actual de actividad física y salud, comentada en el apartado general dedicado a las actividades acuáticas, se encuentra el acondicionamiento de los músculos del tronco, ya que existe evidencia de los beneficios que tiene sobre la salud el aumento de la estabilidad y la resistencia muscular en dichos músculos, sobretodo en el aspecto de la prevención y tratamiento del dolor lumbar (Abenhaim et al., 2000; Chang, Lin, & Lai, 2015; McGill, 2002; Panjabi, 2003), así como de prevención de lesiones importantes en los deportistas de élite (Kibler, Press, & Sciascia, 2006; Leetun, Ireland, Willson, Ballantyne, & Davis, 2004; Vera-García et al., 2015; Zazulak, Cholewicki, & Reeves, 2008).

El auge del estudio del acondicionamiento de los músculos del tronco ha traído consigo el nacimiento de una terminología específica, muy de moda actualmente tanto en el mundo del fitness y wellness, como del entrenamiento en general y de la medicina del deporte. Dicha terminología se concreta en la palabra anglosajona *core*, traducida como núcleo, y asociada a ésta coexisten diversos términos como *core stability* (Bayraktar et al., 2013; Behm, Drinkwater, Willardson, & Cowley, 2010a; Leetun et al., 2004; Reed, Ford, Myer, & Hewett, 2012; Vera-García et al., 2015; Zazulak et al., 2008) y *core strengthening* (Chang et al., 2015; Granacher et al., 2014; Granacher, Gollhofer, Hortobágyi, Kressig, & Muehlbauer, 2013).

Debe comenzarse destacando el hecho de que, a día de hoy, diversos autores estén de acuerdo en que la terminología *core* no es un concepto claro y bien definido, variando su significado dependiendo del área desde la que se estudia, como por ejemplo

rehabilitación clínica, alto rendimiento o biomecánica (Behm, Drinkwater, Willardson, & Cowley, 2010b; Kibler et al., 2006; Vera-García et al., 2015). Así pues, desde una perspectiva clínica se ha definido al *core* como el complejo lumbo-pélvico de la cadera, formado por la columna lumbar, la pelvis y las articulaciones de la cadera, así como los tejidos activos y pasivos que producen o restringen el movimiento en estas regiones (Willson, Dougherty, Ireland, & Davis, 2005).

Sin embargo, parece ser que esta visión clínica y limitada al ámbito de la rehabilitación debe superarse y ampliarse para así poder aplicarse al mundo de la actividad física y deportiva, de manera que se incluyan la transferencia de fuerzas y momentos de fuerza hacia las extremidades (Behm et al., 2010b). Consecuentemente, este autor define el *core* en el campo del deporte como el conjunto formado por el esqueleto axial (cráneo, esternón, caja torácica, columna vertebral y las cinturas escapular y pélvica) y todos los tejidos blandos (cartílagos articulares, ligamentos, tendones, músculos y fascias) con una inserción proximal originaria en el esqueleto axial, independientemente de si la inserción distal del tejido blando se produce en el esqueleto axial o en las extremidades. Por tanto, se está hablando de un concepto funcional y no anatómico (Vera-García et al., 2015).

Así pues, entre los músculos más importantes con una inserción proximal y distal en la región lumbosacra del esqueleto axial se encuentran el multífido, erector espinal, cuadrado lumbar, oblicuo externo, oblicuo interno, recto anterior del abdomen, transversos del abdomen, psoas ilíaco, músculos del suelo pélvico y el diafragma (Martuscello et al., 2013).

Al igual que ocurre con la definición de *core*, sus términos asociados también difieren dependiendo del área de conocimiento desde la que se contemplan. Así pues,

desde la biomecánica, el concepto de *core stability* hace referencia a la habilidad raquídea para defender su estado de equilibrio cuando confluyen en él fuerzas perturbadoras o desequilibrantes (Bergmark, 1989). La perspectiva clínica y rehabilitadora han relacionado la *core stability* con la habilidad de la columna de limitar su movimiento para no lesionar o dañar la médula espinal o los nervios, como también para evitar alteraciones en su morfología que puedan producir dolor o imposibilidad de movimiento (Panjabi, 2003). Finalmente, por la necesidad comentada anteriormente de incluir situaciones dinámicas y la transferencia de fuerzas y momentos de fuerza hacia las extremidades, desde el área de la actividad física y deportiva se ha definido a la *core stability* como la habilidad para controlar la posición y movimiento del tronco en relación a la pelvis y las extremidades para permitir una óptima producción, transferencia y control de la fuerza y movimientos hacia dichas extremidades en actividades integradas de cadena cinética (Kibler et al., 2006). En esta línea, Vera-García et al. (2015, p. 82) dan su propia definición de estabilidad del *core* y exponen que ésta puede ser entendida como la “capacidad de las estructuras osteoarticulares y musculares, coordinadas por el sistema de control motor, para mantener o retomar una posición o trayectoria del tronco, cuando éste es sometido a fuerzas internas o externas”.

Existe un concepto de suma importancia para la comprensión y el entendimiento de esta estabilidad del *core*: la zona neutral (Panjabi, 1992, 2003). Dicha zona ha sido definida por los autores como la zona del rango de movimiento de la columna vertebral (consistente en 1° - 2° en cada plano) dentro de la cual no existe resistencia pasiva al movimiento intervertebral por parte de ligamentos vertebrales y discos intervertebrales, lo que también implica que movimientos más allá de la zona neutral activarán mecanismos estabilizadores para preservar la estabilidad raquídea.

Este mismo autor dividió el sistema estabilizador del raquis en diversos subsistemas: el pasivo, el muscular activo y el neural activo.

El subsistema pasivo estaría formado por los ligamentos vertebrales, los discos intervertebrales y las facetas articulares de las vértebras adyacentes.

El subsistema muscular activo, constituido por los músculos del *core*, puede subdividirse, a su vez en tres grupos (Bergmark, 1989): los músculos pequeños y profundos que actúan a nivel local dando rigidez entre vértebras adyacentes (sistema de estabilización local), los músculos grandes y superficiales que actúan sobre diversas articulaciones y generan grandes momentos de fuerza con brazos de palanca largos (sistema de estabilización global), y por último los músculos encargados de la transferencia de fuerzas del tronco hacia las extremidades a través de las cinturas escapular y pélvica. Estos últimos músculos transfieren torques y momentos angulares durante la ejecución de movimientos que requieren de una cadena cinética integrada, tales como lanzar o patear (Behm et al., 2010b). La acción conjunta de estos tres subsistemas musculares es lo que se ha venido a llamarse estabilidad proximal para la movilidad distal (Putnam, 1993).

Por último se encuentra el sistema neural activo, el cual genera mecanismos tanto de respuesta anticipada a las desestabilizaciones experimentadas por el cuerpo como mecanismos de retroalimentación para corregir el movimiento mientras se produce. En definitiva, la acción conjunta de estos tres subsistemas (pasivo, muscular activo y neural activo) es lo que finalmente confiere la estabilidad inteligente al *core*, y un defecto en cualquiera de los tres ha sido asociado a problemas de dolor lumbar (Behm et al., 2010b).

Volviendo al ámbito deportivo, teniendo en cuenta que el *core* (tal y como se ha definido para el área deportiva) es el centro de prácticamente todas las cadenas cinéticas en las actividades deportivas, el control de la fuerza, del equilibrio y del movimiento maximizará dichas cadenas cinéticas relativas tanto al miembro inferior como al superior, residiendo en ello la importancia del entrenamiento del *core* en el campo del entrenamiento deportivo (Kibler et al., 2006). Asimismo, en relación a la coordinación de subsistemas en el *core*, dado que en las situaciones deportivas los ajustes posturales y las fuerzas externas cambian continuamente (y con ello los patrones de reclutamiento neural específico), los programas de entrenamiento se deben estructurar para que los deportistas estén preparados para dichas situaciones; en definitiva, el entrenamiento debe atender a las demandas del deporte (Behm et al., 2010b). No obstante, aún no existe una evidencia clara de que el entrenamiento de la estabilidad del *core* suponga una mejora del rendimiento deportivo (Vera-García et al., 2015).

2.4.1. Las situaciones que generan inestabilidad como recurso para el entrenamiento del *core*.

En los últimos años se han escrito muchas publicaciones que abordan el efecto que proporcionan los aparatos que generan inestabilidad sobre el aumento de la producción de la fuerza, activación muscular o estabilidad del tronco. Existe una amplia variedad de materiales que generan inestabilidad, como materiales consistentes en pelotas con aire presurizado que se puede encontrar en varios diámetros (tipo Swiss ball), otros materiales consistentes en una bola semiesférica por un lado y una base plana de goma dura por otro discos hinchables, tablas de equilibrio, plataformas de espuma de alta y baja densidad, y cuerdas/cintas y cadenas de suspensión (Behm et al., 2010b).

Generalmente los estudios han comparado el efecto sobre la activación muscular y la fuerza del tronco en situaciones estables (entrenamiento tradicional) e inestables, así como situaciones inestables entre sí (Atkins et al., 2015; Chulvi et al., 2010; Colado et al., 2011; Goodman, Pearce, Nicholes, Gatt, & Fairweather, 2008; Martuscello et al., 2013; Nuzzo, McCaulley, Cormie, Cavill, & McBride, 2008; Saeterbakken & Fimland, 2012, 2013a; Wahl & Behm, 2008). Dada la ingente cantidad de información, numerosos autores han realizado diferentes tipos de revisiones de la literatura disponible, con el fin de arrojar un poco de luz sobre la validez y conveniencia de incorporar el entrenamiento de inestabilidad en un programa de acondicionamiento físico, sobre el tipo de usuarios a los que sería aplicable dicho entrenamiento y si realmente puede llegar a mejorar el rendimiento en atletas (Behm & Colado, 2012; Behm et al., 2010a, 2010b; Landow & Haff, 2012; Martuscello et al., 2013; Vera-García et al., 2015).

Así pues, Behm et al. (2010a, 2010b) arrojan una serie de conclusiones interesantes, aportando recomendaciones basadas en la evidencia acerca del uso de ejercicios con base inestable para atletas, para la rehabilitación y para la población en general. Respecto a las recomendaciones para atletas, la realidad científica apunta a que los ejercicios de levantamiento con peso libre (como por ejemplo levantamientos olímpicos, sentadillas con peso libre y peso muerto) son una alternativa mucho más recomendable que los ejercicios con superficies inestables cuando se quiera mejorar la hipertrofia, la fuerza total o la potencia. Sobre los ejercicios de levantamiento con peso libre se concluye que generan un torque que aporta un componente desestabilizador mucho mayor que los ejercicios con superficies inestables. En este sentido, otros estudios y revisiones apoyan el uso de peso libre en ejercicios multiarticulares sobre cualquier otro entrenamiento para fortalecer los músculos del tronco, ya que

comprobaron que las superficies inestables provocaban la disminución de la señal eléctrica y la producción de fuerza tanto de los agonistas como de los músculos del tronco (Chulvi et al., 2010; Colado et al., 2011; Martuscello et al., 2013).

Además de las razones esgrimidas para descartar un uso exclusivo o prioritario de un programa con materiales que generan inestabilidad en sujetos entrenados, un estudio evaluó posiciones estáticas y ejercicios dinámicos en diferentes situaciones de estabilidad (suelo y diversos materiales que generan inestabilidad) en sujetos con un nivel de entrenamiento de fuerza elevado (Wahl & Behm, 2008). No se obtuvieron diferencias significativas entre condiciones de inestabilidad, por lo que dicho estudio concluyó que los sujetos altamente entrenados en fuerza podrían tener un sentido de la estabilidad más desarrollado al estar acostumbrados a trabajar con pesos libres, con lo cual, el uso de diversos aparatos de entrenamiento moderadamente inestables no desafiara suficientemente la estabilidad en este tipo de sujetos.

Siguiendo en esta línea, otros autores son mucho más contundentes a la hora de determinar la validez del entrenamiento con aparatos que generan inestabilidad en atletas. Landow & Haff (2012), en un interesante artículo de debate, dan dos visiones opuestas sobre el entrenamiento con pelotas de inestabilidad. Así pues, uno afirma que reemplazar los ejercicios tradicionales de acondicionamiento de fuerza por ejercicios con pelota de inestabilidad, así como intentar estimular las habilidades sensitivas motoras con implementos inestables para hacer el ejercicio más arduo es, simplemente, una aplicación irresponsable y negligente de esta herramienta. Igualmente se alega que la iniciación a este tipo de entrenamiento (pelotas de estabilidad) es una moda proveniente de la rehabilitación para sujetos con dolor lumbar y asume falsamente que el entrenamiento tradicional de los músculos del tronco en la población sana no es suficiente. Sigue diciendo que los estudios a favor del uso de este tipo de implementos a

menudo utilizan una muestra con lesiones pre-existentes, no entrenados, de edad avanzada o que se están recuperando de una lesión.

En la otra parte, se justifica la inclusión de los ejercicios con pelota de inestabilidad no para ser más potente o explosivo, sino como objetivo para mejorar la estabilidad segmentaria con el fin de permitir una mejor evolución hacia ese tipo de ejercicios (potencia y explosividad). En la misma línea de argumentación, la justificación para la inclusión de ejercicios con superficies inestables en atletas estaría basada en la necesidad de periodizar el entrenamiento del *core* (tal y como se periodiza cualquier otro aspecto del entrenamiento), por lo que podrían incluirse ejercicios con superficies inestables al principio de temporada o en periodos de descarga, viéndose estos ejercicios como un paso previo en el entrenamiento para mejorar el equilibrio, la fuerza y la resistencia del *core* al que seguirán ejercicios dinámicos y balísticos (Behm et al., 2010a, 2010b).

Respecto al uso de materiales generadores de inestabilidad en el ámbito de la rehabilitación, éstos han demostrado ser eficaces en la reducción de la incidencia del dolor lumbar así como en el aumento de la eficiencia sensorial de los tejidos blandos, de manera que promueven la co-contracción agonista-antagonista con periodos de latencia más cortos, provocando así la protección de articulaciones complejas (Behm et al., 2010a, 2010b).

En este sentido, otro artículo (Behm & Colado, 2012) profundiza en la efectividad del entrenamiento de resistencia utilizando materiales y superficies generadores de inestabilidad en el campo de la rehabilitación, concluyendo que aquellos estímulos que no pueden satisfacer las demandas de sujetos entrenados, sí pueden ser perfectamente válidos para la rehabilitación, pudiendo alcanzar un nivel de activación

de intensidad suficiente en un músculo que se está rehabilitando. Dicho estímulo sería más beneficioso para una articulación lesionada, aportando funciones de estabilización mayores para proteger dicha articulación. Por último, estos autores animan a los terapeutas a utilizar los ejercicios con superficies y aparatos que generan inestabilidad como componente de un entrenamiento progresivo en el que el sujeto se iniciaría con posiciones de equilibrio sin carga, progresando hacia situaciones más desequilibrantes con resistencia, para finalizar con ejercicios tradicionales de resistencia muscular tierra.

Por último, en lo referente a las recomendaciones para la población general respecto al uso de materiales inestables para el entrenamiento del *core*, Behm et al. (2010a, 2010b) prescriben las mismas recomendaciones que plantean para los atletas (ejercicios multiarticulares con peso libre), si bien también matizan que se puede incluir la realización de ejercicios de cadena cerrada con poca carga (esto es, ejercicios en los que las extremidades están en contacto constante con una superficie, generalmente el suelo y que involucran a varias articulaciones) con aparatos que generen inestabilidad. Según estos autores, dichos ejercicios pueden proveer un umbral suficiente para inducir o mantener beneficios saludables. También aconsejan ejercicios de cadena abierta para focalizar el desarrollo de fuerza localizado del *core*, bien sea sobre superficie inestable o estable, con lo que se concluye que aquellos que entrenen buscando un objetivo saludable, también pueden beneficiarse de los ejercicios realizados con materiales inestables.

Otro estudio (Martuscello et al., 2013) realiza una interesante y valiosa revisión sistemática de la literatura poniendo de relevancia que en la comunidad científica aún no se ha llegado a un consenso sobre qué tipo de ejercicios son los más efectivos para la estimulación de los músculos del *core* y para la mejora de la fuerza y estabilidad del tronco. También resalta el valor de una revisión sistemática en contraposición a una

revisión narrativa, argumentando que las revisiones narrativas tienen tendencia al sesgo y a menudo se realizan para apoyar el punto de vista del autor que la escribe, sin ser sistemático en su aproximación. Por el contrario, la revisión sistemática dirige una cuestión de búsqueda específica y utiliza métodos sistemáticos, de manera que ofrece una aproximación menos sesgada a un tema en concreto. Así pues, este estudio revisó sistemáticamente la literatura referida a la activación eléctrica de 3 músculos del *core* (multífidus lumbar, cuadrado lumbar y transverso del abdomen) en ejercicios de acondicionamiento físico en sujetos sanos. Finalmente, la búsqueda sistemática arrojó 17 artículos (257 sujetos y 97 ejercicios), de los cuales sorprende que ninguno fuese considerado de calidad alta según los parámetros de diversas agencias de calidad en investigación. Los autores plantean que no existe una clasificación estándar para ejercicios de *core*, por lo que cada ejercicio de los estudios seleccionados se evaluó según sus características específicas de rango de movimiento, tipo de contracción, velocidad de contracción y peso corporal o resistencia externa.

De entre los estudios evaluados en dicho trabajo, 11 estudiaron ejercicios tradicionales para el *core*, 10 investigaron ejercicios para la estabilidad del *core*, 12 estudiaron ejercicios con pelotas y material inestable, 6 evaluaron ejercicios de peso libre y 2 estudios investigaron ejercicios de peso libre no específicos para el *core*. Para la comparación entre ejercicios, los ejercicios de los estudios seleccionados se dividieron en 5 tipos: entrenamiento tradicional (13 ejercicios), entrenamiento de estabilidad del *core* (13 ejercicios), ejercicios con pelota u otro material de inestabilidad (45 ejercicios), ejercicios de peso libre (20 ejercicios) y ejercicios de peso libre no específicos para el *core* (6 ejercicios). La fuerza de la evidencia en los estudios se evaluó exclusivamente para la comparación entre tipos de ejercicio y no se compendió para diferentes ejercicios dentro de un mismo tipo de ejercicio, de manera que se

consideró evidencia fuerte a los hallazgos consistentes observados entre 3 o más estudios de calidad alta; evidencia moderada a los hallazgos consistentes observados entre 3 o más estudios de calidad media; evidencia limitada a los hallazgos observados en 1 estudio (tanto de calidad baja o alta) o hallazgos inconsistentes entre 4 o más estudios; y por último sin evidencias cuando no existen estudios al respecto.

Como datos interesantes de dicha revisión, se concluyó que existen pocos estudios relativos a la evaluación de la actividad eléctrica del multifidus lumbar y del transverso del abdomen, y ninguno para el cuadrado lumbar en ejercicios de acondicionamiento del *core*. Además, la evidencia de los estudios varió entre limitada y moderada, lo cual conlleva un riesgo de sesgo que se debe tener en cuenta, por lo que se llega a la interesante conclusión de que, a pesar de que la evidencia general de estos estudios no fue fuerte, la aplicación de estos ejercicios está ampliamente extendida en programas de acondicionamiento físico a medio y a largo plazo. Centrando ahora la atención en los resultados, hubo una evidencia moderada que indica que la actividad eléctrica del multifidus fue mayor durante los ejercicios de peso libre comparada con los ejercicios realizados con materiales inestables, mientras que la actividad eléctrica generada por ejercicios para la estabilidad del *core* en este mismo músculo fue similar a la ofrecida por ejercicios con material de inestabilidad. Asimismo, la actividad del transverso del abdomen fue similar para ejercicios para la estabilidad del *core* y para ejercicios con material de inestabilidad. Por lo tanto, estos autores sintetizan la información en una serie de recomendaciones prácticas, que se pueden resumir en las siguientes:

- Los ejercicios con peso libre (tales como la sentadilla o peso muerto) son óptimos para incrementar la actividad del multifidus, mientras que no parece

existir un ejercicio más conveniente que otro para el trabajo del transverso del abdomen.

- Los ejercicios con peso libre tienen una serie de ventajas asociadas contrastadas que no poseen ni los ejercicios de estabilidad del *core*, ni los ejercicios tradicionales de fortalecimiento del *core*, ni los ejercicios con materiales inestables, como son la mejora de la composición corporal, densidad ósea y salud cardiovascular.

- La carga resistiva proporcionada por los ejercicios de peso libre puede tener un progreso continuo, mientras que en los ejercicios específicos de suelo o con materiales inestables, la carga suele estar limitada al peso corporal.

- Prescribir ejercicios de peso libre multiarticulares es más eficiente (en términos de tiempo) que prescribir numerosos ejercicios de suelo específicos para el *core* o ejercicios con materiales inestables.

- Al elegir entre ejercicios para el fortalecimiento del *core* en suelo con o sin material, se recomienda optar por realizarlos sin material, ya que la activación muscular es la misma para ambos ejercicios.

Quizás, la mayor crítica que se puede hacer a esta revisión sistemática sería la elección de los músculos planteada para la selección de ejercicios, ya que deja de lado una gran proporción de estudios que, apoyándose en la electromiografía de superficie, han evaluado músculos más superficiales, tales como recto anterior del abdomen, erector espinal y oblicuos externos.

Además de esta interesante revisión, se podría también destacar la realizada por Vera-García et al. (2015) la cual se explicita a continuación. En ella se pone el foco en

la relación entre la mejora de la estabilidad del *core* y la mejora de rendimiento deportivo. Como se ha avanzado con anterioridad, pese a que desde algunos estudios se defiende una correlación entre la mejora de uno y otro, no existe evidencia manifiesta de que el aumento de la estabilidad del *core* induzca una mejora del rendimiento deportivo. Esto es debido a que los estudios que se han llevado a cabo a este respecto son pocos y arrojan resultados dispares, alegando que la estabilidad del *core* se evalúa conjuntamente con otros componentes de los programas de entrenamiento, por lo que resulta difícil separar sus efectos respecto al efecto de otros componentes.

Otra limitación ligada a la anterior es la falta de test específicos para evaluar el rendimiento deportivo, ya que la mayoría de estudios utilizan test generales como altura del salto vertical, levantamiento de peso, lanzamientos, golpesos, etc., siendo estas pruebas muy generales y no están basadas en el movimiento especializado de cada deporte.

Por otro lado, se considera necesario destacar el comportamiento de los músculos del tronco en relación con los agonistas del movimiento. En este sentido, diversos estudios llegaron a la conclusión de que los músculos del tronco se activaron en la medida en que lo hizo el agonista al movilizar cargas iguales en diferentes condiciones de inestabilidad (Goodman et al., 2008; Saeterbakken & Fimland, 2013b). El primer estudio (Goodman et al., 2008) comparó la activación muscular de 1 repetición máxima (RM) en press de banca en situación estable (banco) e inestable (Swiss ball), sin encontrar diferencias entre condiciones ni para los agonistas medidos ni para el músculo del tronco estudiado, concluyendo que realizar ejercicios de resistencia muscular con una pelota de ejercicios no reporta más ventajas que los ejercicios tradicionales estables.

Saeterbakken & Fimland (2013b) plantearon un estudio que comparó la fuerza realizada y la activación eléctrica de músculos del tronco y del miembro inferior durante la realización de extensión de rodilla (isométrica) en máquina Smith en cuatro situaciones de estabilidad, que fueron suelo y tres materiales que proporcionaron diferentes grados de inestabilidad. En este estudio tampoco se encontraron diferencias ni entre agonistas ni entre músculos del tronco (estabilizadores). Por tanto, los músculos del tronco actuaron en consonancia con el agonista, de manera que al no variar la activación de éste, tampoco lo hizo la musculatura del tronco.

En este sentido, en estudios en los que sí se detectaron variaciones en la activación del agonista en situaciones estables e inestables, también varió la actividad de los estabilizadores (Chulvi et al., 2010; Colado et al., 2011). Por lo tanto, se comprueba cómo la activación de la musculatura del tronco actúa en concordancia con la musculatura agonista tanto si la acción de ésta no se reduce entre situaciones inestables (la musculatura del tronco tampoco se reduce) (Goodman et al., 2008; Saeterbakken & Fimland, 2013b) como en situaciones en las que sí hay una reducción de la activación del músculo agonista en diferentes condiciones de inestabilidad (en situación inestable la activación del agonista se reduce, con lo que la activación de los estabilizadores también, y viceversa) (Chulvi et al., 2010; Colado et al., 2011).

2.4.2. Estudio de la actividad de los músculos del tronco en el medio acuático.

Como ya se ha expuesto con anterioridad, las propiedades del agua hacen a ésta un medio idóneo para personas que quieran ejercitarse físicamente pero que tengan contraindicada la carga de peso en sus articulaciones. Así pues, gracias a las propiedades del agua, el cuidado y fortalecimiento de los músculos del raquis asociado a la rehabilitación de sujetos con dolor lumbar también ha sido tratado en el medio

acuático con excelentes resultados (Bayraktar et al., 2013; Waller, Lambeck, & Daly, 2009).

No obstante, para abordar el trabajo de los músculos del tronco en el medio acuático en el presente trabajo, se va a focalizar la atención en la parte de prevención y no en la de tratamiento. Así pues, son varios los estudios que analizaron el comportamiento de los músculos (activación electromiográfica) del tronco durante de la ejecución de diversos ejercicios.

El primer estudio que se expone (Colado et al., 2008) evaluó el comportamiento del erector espinal en la abducción-aducción de hombro en tierra y en agua a una cadencia determinada y en agua con corrientes. Sus resultados arrojaron una activación significativamente mayor de este músculo en agua que en tierra, así como una activación mayor con corrientes de agua lanzadas frontalmente respecto a las dos condiciones anteriores. Otro estudio de este mismo autor con un planteamiento similar (Colado & Tella, 2006) estudió el comportamiento del recto anterior del abdomen, oblicuo externo y erector espinal en la ab-aducción horizontal del hombro con y sin corriente de agua. Sus resultados mostraron diferencias significativas con una activación mayor de todos estos músculos con corrientes de agua.

En otro trabajo Kaneda et al. (2009) compararon la activación de diversos músculos del tronco (recto anterior del abdomen, oblicuo externo y erector espinal) en tres ejercicios (carrera en agua profunda, marcha en tierra y marcha en agua) a tres cadencias auto-determinadas (lenta, moderada y rápida). Sus resultados evidenciaron un aumento significativo de actividad de los músculos del tronco en cadencias altas respecto a las bajas, con excepción del recto anterior del abdomen, que no varió entre cadencias. En la misma línea, otros estudios (Masumoto, Takasugi, Hotta, Fujishima, &

Iwamoto, 2004, 2005) evaluaron la influencia de corrientes de agua a diferentes velocidades sobre la activación de músculos del miembro inferior y del tronco durante la marcha acuática hacia delante y hacia atrás. Estos estudios concluyeron que la activación de los músculos estudiados fue mayor cuando la velocidad de la corriente aplicada fue también mayor. Por lo tanto, se concluye que tanto en la marcha como en la carrera acuáticas, la actividad muscular tanto de miembros inferiores como del tronco puede incrementarse aumentando la velocidad o aplicando corrientes de agua.

Otros autores como Bressel et al. (2011) compararon la activación eléctrica de diversos músculos del tronco en 4 ejercicios (dos de pie en posición vertical y dos sentados) de estabilidad espinal en tierra y en agua. Los músculos estudiados fueron recto anterior del abdomen, erector espinal, oblicuo externo, multífidus y una zona que llamaron zona abdominal baja (ubicación anatómica donde se entremezclan el oblicuo interno y el transversal del abdomen). Los resultados que obtuvieron mostraron una activación significativamente menor de todos los músculos estudiados en agua respecto a la condición de tierra. Los mismos autores admiten la discordancia con el resto de bibliografía disponible y atribuyen este descenso de la actividad a la tipología del ejercicio (ejercicios analíticos en posición estática frente a ejercicios dinámicos globales de carrera o marcha en los que el cuerpo debe mantenerse estable frente a la resistencia al avance que ofrece el agua). A parte de la explicación de su baja activación por dicha tipología, los autores ofrecen otra explicación basándose en las investigaciones de Deban & Schilling (2009), quienes postularon que la baja activación de los músculos del tronco en el medio acuático se debía a la presión hidrostática y la flotabilidad, las cuales minimizan el papel estabilizador de los músculos del tronco en el medio acuático, disminuyendo así su activación eléctrica.

En la misma línea, los mismos autores realizaron otro estudio (Bressel, Dolny, Vandenberg, & Cronin, 2012) en el que se compararon 11 ejercicios acuáticos terapéuticos para pacientes con dolor lumbar con el fin de evaluar posibles diferencias de activación entre ellos. Se estudiaron los mismos músculos que en el estudio anterior. Así pues, sus resultados mostraron que los ejercicios que más activaron la musculatura del tronco fueron el ejercicio de tensión abdominal y los ejercicios que se realizaron con Swiss ball. La descripción de los ejercicios fue la siguiente: para el ejercicio de tensión abdominal, espalda contra la pared, con una separación de piernas a la anchura de los hombros y piernas en semi-flexión, los sujetos, mediante tensión abdominal y manteniendo una posición neutral de la columna, intentaron llevar su ombligo hacia arriba y hacia adentro sobre la columna, manteniendo la posición durante 5 s. Para los ejercicios con Swiss ball, los sujetos se posicionaron de pie, espalda en posición neutral, brazos extendidos hacia delante y, cogiendo una Swiss ball, los sujetos intentaron flexionar el tronco hacia delante, para después volver a la posición inicial. Luego se repitió el mismo ejercicio pero lateralmente, y por último rotando el tronco de derecha a izquierda. Por otro lado, los ejercicios que menos activaron la musculatura del tronco fueron anterversión y retroversión pélvicas desde una posición de sentado y ejercicios de movimientos alternativos de brazos arriba-abajo y derecha izquierda desde una posición de espalda contra la pared, cadera y rodillas a 90°. Asimismo, comprobaron que otros músculos se reclutaron selectivamente durante ejercicios concretos (zona abdominal baja en el ejercicio de tensión abdominal y multifídus en la abducción de cadera).

Por último, en lo concerniente a los estudios que han evaluado la activación de los músculos del tronco en el medio acuático, se cita un estudio (Colado et al., 2013) en el cual se examinó la respuesta de 2 músculos del tronco (recto anterior del abdomen y

erector espinal lumbar) durante la extensión de hombro en diversas condiciones de propiedad del material, tamaño del mismo y profundidad del agua. Sus resultados no mostraron diferencias significativas en la activación de los músculos del tronco en ninguna de las condiciones, ni de propiedad de material, ni de tamaño, ni de profundidad del agua, aunque parece ser que hay una tendencia a activar algo más el recto anterior del abdomen ante una situación de menor inmersión corporal (+37.4%, $p=0.07$).

2.5. Electromiografía como técnica para medir la actividad eléctrica del músculo.

La electromiografía (EMG) tiene su germen en el S. XVII, cuando Francesco Redi analizó y documentó que era un músculo especializado el que producía electricidad en el pez raya eléctrico (Cram, 2011). A partir de ese momento, figuras como Galvani, Volta o Sechenne fueron ahondando e investigando sobre la producción eléctrica del músculo en los posteriores siglos, hasta que en la década de 1920, Gasser y Newcomer utilizaron el recientemente inventado osciloscopio de rayos catódicos para obtener y revelar la señal eléctrica del músculo, lo cual les valió el premio Nobel en 1944 (Cram, 2011). A partir de ese momento y hasta la actualidad, Basmajian (aportando la técnica del *biofeedback*), Cram y Steger, Taylor y Deluca son algunos de los autores que más producción científica han aportado al panorama científico actual (Cram, 2011).

La despolarización de la membrana de la fibra muscular causada por la llegada de un potencial de acción de su motoneurona es la responsable de la contracción de la fibra muscular  (García & Vaticón, 2008). Esta despolarización, a su vez, causa un campo de corriente eléctrica trans-membrana variable en el tiempo que induce cambios de potencial en el tejido extracelular, los cuales pueden ser medidos de forma invasiva o

intramuscular por medio de electrodos de agujas (para el caso de músculos situados a mayor profundidad), o también de forma no invasiva desde la superficie de la piel situada justo encima del músculo mediante electrodos de superficie; de manera que, en esencia, la recogida de esas señales en la superficie de la piel por parte de un receptor es lo que se conoce como electromiografía de superficie (EMGs) (Staudenmann, Roeleveld, Stegeman, & Van Dieën, 2010).

Como ventajas e inconvenientes de una y otra, cabe reseñar que la EMGs permite un registro global del músculo y no es invasiva, pero está limitada al estudio de la musculatura superficial, su implementación es más costosa (en cuanto a tiempo) y su señal tiene un espectro de señal más bajo; por otro lado, la EMG con electrodos de agujas permite el estudio de musculatura tanto superficial como profunda así como un registro más localizado del músculo, requiere de menor preparación de la piel, y el espectro de frecuencias que utilizad es más alto, pero presenta una desventaja importante que consiste en ser una técnica invasiva (Massó et al., 2010).

Tanto la EMG como la EMGs han sido muy útiles en el campo de la investigación del entrenamiento deportivo, ya que gracias a estas técnicas se ha podido comprobar que los aumentos de la fuerza provocados durante la fase inicial del entrenamiento están en relación con una adaptación del sistema nervioso, de forma que este aumento se debe a un aumento de la actividad en los agonistas, a la reducción de la coactivación de los antagonistas, y también por la coactivación de los sinergistas (Izquierdo, González, Ibáñez, Alonso, & Gorostiaga, 2008).

No obstante, hay que tener en cuenta que la EMGs no es un indicativo directo de la fuerza muscular, ya que ésta viene determinada por el número de unidades motoras activas, por su tamaño y por su frecuencia de descarga. Estos tres factores juntos son lo

que se denomina "activación muscular", que es lo que finalmente aparece en la EMGs (concretamente en la amplitud de la misma), de forma que esta señal es el sumatorio de los potenciales de acción de las unidades motoras y, como señal unidimensional que es, sólo puede proveer una representación imperfecta de estos tres factores (Staudenmann et al., 2010). Sin embargo, pese a no ofrecer directamente parámetros de fuerza, la EMGs sí que muestra el nivel de esfuerzo muscular llevado a cabo en un movimiento determinado, por lo que es significativo subrayar el hecho de que la relación entre la actividad eléctrica muscular y la fuerza es únicamente una apreciación cualitativa (Ricard et al., 2005).

Así pues, la EMGs facilita tareas como definir la participación muscular en un determinado movimiento o estudiar la activación de un músculo de una extremidad o del tronco en relación a otros segmentos (Massó et al., 2010). Finalmente, cabe puntualizar que, aunque la relación entre la amplitud de la EMGs y la fuerza muscular no es necesariamente lineal, a menudo se utilizan modelos lineales que dan, en muchos casos, una descripción de la relación amplitud de EMGs/fuerza razonable (Staudenmann et al., 2010).

Existen diversos manuales y artículos que explican de forma extensa y metódica la metodología relativa a la realización de la EMGs (Cram, 2011; Hermens, Freriks, Disselhorst-Klug, & Rau, 2000). Dicha metodología se puede resumir en los siguientes puntos (Massó et al., 2010):

1. Preparación de la piel: resulta imprescindible reducir la impedancia (resistencia al flujo de la corriente eléctrica) de la piel para obtener una señal fiable y de calidad, para lo cual es aconsejable rasurar la piel con una maquinilla

desechable con el fin de eliminar células muertas y vello corporal. A continuación se limpia la piel con alcohol para eliminar posibles restos y sudor.

2. Colocación de los electrodos: en este punto, una ubicación de los electrodos es crucial para conseguir una señal óptima, ya que tanto el alejamiento del electrodo respecto a la fuente de la señal como un mal alineamiento respecto a la dirección de las fibras del músculo resultan en una bajada drástica de la señal (Staudenmann et al., 2010). Por norma general esta ubicación corresponde a la línea media del vientre muscular, entre la unión músculo-tendinosa y el punto de inervación. También debe tenerse en cuenta la posición inter-electrodos así como la posición del electrodo de referencia, los cuales pueden variar ligeramente por las determinaciones del fabricante del electromiógrafo. Los electrodos más utilizados son los de plata o cloruro de plata (Hermens et al., 2000).

3. Obtención de la máxima contracción voluntaria isométrica (MCVI): esta acción es ineludible para la normalización de la señal obtenida respecto a la actividad máxima de un músculo en cuestión para un sujeto en cuestión. En general, se puede indicar que permite hacer comparaciones inter e intra músculos y sujetos. El investigador debe ceñirse a pruebas estandarizadas y validadas (Vera-García, Moreside, & McGill, 2010).

4. Registro de las señales: corresponde a la fase de adquisición de los datos electromiográficos.

5. Procesado de las señales: en este punto se trata de preparar la señal obtenida (señal cruda o *raw*) para que sea analizable, y se realiza mediante un programa informático especializado. El procesamiento de la señal va a depender del tipo

de análisis que interese al investigador, aunque habitualmente se llevan a cabo dos tipos de análisis, de amplitudes y de frecuencias. Respecto al análisis de amplitudes primero se realiza un filtrado de la señal, por el que se elimina ruido (señales que interfieren en el registro electromiográfico y contaminan la señal, como ondas emitidas por aparatos electrónicos). Posteriormente se rectifica la señal, de forma que se pasan todos los negativos a positivos, ya que originalmente las ondas de los potenciales de acción que se registran son bifásicas o trifásicas (es decir, que tienen fases positivas y negativas) (Staudenmann et al., 2010). A continuación se emplea un algoritmo con la finalidad de hacer más precisa la estimación de la amplitud de la señal, siendo el algoritmo más utilizado actualmente la media cuadrática o valor cuadrático medio (RMS son sus siglas en inglés), el cual representa una medida estadística de la magnitud de una cantidad variable, como es la señal electromiográfica. Cabe señalar que si se utiliza el RMS, no es necesario el paso previo, es decir, la rectificación de la señal. Y el último paso del análisis estaría referido a la normalización de la señal, de manera que los milivoltios de la actividad registrada por el músculo son expresados como porcentaje de la MCVI (%MCVI) dividiendo el valor instantáneo de la amplitud de la señal entre el valor obtenido en la MCVI (Burden, 2010; Lehman & McGill, 1999). Este procedimiento permite la comparación de registros entre diferentes sujetos así como reducir la variabilidad inter-sujeto en la amplitud de la señal asociada con, por ejemplo, diferencias en el grosor del tejido subcutáneo (Staudenmann et al., 2010). Este paso es de obligado cumplimiento en la comunidad científica y muchos advierten de los peligros de su omisión (Lehman & McGill, 1999).

Una vez llegados a este punto, se ha de matizar el hecho de que el presente trabajo ha utilizado la técnica de EMGs para la obtención de la señal eléctrica de los músculos estudiados.

2.5.1. Comparación electromiográfica de la máxima contracción voluntaria isométrica en tierra y agua.

La electromiografía de superficie (EMGs) se ha utilizado ampliamente para el estudio de la actividad eléctrica del músculo en el medio acuático (p. e. Colado, Escudero, Nacleiro, & Chulvi, 2006; Cuesta & Cano, 2014; Masumoto, Horsch, Agnelli, McClellan, & Mercer, 2013; Masumoto & Mercer, 2008; Pinto, Alberton, Cadore, et al., 2015; Pinto et al., 2010; Pöyhönen et al., 2001b). Pöyhönen fue uno de los pioneros más notables en este campo, abriendo nuevas vías de investigación y sentando las bases para posteriores estudios (Pöyhönen et al., 2001a, 2001b, 2002; Pöyhönen, Keskinen, Hautala, Savolainen, & Mälkiä, 1999; Pöyhönen & Avela, 2002).

Esta técnica se ha utilizado en muchas ocasiones para comparar la activación muscular en el medio acuático y en el terrestre, sobre todo en MCVI o porcentajes de ésta (Alberton et al., 2008; Carvalho et al., 2010; Castillo & Cuesta, 2013; Fujisawa, Suenaga, & Minami, 1998; Kalpakcioglu, Candir, Bernateck, Gutenbrunner, & Fisher, 2009; Pinto et al., 2010; Rainoldi et al., 2004; Silvers & Dolny, 2010; Veneziano et al., 2006). Esto es así por la dificultad dada para comparar ejercicios dinámicos en tierra y agua, y también por la importancia de la normalización de la señal electromiográfica (comentado en el apartado anterior) para poder expresar la señal en %MCVI y así poder comparar los resultados de forma fiable (Burden, 2010; Lehman & McGill, 1999).

Diversos estudios encontraron en la comparación de MCVI tierra-agua valores de EMGs inferiores en el medio acuático respecto a los valores recogidos en el medio

terrestre (Fujisawa et al., 1998; Kalpakcioglu et al., 2009; Pöyhönen & Avela, 2002; Pöyhönen et al., 1999) lo cual ha supuesto un prolongado debate para interpretar, justificar y dar soporte a esos resultados. Se dieron como explicaciones la posible infiltración de agua en los electrodos de medición, o que el estado de hipogravidez podía conducir a una estimulación reducida de la propiocepción e influenciar la manera en que funciona el sistema vestibular, ya que la inmersión se considera similar a un estado de gravedad reducida (Pöyhönen & Avela, 2002).

En la otra parte del debate se encuentran todos aquellos estudios que no encontraron diferencias significativas entre las señales electromiográficas obtenidas en agua y en tierra (Carvalho et al., 2010; Pinto et al., 2010; Rainoldi et al., 2004; Silvers & Dolny, 2010; Veneziano et al., 2006). Todos estos estudios tienen en común un cuidadoso aislamiento de los electrodos mediante un apósito impermeable. Según una publicación, los factores que pueden determinar las diferencias entre los resultados electromiográficos de diferentes estudios son: a) la adopción de protocolos diferentes; b) la infiltración de agua en los electrodos; c) el estudio de músculos diferentes; d) el papel de las fuerzas de flotación y fuerzas resistivas, así como el grado de inmersión; y f) temperaturas diferentes del agua respecto a la de la piel (Veneziano et al., 2006)

Valga el ejemplo siguiente para apreciar los avances que se han dado en el estudio de la señal electromiográfica en el medio acuático, ya que en relativamente poco tiempo se ha pasado de la idea de que el músculo sumergido en agua sufría una serie de alteraciones que disminuían la amplitud de su señal en una prueba de MCVI, a comprobarse que con un buen aislamiento la integridad de la señal queda totalmente garantizada. Esta disparidad se puede comprobar al consultar un artículo de revisión del año 2008 (Masumoto & Mercer, 2008) en el que se aconsejaba, a la vista de los resultados hasta la fecha (disminución de la EMGs en el agua) que, a la hora de

comparar mediciones en tierra y agua, se realizara en tierra la MCVI para la normalización de la señal, ya que en ese momento no se sabía si dichas diferencias eran debidas a limitaciones metodológicas o a cambios fisiológicos inducidos por la inmersión en agua, y además la mayoría de los estudios lo habían protocolizado de esa manera. Dos años después, surgen tres estudios (Carvalho et al., 2010; Pinto et al., 2010; Silvers & Dolny, 2010) que contradicen las indicaciones anteriores para afirmar que dicha MCVI se puede realizar tanto en tierra como en agua, ya que ésta no influye (con un buen aislamiento de electrodos) en la amplitud de la señal electromiográfica.

Existen otros dos estudios anteriores al artículo en cuestión (Rainoldi et al., 2004; Veneziano et al., 2006) los cuales tampoco encontraron diferencias entre la señal en agua y en tierra, pero no fueron tenidos en cuenta para la redacción de dicho artículo. Los estudios más recientes continúan respaldando el uso de la EMGs en el medio acuático como método totalmente fiable y equiparable a su uso en tierra, de manera que su uso está completamente normalizado en la investigación acuática (Cuesta & Cano, 2014; Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015).

Así pues, queda claro que para la utilización de la EMGs en el medio acuático es imperativo el aislamiento de los electrodos. La mayoría de estudios citados anteriormente utilizaron diversos métodos de aislamiento, todos con características muy parecidas. El protocolo de aislamiento del presente trabajo se ha basado en el mismo protocolo llevado a cabo por Pinto et al. (2010), el cual se detallará en el apartado de material y métodos.

2.5.2. Comparación de la señal electromiográfica en ejercicios dinámicos en tierra y en agua.

Respecto al uso de EMGs en ejercicios dinámicos, tal y como se ha apuntado anteriormente, se hace más difícil comparar amplitudes de señal porque, por las características del medio acuático, es complicado emparejar ejercicios terrestres con homólogos acuáticos (Cuesta & Cano, 2014).

No obstante, un estudio (Pöyhönen et al., 2001b) que comparó el tipo de contracción llevada a cabo en el medio acuático (con dos condiciones, pie descalzo y equipamiento de resistencia) con otro terrestre ejecutado en una máquina isocinética consideró que estos dos tipos de contracción podrían ser similares en su ejecución, ya que no se aplicaron cargas gravitacionales en el miembro, ni en los ejercicios isocinéticos ni en los acuáticos. No obstante, los resultados de dicho estudio no confirmaron esta hipótesis. Así pues, este estudio comparó en sujetos sanos la actividad eléctrica de los músculos flexores de la rodilla (bíceps femoral y semitendinoso) y los músculos extensores (vasto interno y externo) durante la flexo-extensión de rodilla en diversas situaciones: a) en tierra con máquina isocinética, b) en agua con pie desnudo y c) en agua con material de resistencia (Hydro-Boot de Hydro-Tone). La velocidad en la máquina isocinética se limitó a 180°/s y se realizaron 6 repeticiones de la flexo-extensión, mientras que las repeticiones en agua fueron entre 6 y 8 y se realizaron a la máxima velocidad.

Sin embargo, uno de los hitos también remarcables de este estudio pionero de Pöyhönen et al. (2001b) y que es realmente interesante para el caso que nos ocupa, fue que para las condiciones de ejercicio en el agua cuando un músculo actuaba como agonista permanecía activo durante aproximadamente la primera mitad del recorrido,

mientras que cuando actuaba como antagonista, su actividad se ubicaba en la segunda mitad del recorrido. Esto contrastaba con los resultados obtenidos en la máquina isocinética, ya que la actividad del agonista estuvo presente durante todo el recorrido. Así pues, la contracción muscular en el medio acuático en ejercicios dinámicos difiere de la contracción muscular isocinética en tierra, cuya diferencia principal es el mayor periodo excéntrico en el ejercicio acuático en comparación con el isocinético terrestre.

Tomando en consideración estos hallazgos de Pöyhönen et al. (2001b) se puede desmitificar la idea de que el ejercicio realizado en el agua no puede ofrecer contracciones excéntricas, lo cual en numerosas ocasiones se ha interpretado como una limitación para el desarrollo de programas para el entrenamiento de la fuerza en el medio acuático (al menos cuando era comparado con su equivalente de ejercitación en el medio terrestre) (Colado & Triplett, 2009)

Respecto a la comparación de la señal eléctrica del estudio (Pöyhönen et al., 2001b) que comparaba las condiciones de tierra con máquina isocinética y agua con pie desnudo y agua con material de resistencia, los resultados mostraron que tanto los patrones de actividad eléctrica como las amplitudes de la señal de las dos situaciones de agua fueron bastante similares. Además, tanto los picos de actividad como la actividad eléctrica a 90° de flexión en las situaciones de agua fueron comparables (más adelante se ahondará en estos resultados por su especial relevancia).

Con referencia a la comparación entre las situaciones de ejercitación en el agua y en la tierra con máquina isocinética, la activación máxima de los flexores fue mayor en la condición de agua con pie desnudo, pero similar en el agua con material de resistencia (Pöyhönen et al., 2001b). Sin embargo midiendo la activación concreta en los 90° de flexión, la condición de ejercicio con máquina isocinética fue muy superior a

las dos condiciones de agua. Respecto a los músculos extensores de rodilla, los picos de actividad fueron similares entre la condición de ejercicio en tierra y en el agua con material de resistencia, pero se encontró una activación pico significativamente mayor de la condición terrestre respecto a la acuática con pie desnudo.

Otros autores (Colado et al., 2008) también consideraron como similares las activaciones musculares con máquina isotónica y las llevadas a cabo en el medio acuático, alegando que la similitud podría radicar en que ambas contracciones estaban mediatizadas por un ritmo de ejecución similar para el mismo rango de repeticiones y carácter del esfuerzo máximo, de manera que posiblemente la resistencia que el agua había proporcionado al movimiento se conseguía equiparar en el ejercicio equivalente desarrollado en el medio terrestre con poleas. En dicho estudio los autores emplearon un ejercicio acuático (abducción-aducción horizontal del hombro con material de resistencia -Hydro-Bells de Hydro-Tone-) con otro terrestre con la mayor similitud (abducción-aducción del hombro con poleas y misma cadencia que en el agua), haciendo para el terrestre dos series separadas, una para el agonista y otra para el antagonista.

Entre los hitos importantes que aporta este estudio que se está analizando (Colado et al., 2008), cabe destacar que se consiguió una activación similar entre ambos medios para el músculo pectoral mayor y algo superior en el medio acuático para el deltoides posterior. A tenor de estos resultados, los autores indicaron que este método posiblemente no era válido para equiparar el trabajo entre ambos medios (condiciones), ya que habría otros factores que podrían influir en las pequeñas diferencias que se encontraron. Así pues, si se tiene en cuenta la actual literatura al respecto del entrenamiento de la fuerza en situaciones de inestabilidad, como ya se introdujo en apartados anteriores, cabría destacar que posiblemente sí que fuera un buen método para

tal equiparación, ya que los resultados son concordantes con los datos que arroja la actual literatura al respecto del entrenamiento en condiciones de estabilidad versus inestabilidad. Es decir, los denominados “otros factores” esbozados por los autores actualmente quedarían explicados por los factores añadidos de estabilización escapulo-humeral relacionados con la mayor inestabilidad para dicha articulación en la realización acuática de los ejercicios y, en consecuencia, la misión de coaptación articular de dicha porción posterior del músculo deltoides (Lee & An, 2002). Tomando en consideración esta puntualización, se podría corroborar dicho método como eficaz, en la medida de lo posible, para equiparar intensidades de activación muscular entre ejercicios realizados en diferentes medios.

De todas formas, algo también reseñable en dicho estudio (Colado et al., 2008), es que para condiciones de ejercitación similares en dicho medio, con el método descrito sí que se conseguiría reproducir la misma intensidad en dos series de un mismo ejercicio acuático mediante el empleo de una cadencia protocolizada. Incluso en tal estudio se consiguió demostrar que la ejercitación en el medio acuático podría llegar a generar, al menos en los movimientos analizados, un umbral de activación suficiente para estimular los mecanismos de adaptación al entrenamiento de la fuerza.

Siguiendo con la comparación de la EMGs en ejercicios dinámicos entre tierra y agua, una investigación (Kelly, Roskin, Kirkendall, & Speer, 2000) comparó la activación de seis músculos (supraespinoso, infraespinoso, subescapular y deltoides anterior, medial y posterior) en una elevación del brazo (0° - 90°) en el plano escapular a tres cadencias ($30^{\circ}/s$, $45^{\circ}/s$ y $90^{\circ}/s$) en el medio terrestre y en el agua. Este estudio encontró una activación menor para la condición de agua para todos los músculos a las cadencias bajas ($30^{\circ}/s$ y $45^{\circ}/s$), mientras que para la cadencia alta ($90^{\circ}/s$) no se encontraron diferencias significativas entre las condiciones de tierra y agua.

Otro estudio más reciente (Castillo, Cuesta, & Gabel, 2014) investigó la activación de los músculos del hombro (erector espinal del cuello, parte superior del trapecio, pectoral mayor, parte anterior y medial del deltoides y gran dorsal) en la elevación del brazo de 0° a 90° en diferentes planos (sagital, frontal y en el plano de la escápula) y a diferentes velocidades (30°/s, 45°/s y 90°/s) en el medio terrestre y en el acuático. Sus resultados concluyen que los niveles de actividad de los músculos del hombro en el ejercicio acuático comparados con sus homólogos terrestres fueron significativamente más bajos a la velocidad más baja (30°/s), similares a velocidad media (45°/s) y significativamente más altos a la velocidad alta (90°/s).

En otro estudio, Cuesta, Cano, & Heywood (2013) compararon en tierra y en agua la actividad eléctrica de los músculos vasto interno, recto femoral, la porción larga del bíceps femoral, tibial anterior, gastrocnemio, sóleo, recto anterior del abdomen y erector espinal de la parte derecha de los sujetos en una acción de levantarse desde una posición de sentado. Tanto el movimiento terrestre como el movimiento en el agua se realizaron a la misma velocidad de 20 ppm. Sus resultados fueron que la activación de todos los músculos de la extremidad inferior fue significativamente mayor en tierra que en agua, pero para los músculos del tronco sucedió lo contrario, su activación fue mayor en agua que en tierra, lo cual puede explicarse por la resistencia ofrecida por el agua como reacción al movimiento del tronco hacia delante que implica el levantarse de una silla. Por lo tanto se puede observar que al comparar el movimiento de levantarse de una silla realizado en tierra y agua a una cadencia baja, son más bajos los valores de activación eléctrica de los músculos (a excepción de los del tronco), al igual que sucedía en los estudios anteriores.

Dentro de los estudios en los que se ha comparado la actividad eléctrica en agua y en tierra se encuentran también aquellos dirigidos a investigar las diferencias entre la

marcha y la carrera en el medio terrestre y el medio acuático (Masumoto et al., 2013; Masumoto & Mercer, 2008). Respecto a la marcha, se sabe que en condiciones similares de respuesta cardiovascular y de nivel de ejercitación percibido (lo que conlleva que la velocidad en agua sea la mitad que en tierra), la actividad eléctrica de los músculos implicados es, aproximadamente, un 70% menor en el agua que en tierra. Se han dado numerosas explicaciones para ello, entre ellas que el miembro superior juega un papel más importante en la modificación de la intensidad del ejercicio, las características de la marcha acuática (menor frecuencia y longitud) y la reducción de las fuerzas de reacción verticales (Masumoto & Mercer, 2008). Sin embargo, cuando se compara la marcha acuática y la terrestre a la misma velocidad, la media de activación muscular del vasto interno y recto femoral del cuádriceps, bíceps femoral y gastrocnemio es significativamente más alta en agua que en tierra, lo cual se explica por la necesidad de producir una mayor fuerza propulsiva para superar la resistencia que ofrece el agua (Masumoto & Mercer, 2008).

Respecto a la comparación de la carrera terrestre y acuática, un estudio reciente (Silvers, Bressel, Dickin, Killgore, & Dolny, 2014) comparó la actividad muscular (%MCVI, duración total de la activación y activación muscular total) producida por la carrera en una cinta rodante acuática y otra terrestre a tres velocidades diferentes (10.5 Km/h, 12 Km/h y 13.7 Km/h) en los músculos vasto interno y recto femoral del cuádriceps, bíceps femoral, gastrocnemio y tibial anterior. Sus resultados fueron que, en general, los valores de %MCVI del vasto interno y del gastrocnemio fueron significativamente más bajos en la cinta acuática que en la terrestre. Por el contrario, los valores del recto femoral fueron significativamente más altos en la cinta acuática que en la terrestre. Respecto al efecto de la velocidad en el agua, el tibial anterior registró una actividad significativamente mayor a la velocidad más alta respecto a las otras dos,

mientras que el recto femoral obtuvo diferencias significativas en cada incremento de velocidad, aumentando significativamente la actividad eléctrica con cada aumento de velocidad. Teniendo en cuenta que el recto femoral tiene funciones de flexión de la cadera, el aumento de velocidad hizo que el músculo se activase más durante la fase aérea de la zancada (o de recuperación), ya que adicionalmente debía superar la resistencia del agua al movimiento. De nuevo, se puede observar como la velocidad de ejecución del movimiento es un factor determinante en la activación muscular.

Siguiendo con la comparación entre carrera terrestre y acuática, Masumoto et al. (2013) compararon la activación muscular producida en tres intensidades diferentes (frecuencia cardiaca) de dos ejercicios, carrera en agua profunda y carrera en cinta rodante en tierra. Las intensidades en tierra y en agua fueron emparejadas de forma que las frecuencias cardíacas registradas en la cinta rodante a tres niveles de ejercitación percibida (niveles 11, 13 y 15) se utilizaron para limitar los niveles de intensidad en agua profunda. Así pues, se midió la actividad eléctrica del recto femoral del cuádriceps, bíceps femoral, tibial anterior y gastrocnemio, resultando en una actividad muscular similar para las tres intensidades en los dos medios, a excepción del gastrocnemio, que fue inferior en agua. Estas conclusiones sugieren que emparejar la frecuencia cardiaca en ejercicios de carrera en agua profunda y cinta rodante en tierra es recomendable para producir magnitudes similares de activación (Masumoto et al., 2013).

Para finalizar el presente apartado en el que se compara la activación muscular entre ejercicios realizados en el agua y en tierra, se expone un estudio en el que Alberton et al. (2011) compararon la carrera estática en tierra y en agua a cuatro cadencias diferentes (60 ppm, 80 ppm, 100 ppm y máxima) y midieron las respuestas cardiovasculares de consumo de oxígeno (VO₂), cinemáticas (velocidad angular) y

neuromusculares (EMGs) de los músculos recto femoral y vasto interno del cuádriceps, semitendinoso y la porción corta del bíceps femoral. Centrándose en las respuestas cinemáticas y neuromusculares, se observó que a cadencias submáximas, la actividad eléctrica de los músculos fue inferior en agua comparado con tierra, pero a la máxima cadencia, no hubieron diferencias significativas entre los dos medios. Comparando la respuesta muscular exclusivamente en el agua, la activación muscular entre las cadencias submáximas no obtuvo ninguna diferencia, mientras que la activación muscular a una cadencia máxima, comparada con las submáximas, fue significativamente mayor. Así pues, una vez más, como ha sucedido en estudios anteriores, cuando se compara la activación muscular en tierra y en agua a velocidades de ejecución bajas la activación es menor en el agua, pero a intensidades altas o máximas, dicha intensidad es similar en ambos medios o superior en el agua, lo cual como ya se justificó en apartados previos está causado por la mayor influencia de la variable velocidad en la resistencia de forma generada por el agua. Por otro lado, si se comparan condiciones exclusivamente en agua, cadencias altas o máximas implican activaciones musculares más altas que cadencias bajas o submáximas.

2.5.3. Comparación de la señal electromiográfica en ejercicios dinámicos en el medio acuático.

A continuación se recopilan los estudios relativos al análisis y comparación de la actividad eléctrica muscular en ejercicios de gimnasia realizados exclusivamente en el medio acuático. Todos ellos han comparado la señal eléctrica de varios músculos en ejercicios en el medio acuático en diversas condiciones: sin material aislando flexión y extensión de rodilla (Pöyhönen et al., 2001a), con y sin material en la flexo-extensión de rodilla (Alberton et al., 2006; Nakamura & Mizukami, 2011; Pöyhönen et al., 2001b), con y sin material en extensión de cadera (Black, 2005), sin material comparando

diversos ejercicios a diferentes cadencias (Alberton et al., 2014), con diferentes materiales a cadencias submáximas y máxima (Pinto et al., 2011), y, por último, con diferentes materiales y profundidades a cadencia máxima (Colado et al., 2013). Asimismo, algunos de estos estudios han controlado también la variable velocidad registrando los valores de velocidad angular, conscientes de su importancia en la generación de resistencia en el agua por la ecuación que define a la resistencia de forma (ver apartado anterior sobre Propiedades del agua) (Black, 2005; Pöyhönen et al., 2001a, 2001b).

Para el apartado actual, aunque entre sus objetivos también estuviera la comparación de condiciones de activación muscular en agua y en tierra, se ha querido rescatar y mostrar nuevamente en este apartado el estudio de Pöyhönen et al. (2001b) por ser una referencia primordial en el estudio electromiográfico en el medio acuático además de por ilustrar la tipología de la contracción muscular en el medio acuático. Asimismo, se mencionará un segundo estudio que sí compara específicamente la señal EMGs únicamente en agua (Pöyhönen et al., 2001a),.

Así pues, se recuerda que Pöyhönen et al. (2001b) compararon la señal eléctrica de los músculos flexo-extensores de la rodilla en un ejercicio acuático de flexo-extensión de rodilla a la máxima velocidad en dos condiciones: con material de resistencia y sin material (pie desnudo). Sus conclusiones, como se ha expuesto con anterioridad, fueron en cierta manera sorprendentes, ya que no encontraron diferencias de activación ni de patrón de contracción muscular entre ambas situaciones de agua. Además, descubrieron que durante la flexo-extensión de rodilla, tanto en la condición con material como en la condición sin material, existió una fase excéntrica en la contracción muscular tanto de los músculos flexores como de los extensores. No obstante, en otro estudio del mismo autor y publicado en el mismo año (Pöyhönen et al.,

2001a) se midió la señal eléctrica de los mismos músculos (vasto interno y externo del cuádriceps, bíceps femoral y semitendinoso) en el mismo movimiento de flexo-extensión de rodilla, pero en esta ocasión solamente en situación de pie desnudo y durante tres situaciones diferentes: a) extensión de la rodilla exclusivamente, b) flexión de la rodilla exclusivamente, y c) flexo-extensiones repetidas. En este caso, durante los movimientos aislados de flexión y extensión, la actividad del agonista fue alta durante la pre-contracción y las fases iniciales del movimiento, mientras que la actividad del antagonista permaneció extremadamente baja durante todo el rango de movimiento; por otro lado, al igual que en el estudio anterior, se detectó una actividad excéntrica durante las flexo-extensiones repetidas.

Así pues, como conclusión crucial a modo de síntesis para entender la contracción muscular en el medio acuático, se puede indicar que un movimiento aislado de flexión o extensión, en este caso de rodilla, en el agua se puede utilizar para aislar la actividad muscular concéntrica, mientras que con flexo-extensiones continuadas la activación excéntrica existe y es mucho mayor que con flexiones o extensiones aisladas. Otros estudios más recientes que estudiaron también la flexo-extensión de la rodilla en el medio acuático confirman estos resultados, corroborando así la existencia de una fase de contracción excéntrica en este tipo de ejercicio (Alberton et al., 2006; Nakamura & Mizukami, 2011). Respecto a la variable velocidad angular, los estudios de Pöyhönen (Pöyhönen et al., 2001a, 2001b) destacan que para un movimiento a la máxima velocidad, cuando el área ofrecida es mayor (con un implemento de resistencia), la velocidad es significativamente menor, y viceversa.

En la misma línea, existe un estudio (Black, 2005) que midió en mujeres sedentarias la actividad eléctrica del bíceps femoral y recto femoral del cuádriceps en la flexo-extensión de cadera (8 repeticiones), con y sin material de resistencia (Aquafins) y

a diferentes cadencias (40 ppm, 60 ppm, 80 ppm y máxima). Es un estudio con un diseño similar a los anteriores, aunque varió el tipo de material utilizado y se incluyeron más gradaciones en las condiciones de velocidad angular. Los resultados de este estudio mostraron de nuevo una ausencia de diferencias significativas en la activación muscular entre las condiciones con y sin material de resistencia a la máxima velocidad, obteniendo los siguientes valores de activación: a) recto femoral sin equipamiento $67,43 \pm 19,36$ %MCVI, b) recto femoral con equipamiento $65,18 \pm 22,25$ %MCVI, c) bíceps femoral sin equipamiento $58,72 \pm 25,25$ %MCVI y d) bíceps femoral con equipamiento $69,62 \pm 20,40$ %MCVI. Respecto a la velocidad angular, este estudio concluyó también que a cadencia máxima, la velocidad fue significativamente menor con material de resistencia que sin éste.

Alberton et al. (2014) estudiaron las respuestas cardiovasculares y la activación eléctrica de diversos músculos en tres ejercicios de gimnasia acuática (carrera estática, patada frontal y esquí de fondo) a tres intensidades diferentes (primer umbral ventilatorio, segundo umbral ventilatorio e intensidad máxima). Encontraron que hubo un aumento significativo de la actividad muscular parejo al aumento de intensidad. Si se tiene en cuenta que no usaron materiales que aumentaran el área, el aumento de actividad tiene que haber estado determinado por el aumento de velocidad, tal y como determina la ecuación de la resistencia de forma. Por tanto, se deduce que en este estudio una mayor velocidad de ejecución conllevó una mayor activación.

Otro estudio (Pinto et al., 2011) comparó las respuestas neuromusculares (EMGs) y cardiorrespiratorias de mujeres jóvenes físicamente activas en un ejercicio calificado por los autores como carrera estática en el medio acuático con flexo-extensión de codo (flexo-extensión de codo y flexo-extensión de cadera, simultáneamente), a 3 cadencias diferentes (80 ppm, 100 ppm y máxima), y cada una de

estas cadencias fue ejecutada en 3 condiciones diferentes: a) sin material; b) con material de flotación (Hydro Floating Arm and Leg Trainer) en miembro superior e inferior y c) con material de resistencia (Hydro Resistant Combo) en miembro superior e inferior. En las cadencias submáximas, el ejercicio se realizó durante 4' y se registraron los valores de EMGs del tercer al cuarto minuto. Respecto a la cadencia máxima, el ejercicio se realizó durante 15 segundos y se registró la señal EMGs. Cuando se comparó la activación muscular entre cadencias submáximas, no hubo diferencias significativas, pero cuando éstas se compararon con la cadencia máxima, hubo un aumento significativo de la activación, siendo ésta significativamente más alta en la cadencia máxima. Respecto a las diferencias de activación proporcionadas por las diferentes condiciones, los resultados no mostraron diferencias significativas para ningún músculo entre las situaciones sin material, con material de flotación y con material de resistencia, a excepción del tríceps braquial (mayor activación con material de flotación) y bíceps femoral (mayor activación con material de resistencia). Así pues, este estudio también ratifica que la actividad muscular aumenta con el aumento de la cadencia en el medio acuático. Además, otra conclusión importante es el hecho de que las diferentes condiciones (sin material, con material de flotación y con material de resistencia) no modificaron la activación muscular, proporcionando dichas condiciones niveles de activación similar.

Por último, en este apartado dedicado a recopilar los estudios que midieron la actividad eléctrica en el medio acuático, se cita una investigación (Colado et al., 2013) en la cual se estudió la extensión de hombro a la máxima velocidad con materiales de diferente propiedad y tamaño y a diferentes profundidades. Así pues, se midió la actividad eléctrica del músculo dorsal ancho y varios músculos del tronco durante la extensión de hombro con las diferentes condiciones a la máxima velocidad de ejecución

posible, sin encontrar tampoco diferencias significativas entre las mismas para ninguno de los músculos estudiados. Los resultados de este estudio estarían en sintonía con los anteriores, dado que la evidencia apunta a que ni el tamaño ni la propiedad del material tienen efecto sobre la activación muscular cuando el movimiento se realiza a la máxima velocidad en el medio acuático.

2.6. Síntesis bibliográfica y génesis de la investigación.

Son varios los estudios que resaltan la necesidad de ahondar en aspectos tales como: (i) Los efectos del entrenamiento de la fuerza en el medio acuático con diferentes equipamientos (tanto resistivos como de flotación); (ii) La carga real que éstos suponen para el entrenamiento de la fuerza en dicho medio (Barbosa et al., 2009; Colado et al., 2013; Colado & Triplett, 2009; Martinez et al., 2011; Pinto et al., 2011; Pöyhönen et al., 2001b); (iii) La exploración de la influencia que tienen diversos ejercicios acuáticos sobre los niveles de actividad de los músculos del tronco (Bressel et al., 2011).

Respecto al estudio de la activación muscular producida por material de resistencia, existen pocos estudios que hayan tratado esta temática (Alberton et al., 2006; Black, 2005; Colado et al., 2013, 2008; Nakamura & Mizukami, 2011; Pinto et al., 2011; Pöyhönen et al., 2001b). No obstante, aún son más escasos los estudios que han profundizado en los efectos del material de flotación sobre la activación muscular (Colado et al., 2013; Pinto et al., 2011), o que hayan comparado estos materiales entre sí (Colado et al., 2013; Pinto et al., 2011). A la vista de la bibliografía revisada, resulta obvio que el estudio de los efectos en la activación muscular con material resistivo ha recibido mucha más atención que los efectos producidos por el material de flotación. Teniendo en cuenta que dicho material de flotación es un material usado a diario en los programas de acondicionamiento físico en el medio acuático en las miles de

instalaciones deportivas acuáticas de nuestro país y del mundo, se llega a la conclusión de que no existe conocimiento suficiente de los efectos de este tipo de material en el trabajo de fuerza en el medio acuático.

Únicamente dos estudios han comparado la activación proporcionada por el material de resistencia y el material de flotación (Colado et al., 2013; Pinto et al., 2011), y de ellos, sólo el primero utilizó una gradación del tamaño del material (grande o pequeño) durante la ejercitación para las extremidades superiores. Asimismo, sólo el primer estudio estimó los efectos de la profundidad sobre la activación muscular (Colado et al., 2013). Por consiguiente, se vuelve a poner de relevancia la evidente falta de conocimiento sobre las variables tamaño de material, propiedad de material y profundidad en la activación muscular en ejercicios de acondicionamiento muscular en el medio acuático, máxime cuando se trata de movimientos del miembro inferior en el plano frontal.

Además, la producción científica referente al comportamiento de los músculos del tronco durante ejercicios en el medio acuático, como se ha puesto en evidencia en el apartado correspondiente de este marco teórico, también es muy limitada, con solamente dos artículos que han estudiado el comportamiento de los músculos del tronco durante ejercicios neuromusculares en el medio acuático, y con sólo un trabajo científico de revisión bibliográfica que lo aborde, como así se hace muy sucintamente en Behm & Colado (2013).

En consecuencia con lo expuesto, después de la revisión profunda de la literatura existente hasta la fecha, se ha llegado a la conclusión de que no hay estudios que comparen la actividad eléctrica del músculo agonista de manera analítica en diferentes situaciones de implementación graduada (flotación y resistencia), en movimientos del

Activación neuromuscular en un ejercicio de aducción de cadera en el medio acuático en función del material y la profundidad

miembro inferior en el plano frontal (aducción) y a diferentes profundidades, a la vez que se estudia la respuesta de músculos del tronco a dichas condiciones impuestas, destacándose así la originalidad del presente trabajo.

3. Objetivos e hipótesis

3.1. Objetivo general.

Una vez realizada la revisión de la bibliografía, se plantea un objetivo general que pretende dar respuesta a algunas de las lagunas que se han detectado:

Estudiar el efecto que tiene el uso de diversos materiales y profundidades sobre la activación eléctrica de varios músculos en un ejercicio de fuerza para miembros inferiores en el medio acuático.

3.2. Objetivos específicos.

- 1. Comparar la actividad eléctrica del músculo aductor largo de manera analítica con materiales de diferente propiedad (flotación y resistencia), así como en situaciones de gradación de dichos materiales (material grande y pequeño) durante movimientos del miembro inferior en el plano frontal (aducción de cadera).
- 2. Comparar la actividad eléctrica de determinados músculos del tronco (oblicuos externos del lado dominante y no dominante, recto anterior del abdomen y erector espinal lumbar) durante la ejecución del ejercicio de aducción de cadera con materiales de diferente propiedad y tamaño (flotación/resistencia y grandes/pequeños).
- 3. Determinar el efecto de la profundidad sobre la activación muscular del aductor largo, los oblicuos externos de los lados dominante y no dominante, recto anterior del abdomen y erector espinal lumbar durante la aducción de cadera mientras se realiza el gesto con material de resistencia grande.

3.3. Hipótesis.

En función de la revisión bibliográfica efectuada y de la experiencia profesional acumulada, se puede indicar que las hipótesis específicas del presente estudio son las siguientes:

- H₁: No habrá diferencias estadísticamente significativas en la activación muscular proporcionada por los diferentes materiales tanto por su característica de tamaño (grande/pequeño) como de propiedad (resistencia/flotación).
- H₂: A menor profundidad de inmersión se generarán valores de activación muscular mayores en la musculatura agonista y mayores también en la musculatura estabilizadora del tronco.

4. Material y métodos

4.1. Diseño.

Para la presente investigación se ha escogido un diseño de estudio descriptivo e inferencial, en el cual se registrarán las respuestas musculares a las diferentes condiciones impuestas por los investigadores (materiales y profundidades).

4.2. Población y muestra.

Debido al campo en el que se enmarca esta investigación (acondicionamiento físico en el medio acuático), se decidió seleccionar una muestra físicamente activa y con experiencia tanto en el entrenamiento de la fuerza en el medio terrestre como en el medio acuático. La elección de la cantidad de sujetos estuvo basada en un cálculo realizado mediante el software G*Power (Universidad de Kiel, Alemania) y se basó en un efecto de tamaño medio (0.25 SD para f y 0.50 SD para d) con un nivel α de 0.05 y una potencia de 0.80.

A continuación se muestran los criterios de inclusión utilizados para el presente estudio: varones entre 18 y 25 años; con una experiencia mínima de acondicionamiento neuromuscular de 1 año en tierra y de 2 meses en agua; no presentar dolores musculoesqueléticos, problemas neuromusculares ni lesiones de ligamento ni de hueso.

Una vez delimitado el perfil de la muestra, se optó por lanzar la convocatoria para formar parte del estudio entre los alumnos de 3º y 4º curso de CAFE de la Universitat de València y alumnos de 3º y 4º curso de CAFE de la Universidad Católica de Valencia «San Vicente Mártir». Respondieron a esa convocatoria 24 sujetos, de los cuales ninguno abandonó el estudio a lo largo de todo el proceso.

Todos los participantes firmaron un consentimiento informado (ver anexo 1) en que se explicaba todo el procedimiento que se llevaría a cabo y la condición de

voluntariedad del sujeto tanto para participar como para abandonar el estudio en el momento que el sujeto creyera oportuno. Este estudio fue aprobado por la Comisión de Ética en Investigación Experimental de la Universitat de València con número de referencia H1326282520231.

4.2.1. Descripción de la muestra.

En la tabla 4.1 se muestran los estadísticos descriptivos de la muestra, expresados con la media y su desviación estándar.

Tabla 4.1. Descriptivos de la muestra.

	\bar{X} (DE)
Edad	23.2 (1.18)
Altura	178.1 (7.26)
Peso	77.7 (7.6)
Porcentaje de grasa	11.4% (3.24)

\bar{X} : promedio; DE: desviación estándar
Edad= años; Altura= cm; Peso= kg.

4.3. Material.

A continuación se detalla el material utilizado en la presente investigación. Dicho material se ha dividido en tres grandes bloques: material utilizado para la descripción de la muestra, material utilizado para la realización de las diferentes condiciones de ejercitación y material para la medición de las variables dependientes.

4.3.1. Material utilizado para la descripción de la muestra.

Para la obtención de la estatura se utilizó un estadiómetro portátil (IP0955, Invicta Plastics Limited, (Leicester, Inglaterra). Para la obtención del peso y del porcentaje de grasa se usó una báscula con bioimpedancia (Tanita Body Composition

Analysis, BF-350, Arlington Heights, Illinois, Estados Unidos). Para la obtención de los datos cualitativos se empleó una ficha de recogida de datos (ver anexo 2).

4.3.2. Material utilizado para la realización de las diferentes condiciones de ejercitación.

En este apartado se detallan los materiales utilizados para la realización de las diferentes condiciones de ejercitación. Estos materiales se han clasificado según su tipología, de manera que se han subdividido en material de resistencia y flotación (que dieron las diferentes condiciones del estudio).

En la figura 4.1 se describen los materiales de resistencia y de flotación, que dieron, junto a la profundidad, las diferentes condiciones del presente estudio (figura 4.1).

<p>Material de resistencia grande (RG): Water Weight Boots (Hydro Tone Fitness Systems, Inc., Orange, CA, USA) Área proyectada: 330 cm²</p>	
<p>Material de resistencia pequeño (RP): Aquafins (TheraBand Hygenic Corporation, Akron, OH, USA) Área proyectada 258 cm²</p>	
<p>Material de flotación grande (FL): Tobillera grande (Leisis, S.L., Valencia, España) Área proyectada 446 cm²</p>	
<p>Material de flotación pequeño (FP): Tobillera pequeña (Leisis, S.L., Valencia, España) Área proyectada 104 cm²</p>	

Figura 4.1. Material de resistencia y de flotación.

Asimismo, con el fin de que la ejecución de los ejercicios se realizara con la máxima fidelidad a los requisitos de la investigación, se utilizaron cuatro materiales específicos. Los materiales utilizados para el control de la ejecución del ejercicio se pueden observar en la figura 4.2.

Goniómetro (Enraf Nonius Iberica S.A.,
Móstoles, España)



Metronomo Ableton Live 6, (Ableton AG,
Berlín, Alemania)



Step acuático regulable en altura con 4
ventosas (Sveltus, Roche-la-Molière,
Francia.)



Calcetines técnicos antideslizantes
(Akkua, Roncadelle, Italia)

Figura 4.2. Materiales utilizados para el control de la ejecución del ejercicio.

El primero fue un goniómetro para el control del ángulo de 45° en la aducción (Enraf Nonius Ibérica S.A., Móstoles, España). El segundo fue un metrónomo con el que se creó una cadencia de 80 ppm con el programa Ableton Live 6, (Ableton AG, Berlín, Alemania), la cual se grabó en un disco compacto que se reprodujo en el equipo de música del centro acuático en el que se llevó a cabo el estudio. El tercer material fue un step acuático regulable en altura con 4 ventosas (Sveltus, Roche-la-Molière, Francia) para obtener el nivel de inmersión deseado para el ejercicio. Y el último material fueron unos calcetines técnicos antideslizantes (Akkua, Roncadelle, Italia), los cuales fueron

empleados para asegurar la máxima adherencia de los pies con el suelo, de manera que se minimizaran los riesgos de desequilibrio que hubiesen podido interferir de manera negativa con la ejecución del ejercicio.

4.3.3. Material utilizado para la obtención de la variable dependiente.

Para la obtención de la señal electromiográfica y el aislamiento de los electrodos (ver subapartado 4.4.4.3 “Aislamiento de los electrodos”) se emplearon una serie de materiales que se detallan en la figura 4.3.

ME6000P8 biosignal conditioner (Mega Electronics, Ltd., Kuopio, Finland) con kit acuático completamente impermeable.



Electrodos autoadhesivos bipolares con gel: Ag/AgCl electrodes (Blue Sensor M-00-S, Medicotest, Olstykke, DNK) de 10 mm.



Apósitos transparentes adhesivos resistentes al agua (Tegaderm, 3M).



Cinta americana (Silver Tape, 3M).



Figura 4.3. Material utilizado para la electromiografía y el aislamiento de electrodos.

4.4. Protocolo seguido para la medición de las variables dependientes.

A continuación se detalla el protocolo seguido durante el presente estudio. Se detallan los pasos realizados según su orden temporal, de manera que se empieza describiendo los procedimientos generales seguidos, para continuar describiendo la sesión de familiarización, y por último se especifica el protocolo seguido en la sesión de medición.

4.4.1 Procedimientos generales.

Se realizó una prueba piloto para testar la técnica de aislamiento de electrodos, verificar el funcionamiento de los instrumentos y consolidar el protocolo general de actuación. Una vez así contrastado, se citó a los sujetos, de manera que cada sujeto participó en dos sesiones, una de familiarización y de recogida de datos descriptivos, y otra sesión dedicada a la medición y registro de los datos pertinentes (señal electromiográfica producida por las diferentes condiciones de material y profundidad). Durante todo el estudio, tanto la temperatura ambiental como la del agua se mantuvieron a temperaturas termoneutrales de 24°C y 30°C respectivamente (Bergamin et al., 2015). Para participar en ambas sesiones se impusieron una serie de restricciones y obligaciones que los sujetos debían asumir para que, de esta manera, se asegurara una obtención de datos de la máxima fiabilidad. Dichas restricciones fueron las siguientes:

- No comer en las 3-4 horas previas a la sesión ni beber en la hora previa a la sesión de familiarización, así como intentar orinar antes de acudir a la sesión o, en su defecto, poco antes de la medición. El motivo de esta exigencia es que cualquier alteración de líquidos puede hacer variar notablemente los resultados de la medición antropométrica mediante bioimpedancia.

- No ingerir sustancias estimulantes ni depresoras (p. e. cafeína o alcohol) en las 24h previas ni comer en las 3h previas a cada sesión.

- No participar en ejercicio físico en las 48h previas a cada sesión.

4.4.2. Sesión de familiarización.

Como se ha comentado con anterioridad, los sujetos tomaron parte en dos sesiones realizadas con un intervalo de, al menos, una semana. La primera sesión se dedicó a la familiarización tanto con los materiales como con los procedimientos que se utilizarían el día del registro de datos. Para la familiarización se citó a los sujetos en grupos de entre 5 y 7 personas.

La sesión transcurrió de la siguiente manera. Al llegar a la instalación, los sujetos procedieron al cambio de ropa para adecuarse al atuendo requerido para este estudio (bañador). Se les dio la bienvenida y se les explicó, a grandes rasgos, el contenido del estudio (las sesiones que iban a tener que asistir, materiales, etc.) para después facilitarles el consentimiento informado con las pautas a seguir el día de los registros, el cual leyeron y firmaron sin ningún tipo de coacción. Acto seguido se procedió a recoger los datos descriptivos de la muestra (peso, altura, porcentaje de grasa, cuestionario) y una vez terminada la medición se les familiarizó con el calentamiento que realizarían el día de los registros.

Una vez asimilado este calentamiento se les introdujo en la piscina, donde se les explicó el ejercicio que realizarían (aducción de cadera) con todos los materiales propuestos. Los sujetos realizaron el ejercicio primero sin material, realizando series de 10 repeticiones (a una cadencia baja) mientras se les iba corrigiendo posibles errores en la técnica o posicionamiento. Después de esto se les facilitó el material con el que iba a

llevarse a cabo el estudio, y continuaron con el mismo procedimiento (series de 10 repeticiones a una cadencia baja para asimilar bien la técnica necesaria). Acto seguido se conectó un metrónomo y se les pidió que realizaran el ejercicio tal y como lo realizarían el día de los registros, es decir, tres repeticiones realizando la abducción en 4 tiempos marcados por el metrónomo (ver descripción de ejercicios en la sesión de medición) para posteriormente ejecutar la aducción de cadera (fase concéntrica) a la máxima velocidad. Se les fue variando el material para que se familiarizaran con la totalidad de los implementos.

4.4.3. Sesión de medición.

El día de la medición se citó a los sujetos de forma individual, previa ubicación de cada uno en una franja horaria en la que el sujeto declaró tener total disponibilidad. Después del cambio de ropa se procedió a realizar un calentamiento estándar en tierra. Acto seguido se procedió a realizar la primera fase de la implementación de los sujetos con los instrumentos de medición electromiográfica (ver apartado 4.4.4 “Electromiografía”).

4.4.3.1. Test de máxima contracción voluntaria isométrica.

Una vez terminada la primera fase de implementación de los materiales para la obtención de la EMGs, se procedió a realizar los test de máxima contracción voluntaria isométrica (MCVI) con la finalidad de, posteriormente, poder normalizar la señal electromiográfica, tal y como se recomienda y se procede en la bibliografía (Burden, 2010; Cram, 2011; Lehman & McGill, 1999; Pinto et al., 2010; Vera-García et al., 2010).

Estas mediciones se realizaron en tierra (sala de musculación anexa a la piscina de la instalación), ya que, como se vio en apartado de revisión de la literatura (Electromiografía superficie en el medio acuático) se observó que cuando el sistema de electrodos se aísla, los valores de EMGs de la MCVI entre agua y tierra no presentan diferencias significativas, (Pinto et al., 2010; Silvers & Dolny, 2010), por lo que la integridad del registro de la actividad muscular se mantiene durante la inmersión. Los músculos que se sometieron a este test fueron el aductor largo (AL), rector anterior del abdomen (RA), oblicuo externo del lado dominante (OED), oblicuo externo del lado no dominante (OEND) y el músculo erector espinal lumbar (EEL). Para la medición de la MCVI de cada uno de los 5 músculos se recurrió a la técnica descrita en bibliografía existente, (Kendall, McCreary, Provance, Rodgers, & Romani, 2005; Vera-García et al., 2010) aunque en lugar de usar una resistencia manual se utilizó una resistencia fija mediante máquina Smith, lo que puede llegar a reducir el error subjetivo.

Cada prueba se realizó durante 5 segundos, dejando un descanso de 90 segundos entre cada una. Se alentó y animó a los sujetos para que alcanzasen la máxima contracción. Los ejercicios se ejecutaron en el siguiente orden (figura 4.4):

1. Aductor largo: Acostado en el suelo sobre una esterilla y sobre su lado derecho (izquierdo si fuera zurdo de pie), el sujeto colocó las piernas de manera que la izquierda le quedase por arriba de la barra y la derecha por debajo (la barra a una altura del último tercio distal de la tibia). El brazo de derecho se flexionaba y se agarraba a su hombro izquierdo mientras que el brazo izquierdo se agarraba a la esterilla para proporcionar una mayor estabilidad a la hora de aplicar la fuerza. Se partió de una posición inicial de aducción de cadera de 0° y a la señal el sujeto realizó una aducción máxima contra resistencia.

2. Recto anterior del abdomen: En posición decúbito supino, con las rodillas y la cadera flexionadas 90° , apoyadas encima de un banco. El tronco se flexionó previamente al máximo (aproximadamente 40°) y las manos se mantuvieron cruzadas al hombro contrario, contactando con la barra. El sujeto realizó la máxima fuerza de flexión de tronco.
3. Oblicuo derecho: Igual planteamiento al anterior, pero en este caso se pidió al sujeto que realizara una flexión-rotación del tronco, dirigiendo el hombro derecho hacia la rodilla izquierda.
4. Oblicuo izquierdo: Igual planteamiento al anterior, pero en este caso se pidió al sujeto que realizara una flexión-rotación del tronco, dirigiendo el hombro izquierdo hacia la rodilla derecha.
5. Erector Espinal Lumbar: En posición decúbito prono, con un apoyo de la parte inferior del cuerpo hasta las espinas iliacas encima de un banco, la cadera en extensión de 0° , en contacto con la barra y las manos detrás de la cabeza. El sujeto realizó la máxima fuerza de extensión de tronco.



Figura 4.4. Test de MCVI en todos los músculos estudiados. De izquierda a derecha, aductor largo, recto anterior del abdomen, oblicuo externo lado izquierdo, oblicuo externo lado derecho, y erector espinal lumbar (abajo).

Al finalizar los test de MCVI se procedió a terminar de implementar al sujeto para asegurar la total impermeabilización de los electrodos. Acto seguido se condujo al sujeto a la piscina, donde realizó el ejercicio de aducción de cadera a máxima velocidad con los 4 materiales diferentes y a dos profundidades diferentes (apófisis xifoides y clavícula).

4.4.3.2. Músculos estudiados.

El estudio de los músculos aductores de la cadera ha recibido poca atención por parte de la comunidad científica si se compara con otros grupos musculares (Kadi et al., 2006), por lo que este estudio puede aportar evidencias a dicho estudio desde la perspectiva del acondicionamiento físico en el medio acuático. En relación a los músculos estudiados en este trabajo, el aductor largo es uno de los agonistas en la aducción de cadera. No es el músculo más potente de la aducción (ya que este título le corresponde al aductor mayor), pero sí es el músculo situado en un plano más anterior de los tres músculos aductores, lo que le confiere las características ideales para ser medido mediante la técnica de EMGs utilizada en el presente trabajo (figura 4.5). Además, el músculo aductor largo se encuentra entre los músculos del miembro inferior lesionados con más frecuencia en el deporte (Delmore, Laudner, & Torry, 2014; Kadi et al., 2006; Lovell, Blanch, & Barnes, 2012), con lo que su acondicionamiento ayudará a prevenir lesiones en deportes en los que este músculo tiene una importancia clave y una incidencia de lesión alta, como por ejemplo el fútbol (Chomiak et al., 2000; Dvorak & Junge, 2000; Hanna et al., 2010). Además, con vistas a su uso en planes de acondicionamiento físico en el medio acuático para personas con osteoartritis, se ha comprobado que el fortalecimiento de los músculos aductores reduce los síntomas asociados a esta patología (Bennell et al., 2010). Igualmente, se ha comprobado una fuerza muscular disminuida de los músculos aductores en pacientes con chasquido

externo de cadera o cadera en resorte, con síndrome del dolor patelofemoral (condromalacia rotuliana) y después de una sustitución completa de cadera (Brandt et al., 2013).

Respecto a los músculos del tronco estudiados, tanto el recto anterior del abdomen, como los oblicuos externos y el erector espinal lumbar forman parte importante del *core* (ya explicado en el apartado 2.4 “La musculatura del tronco en el acondicionamiento físico” del marco teórico) y se ha verificado su importancia en la estabilización del tronco durante movimientos realizados por ambas extremidades (Hodges & Richardson, 1997; Tarnanen et al., 2012). Además, estos músculos han sido medidos en otros estudios acuáticos, lo cual facilitará su posterior comparación. Asimismo, estos músculos también son susceptibles de ser medidos mediante EMGs, ya que su topografía los sitúa en la capa más superficial del cuerpo (Atkins et al., 2015) (figura 4.5).

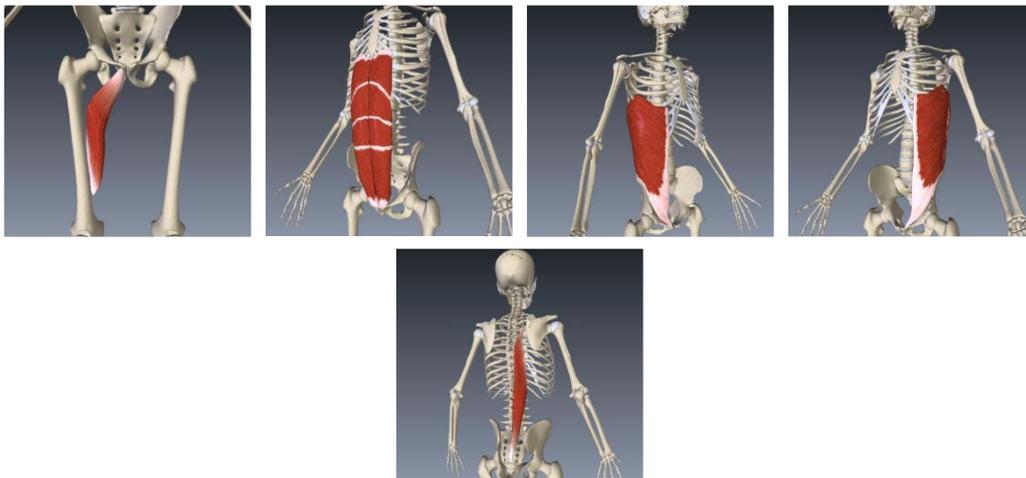


Figura 4.5. Músculos estudiados. De izquierda a derecha: aductor largo, recto anterior del abdomen, oblicuo derecho, oblicuo izquierdo y erector espinal lumbar (abajo). Tomado de la aplicación web The Biodigital Human (Biodigital, Inc., Nueva York)

4.4.3.3. Ejercicios.

La razón de la elección del movimiento de aducción de cadera fue que, para aprovechar las propiedades del material de flotación (esto es, empuje hidrostático en sentido vertical hacia arriba) era necesario un movimiento en el plano frontal o en el plano sagital, obviando los movimientos en el plano horizontal (Colado, 2004). Los movimientos del miembro inferior en el plano sagital en el medio acuático han sido ampliamente estudiados, tanto para la activación muscular en la flexo-extensión de rodilla (Alberton et al., 2006; Nakamura & Mizukami, 2011; Pöyhönen et al., 2002), como para la flexo-extensión de cadera (Alberton et al., 2011; Black, 2005; Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015; Pinto et al., 2011, 2013). Así pues, se optó por un movimiento en el plano frontal, como es el gesto de la aducción de la cadera. Además, este ejercicio es comúnmente utilizado durante las rutinas llevadas a cabo en los programas de acondicionamiento físico que combinan actividades aeróbicas y de resistencia muscular en las instalaciones acuáticas (Cardoso et al., 2004)

Es necesario especificar que los ejercicios se realizaron con el miembro dominante de cada sujeto. El ejercicio de aducción con los diversos implementos se realizó de la siguiente manera: el sujeto se situó de pie sobre el step acuático y calzado con calcetín técnico antideslizante, con la pared de la piscina a su derecha o a su izquierda (dependiendo de su miembro dominante) y a una distancia de la misma tal que al realizar la abducción, el pie contactara con la pared en el momento en que la abducción llegara a 45° . Este ajuste se realizó previo al ejercicio con la ayuda de un goniómetro, y la separación respecto a la pared se llevó a cabo según las características de cada individuo, dándole, una vez ajustada la distancia, referencias precisas respecto a la ubicación espacial del pie de apoyo (tomando como referencia las líneas de la piscina respecto al dedo gordo del pie de apoyo). De esta manera, al realizar la abducción, los

sujetos tuvieron la delimitación de la pared para limitar la amplitud del movimiento a los 45° (figura 4.6). El material se ajustó a la pierna del ejecutante tal y como especifica el fabricante para cada producto, y en el caso del material de resistencia, se puso de manera que la parte cóncava del material quedó en dirección hacia la parte proximal del cuerpo (hacia la otra pierna).



Figura 4.6. Ejercicio de aducción de cadera (posición intermedia) con material de flotación grande.

En un momento dado, se preguntaba al sujeto si estaba listo. Si la respuesta era afirmativa, a la voz de ya éste realizaba aducción de cadera realizando la misma a la máxima velocidad, mientras que la fase de abducción se realizó de forma paulatina en 4 tiempos marcados por un metrónomo (Ableton Live 6, Ableton AG, Berlin, Alemania) cuya cadencia fue de 80 ppm. Se hizo de esa manera para no crear resistencia en la fase de abducción, ya que lo que se medía era la fase concéntrica del músculo aductor largo. Se realizaron un total de 3 repeticiones por cada ejercicio, dejando un descanso entre ejercicios de 2' para facilitar la recuperación total y evitar la fatiga local. Todos los ejercicios se realizaron de manera aleatoria utilizando para ello el programa Matlab Ver. 7.0, (Mathworks Inc., Natick, Estados Unidos) (ver anexo 3).

La posición inicial fue de pie en el step acuático. La finalización de la abducción marcó la posición intermedia, con el pie dominante contactando con la pared. Por

último, después de la aducción a la máxima velocidad, se llegó a la posición final, de nuevo con ambos pies sobre el step acuático (figura 4.7). Además, en todo momento hubo un responsable vigilando la verticalidad y el equilibrio los sujetos (tanto en el plano frontal como en el sagital), de manera que si el sujeto perdía el equilibrio o se ladeaba en exceso, la medición era considerada nula y volvía a repetirse el ejercicio tras una pausa de recuperación.



Figura 4.7. Realización del movimiento completo de aducción con material de resistencia grande. De izquierda a derecha: posición inicial, intermedia, y final

4.4.3.4. Profundidad.

Los 4 ejercicios (aducción de cadera con material de resistencia grande/pequeño y de flotación grande /pequeño) se realizaron con una profundidad a nivel de la apófisis xifoides para comparar el efecto de las condiciones, ya que ésta es una profundidad muy habitual a la que se llevan a cabo programas de acondicionamiento físico en el medio acuático (Bento et al., 2012; Borreani et al., 2014; Colado et al., 2013; Graef et al., 2010; Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015; Pinto, Alberton, Cadore, et al., 2015; Pinto et al., 2013; Sanders et al., 2013; Takeshima et al., 2002; Tsourlou et al., 2006).

Adicionalmente, para evaluar el efecto de la profundidad sobre la activación del aductor largo y los diversos músculos del tronco estudiados, se realizó la aducción de cadera con una profundidad al nivel de las clavículas únicamente con el material de resistencia grande. Se eligió esta profundidad por ser también muy común en los planes

de acondicionamiento físico en el medio acuático (Cardoso et al., 2004; Chu & Rhodes, 2001; Kanitz, Reichert, et al., 2014; Kanitz, Liedtke, et al., 2014; Killgore, 2012). El motivo por el que a esta profundidad solo se realizó la aducción de cadera con el material de resistencia grande fue la preservación de la integridad de la señal eléctrica, ya que el hecho de realizar más ejercicios hubiera implicado más tiempo en el agua, lo que irremediablemente hubiese multiplicado las probabilidades de infiltración de agua en los electrodos. Además, dado el tiempo requerido para la implementación y aislamiento de electrodos (aproximadamente 35'), y el tiempo invertido en la realización de los test de MCVI, el hecho de añadir más ejercicios en el agua también hubiera dilatado el tiempo total de la sesión de medición, lo cual hubiese podido influir negativamente sobre la concentración y estado físico de los sujetos participantes. Así pues, se consideró que una condición bastaría para evaluar el efecto de la profundidad en la activación eléctrica de los diversos músculos.

A continuación, la figura 4.8 muestra todos los ejercicios realizados, el material utilizado y las profundidades de cada ejercicio.

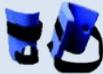
Profundidad apófisis xifoides	1. Aducción con material de resistencia grande	
	2. Aducción con material de resistencia pequeño	
	3. Aducción con material de flotación grande	
	4. Aducción con material de flotación pequeño	
Profundidad clavicular	5. Aducción con material de área grande	

Figura 4.8. Niveles de profundidad, ejercicios y material empleado.

4.4.4. Electromiografía (EMGs).

A la hora de proceder a la implementación del equipamiento para la obtención de la señal eléctrica muscular, así como para realizar el registro y el tratamiento de ésta, este estudio ha seguido las recomendaciones propuestas por el proyecto SENIAM (Hermens et al., 2000), así como las sugeridas por artículos que han utilizado la electromiografía en el medio acuático en ejercicios dinámicos (Black, 2005; Bressel et al., 2011; Colado et al., 2008; Kaneda et al., 2009; Masumoto & Mercer, 2008; Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015; Pinto et al., 2011, 2013; Pöyhönen et al., 2001b).

En todo momento hubo dos investigadores dentro del agua con el sujeto, de manera que uno controlaba el display del electromiógrafo y el otro, como se ha comentado anteriormente, controlaba la verticalidad y ayudaba al cambio de material con el que se ejercitaba el sujeto “in situ” (cuando finalizaba el ejercicio). De esta manera se lograba que el sujeto se moviera lo menos posible para así garantizar la integridad del aislamiento de los electrodos, y por ende la señal eléctrica. Se tuvo control visual en todo momento sobre la integridad del aislamiento de electrodos para, en caso de suceder alguna situación destacable, anotarlo en un registro anecdótico para posteriores valoraciones.

4.4.4.1. Preparación de la piel.

Como se ha explicado en el apartado general del marco teórico “Electromiografía como técnica para medir la actividad eléctrica del músculo”, la primera acción que se debe llevar a cabo para la obtención y registro de la señal eléctrica consiste en la preparación de la piel para facilitar la conducción eléctrica y mejorar la sujeción de los electrodos a la piel. Esta acción, como se ha detallado anteriormente, se realizó después del calentamiento y justo antes de los test de MCVI.

Los investigadores tuvieron la oportunidad de practicar las técnicas de implementación durante el desarrollo de la prueba piloto, consiguiendo una habilidad aceptable y una minimización de errores para dicho procedimiento de implementación. La piel se rasuró con una cuchilla desechable y se limpió la zona con alcohol para eliminar tanto el vello como las células muertas de la piel, para de esa manera minimizar la impedancia piel-electrodo.

4.4.4.2. Ubicación y colocación de los electrodos.

El siguiente paso fue la colocación de electrodos. La configuración de la EMGs bipolar está estructurada por dos puntos de señal y un punto de referencia. La distancia inter-electrodos fue de 25mm y el electrodo de referencia se situó a unos 10 cm. en perpendicular a la línea inter-electrodos desde el punto equidistante, tal y como lo especifica el fabricante. Todos los electrodos se implementaron en la parte dominante del sujeto, excepto para los oblicuos externos, en cuyo caso se implementaron en ambos lados. Para la ubicación exacta de los electrodos se siguieron las indicaciones procedentes de bibliografía específica (Cram, 2011). Los músculos que se evaluaron y la ubicación de electrodos fueron los siguientes (figura 4.9):

- Aductor largo: A 4 cm del pubis en dirección oblicua. Requiere de una palpación con una isometría para ubicar de manera más precisa los electrodos.
- Recto anterior del abdomen: a la altura del ombligo, a 3 cm en dirección vertical.
- Oblicuo externo derecho: Justo arriba de la espina iliaca anterosuperior, en dirección oblicua.

- Oblicuo externo izquierdo: Misma ubicación que el anterior pero en el lado izquierdo.
- Erector espinal lumbar: A la altura de la espina iliaca, a 2 cm del centro de la columna (L3).

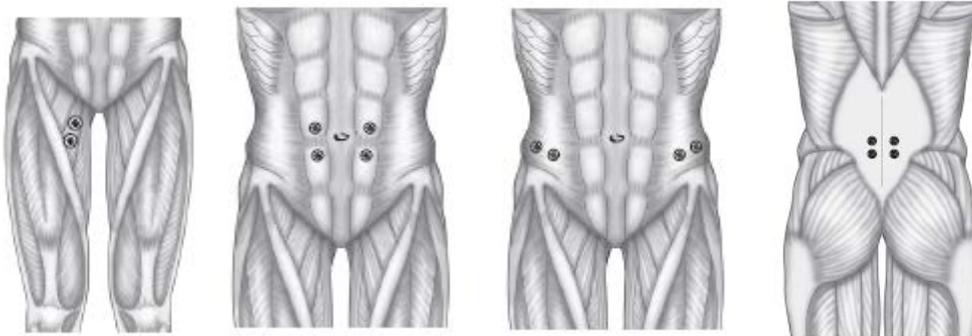


Figura 4.9. Ubicación de los electrodos. De izquierda a derecha: aductor largo, recto anterior del abdomen, oblicuo externo lado izquierdo y derecho, y erector espinal lumbar. Tomado de Cram (2011).

4.4.4.3. Aislamiento de los electrodos.

La documentación revisada respecto a la electromiografía acuática recomienda encarecidamente aplicar algún método de aislamiento de los electrodos de manera que impida la entrada de agua en las conexiones, ya que se ha comprobado que esa circunstancia reduce en gran proporción la amplitud de la señal electromiográfica (Rainoldi et al., 2004; Veneziano et al., 2006). Estos estudios llevaron a cabo diversos métodos de aislamiento, todos de parecido desarrollo y de probada eficacia (Alberton et al., 2008; Carvalho et al., 2010; Kanitz, Liedtke, et al., 2014; Rainoldi et al., 2004; Silvers & Dolny, 2010; Veneziano et al., 2006). El aislamiento de electrodos llevado a cabo en este estudio siguió el mismo protocolo que otro estudio destacado de la bibliografía específica (Pinto et al., 2010).

Para realizar el aislamiento de electrodos se procedió de la siguiente manera. Una vez realizada la limpieza de la piel y la ubicación de los electrodos, se procedió a cubrir los mismos con un primer apósito impermeable (Tegaderm, 3M), no sin antes limpiar también con alcohol y algodón el área que iba a cubrir el apósito, con la finalidad de quitar el exceso de grasa y sudor de la piel para una mejor adhesión del apósito. Finalizado el anterior paso se procedió a retirar, mediante un cúter, la parte de apósito que recubría la parte metálica del electrodo, de manera que quedase libre para conectar los canales del electromiógrafo. Este paso se realizó con extrema precaución para no dañar los electrodos (figura 4.10).

El proceso de aislamiento continuó con la conexión de los canales del electromiógrafo. Después de este paso fue cuando se procedió a realizar los test de MCVI, finalizando aquí la primera parte de la implementación (figura 4.10).

La segunda y última fase de la implementación se llevó a cabo después de la realización de las pruebas de isometría máxima. De este modo, el aislamiento siguió con la aplicación de un segundo apósito transparente autoadhesivo resistente al agua, que cubrió los canales del electromiógrafo conectados a los electrodos. Se intentó ubicar los cables de manera que ocupasen el mínimo espacio, pero con la premisa de preservar el buen funcionamiento del instrumento.

Por último, se procedió a tapar toda la estructura anterior con cinta americana (Silver Tape, 3M). En este punto se procedió también a limpiar las partes adyacentes de los apósitos (el área que iba a cubrir la cinta americana) con alcohol y algodón con la finalidad de quitar el exceso de grasa y sudor de la piel para así conseguir una mejor adhesión de la cinta y que no se despegara en el transcurso de las mediciones.



Figura 4.10. Proceso de implementación y aislamiento de los electrodos para el posterior registro de EMGs.

Como se ha mencionado en el apartado de material (ver apartado 4.3.3.), se adquirió un kit acuático completamente estanco e impermeable para el electromiógrafo, por lo que antes de introducir al sujeto en el agua, el electromiógrafo fue ubicado dentro de dicha funda acuática con la finalidad de evitar el deterioro y la disfunción del instrumento de medición.

4.4.4.4. Tratamiento de las señales electromiográficas.

El tratamiento de la señal electromiográfica se hizo actuando conforme a los procedimientos descritos en la literatura actual (Massó et al., 2010; Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015; Pinto et al., 2011; Staudenmann et al., 2010). Todas las señales fueron adquiridas con una frecuencia de 1kHz, amplificadas y convertidas de analógicas a digitales. Todos los registros de activación mioeléctrica (μV) fueron almacenados en un disco duro para su posterior análisis.

Las señales obtenidas mediante EMGs fueron tratadas para convertirlas en digitales con el software Megawin V3.0 (Mega Electronics Ltd, Kuopio, Finlandia). De esta manera se obtuvo la señal *raw* (señal cruda) digital y se preparó en formato ASC para el análisis posterior con un software específico (Matlab 7.0, Mathworks Inc,

Natick, Estados Unidos). Para tratar las señales se diseñó un modelo informatizado, que puede verse en el anexo 5. Todas las señales fueron filtradas con un pasabandas de corte de frecuencia a 20-400Hz con un filtro Butterworth de cuarto orden. La amplitud de la señal de la electromiografía de superficie fue cuantificada en el tiempo utilizando los valores cuadráticos medios (RMS) y procesada cada 100 milisegundos (figura 4.11).

Respecto a la MCVI, el valor más alto de la RMS en el segundo central fue seleccionado con el fin de normalizar los datos y así poder expresarlos en %MCVI. En lo concerniente a la activación muscular realizada en cada condición, se escogió para la normalización el valor pico de la RMS, cuyo valor correspondía al máximo nivel de activación alcanzado en alguna de las 3 repeticiones en la fase concéntrica del movimiento.

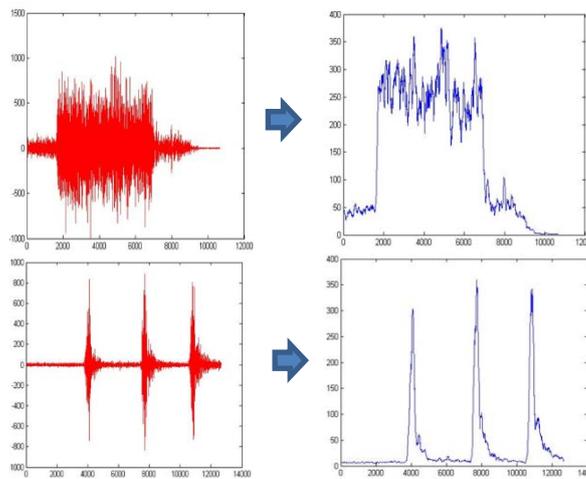


Figura 4.11. Señales electromiográficas de MCVI (arriba) y ejercicio dinámico (abajo). La señal cruda o raw (izquierda en rojo) y señal tratada (derecha en azul).

4.4.5. Cuantificación de la velocidad de ejecución de los ejercicios.

Según ya ha puesto de manifiesto la literatura científica específica, dado que la velocidad es un factor determinante en la fuerza que se ejerce en último término en un ejercicio en el medio acuático, se decidió realizar un estudio complementario para medir

la velocidad de ejecución alcanzada con las diferentes condiciones y de esta forma tener más elementos de referencia para poder posteriormente realizar una valoración y discusión más profunda de los resultados obtenidos del presente estudio. Como referencia, sirva indicar que diversos autores también realizaron anteriormente la medición de esta variable (Alberton et al., 2011; Black, 2005; Pöyhönen et al., 2001a, 2001b).

Así pues, con posterioridad al estudio electromiográfico, se citó aleatoriamente a 8 sujetos de dicho estudio para participar en una tercera sesión y realizar la medición de la velocidad angular en las diferentes condiciones.

Los sujetos realizaron los 5 ejercicios mientras fueron grabados con una cámara de alta definición (60 fotogramas/segundo) subacuática Olympus Tough (Olympus America Inc., modelo TG-820, Center Valley, PA, Estados Unidos). Así pues, realizaron la aducción de cadera con las cinco condiciones explicadas anteriormente, de forma que ejecutaron 3 repeticiones a la máxima velocidad para cada condición (al igual que en el estudio electromiográfico). La grabación se realizó desde un plano frontal, para poder determinar las variables velocidad y angulación. Para adquirir estos datos se utilizó un programa (Dartfish 7, Dartfish S.A., Fribourg, Suiza), de manera que se visionaron las grabaciones y se determinó tanto la angulación alcanzada en cada repetición, como el tiempo que se empleó en realizarla, de forma que con estos datos, y a partir de las tres repeticiones, se obtuvo la velocidad angular media de cada sujeto en cada una de las condiciones en °/s (figura 4.12). Se tomó como punto inicial la máxima abducción alcanzada en la fase de recobro del movimiento, que correspondió al momento en el que los sujetos contactaron con la pared de la piscina (ver apartado 4.4.3.3. “Ejercicios”). Como punto final del recorrido se escogió el instante en el que la abducción fue de 0°. El mismo calcetín técnico que vestían los sujetos actuó como

Activación neuromuscular en un ejercicio de aducción de cadera en el medio acuático en función del material y la profundidad

marcador de la posición de la pierna. Los vídeos fueron analizados las veces necesarias para concretar el punto de giro de la articulación coxo-femoral.

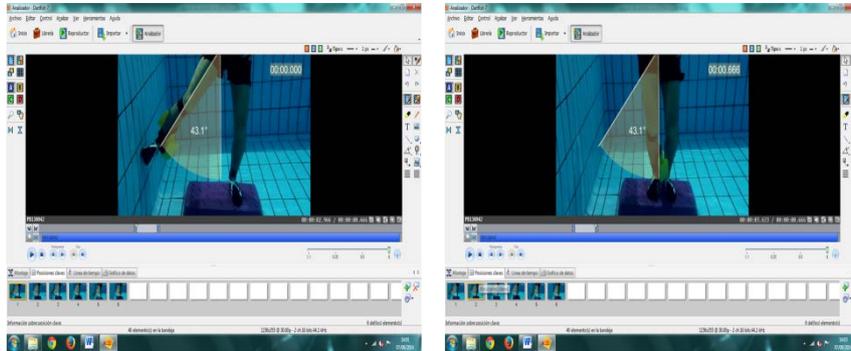


Figura 4.12. Obtención de la velocidad angular a partir de la angulación y el tiempo con el software Dartfish.

4.5. Análisis estadístico.

Para realizar el análisis estadístico se usó el software SPSS 19 para Windows (SPSS INC, Chicago, Estados Unidos). Antes de aplicar el análisis estadístico se comprobó la distribución normal de estos resultados con el test de Shapiro-Wilk, obteniendo todos una distribución normal aceptable ($p > 0,05$). Posteriormente, se administraron los métodos estadísticos estándar para obtener la media como una medida de tendencia central y el error estándar de la media (EEM) como una medida de dispersión. Se realizó un análisis múltiple de varianzas (ANOVA) de medidas repetidas para determinar potenciales diferencias de medias entre materiales con un análisis post-hoc de Bonferroni. El nivel de significancia se fijó a $p < 0.05$.

Asimismo, se realizó comparación por pares (T-Test) para muestras relacionadas en el par oblicuo dominante/oblicuo no dominante para todos los materiales con el fin de hallar posibles diferencias entre la activación de ambos músculos en las diferentes condiciones.

Para determinar posibles diferencias entre los dos niveles de inmersión corporal estudiados, se aplicó de nuevo una comparación por pares (T-Test) para muestras relacionadas.

5. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el presente estudio. Dichos resultados se han dividido en cuatro apartados analizando las posibles diferencias en: (i) Activación muscular entre las diversas condiciones de material a nivel de apófisis xifoides; (ii) Activación muscular entre profundidades de inmersión corporal; (iii) Activación de los músculos oblicuos externos de cada hemicuerpo; (iv) Complementariamente, diferencias en la velocidad angular de ejecución en todas las condiciones.

5.1. Diferencias en la activación muscular entre condiciones a nivel de inmersión corporal a la apófisis xifoides.

De los resultados obtenidos, se puede indicar que no se han encontrado diferencias significativas entre la activación proporcionada por los diferentes materiales para ninguno de los músculos estudiados en la profundidad de apófisis xifoides (AL: $F[1.73, 27.70] = 1.322$, $p = 0.280$; RA: $F[3, 30] = 1.138$, $p = 0.124$; OED: $F[3, 39] = 0.680$, $p = 0.570$; OEND: $F[3, 30] = 1.089$, $p = 0.369$; EEL: $F[3, 30] = 1.138$, $P = 0.350$) (Tabla 5.1 y figuras 5.1 a 5.6). También es reseñable que, si se agrupan globalmente los valores medios de cada grupo muscular por condición, tampoco se evidencian diferencias en los resultados obtenidos (Global: $F[3, 54] = 0.187$, $p = 0.905$).

Tabla 5.1. Media \pm EEM de %MCVI de los diferentes músculos en las diferentes condiciones de material a nivel de apófisis xifoides (n = 24)

	RG	RP	FG	FP	p
AL	43.61 \pm 8.27	36.10 \pm 6.81	35.87 \pm 7.24	48.21 \pm 9.39	0.280
RA	13.61 \pm 3.04	13.22 \pm 2.20	11.84 \pm 3.25	20.95 \pm 5.75	0.124
OED	13.05 \pm 3.37	16.12 \pm 4.04	11.98 \pm 2.53	14.64 \pm 3.11	0.570
OEND	53.13 \pm 10.40	39.27 \pm 9.89	45.78 \pm 11.42	41.11 \pm 7.06	0.369
EES	20.42 \pm 3.96	18.38 \pm 3.26	14.57 \pm 2.03	18.78 \pm 4.26	0.350
GLOBAL	28.39 \pm 3.14	28.29 \pm 2.63	28.71 \pm 2.83	30.22 \pm 2.65	0.905

EEM: error estándar de la media; %MCVI: porcentaje de la máxima contracción voluntaria isométrica; AL: aductor largo; RA: recto anterior del abdomen; OED: oblicuo externo lado dominante; OEND: oblicuo externo lado no dominante; EES: erector espinal lumbar; RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño; p: nivel de significación estadística entre materiales.

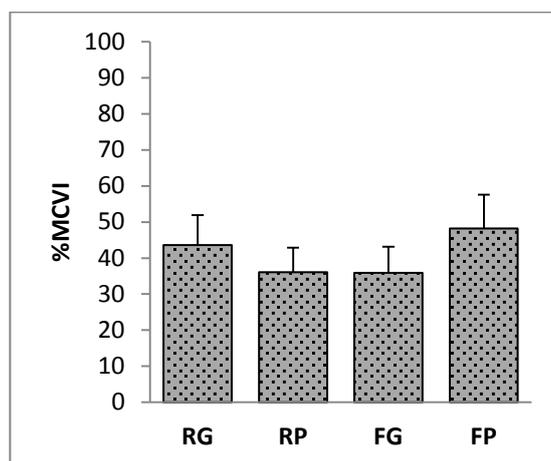


Figura 5.1. Porcentaje de activación de la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) del aductor largo proporcionada por los diferentes materiales a nivel de la apófisis xifoides. RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño

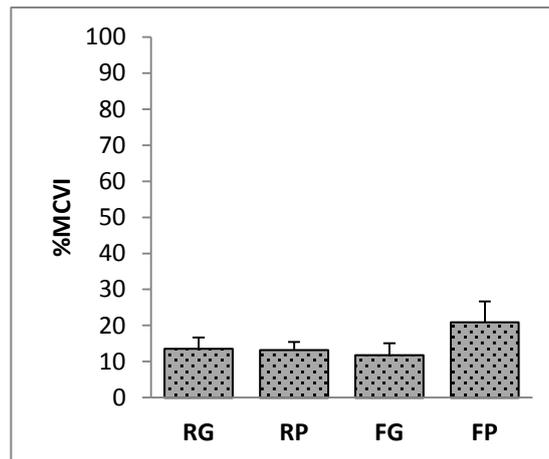


Figura 5.2. Porcentaje de activación de la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) del recto anterior del abdomen proporcionada por los diferentes materiales a nivel de la apófisis xifoides. RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño

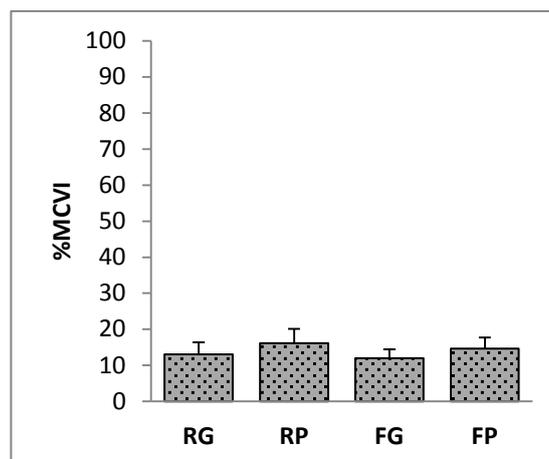


Figura 5.3. Porcentaje de activación de la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) del oblicuo externo del lado dominante proporcionada por los diferentes materiales a nivel de la apófisis xifoides. RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño

Activación neuromuscular en un ejercicio de aducción de cadera en el medio acuático en función del material y la profundidad

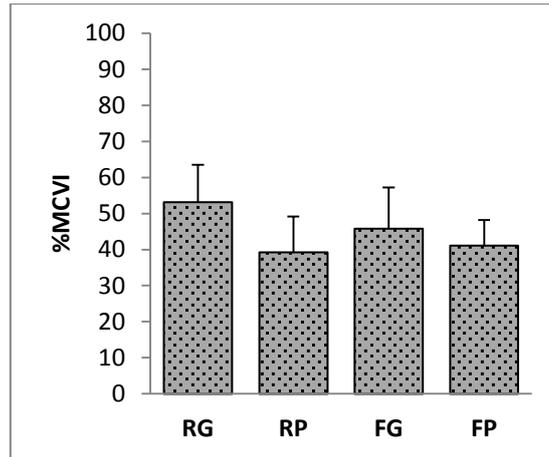


Figura 5.4. Porcentaje de activación de la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) del oblicuo externo del lado no dominante proporcionada por los diferentes materiales a nivel de la apófisis xifoides. RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño.

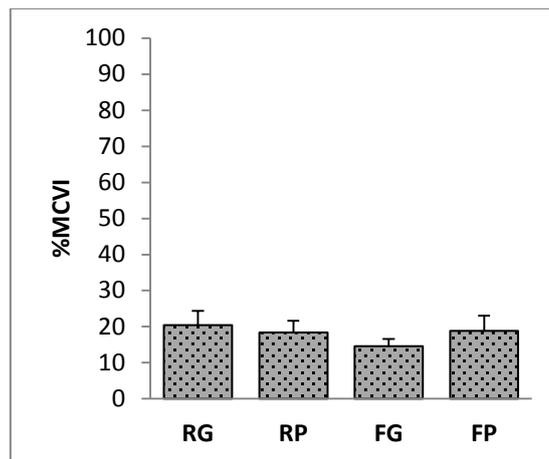


Figura 5.5. Porcentaje de activación de la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) del erector espinal lumbar proporcionada por los diferentes materiales a nivel de la apófisis xifoides. RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño

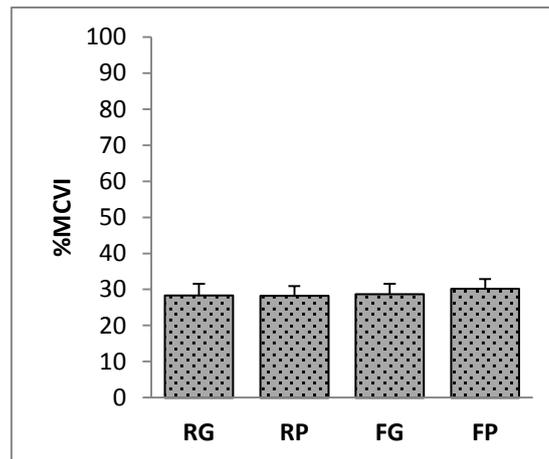


Figura 5.6. Porcentaje de activación de la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) global de todos los músculos proporcionada por cada material a nivel de la apófisis xifoides. RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño

5.2. Diferencias entre profundidad de inmersión a nivel de la apófisis xifoides y clavicular.

Respecto a las comparación de la activación muscular proporcionada por las condiciones entre las dos profundidades de inmersión corporal evaluadas, no se han encontrado diferencias significativas en la activación de los diversos músculos (AL, $p = 0.353$; RA, $p = 0.328$; OED, $p = 0.128$; OEND, $p = 0.641$; ES, $p = 0.535$). Asimismo, debe reseñarse que tampoco se encontraron diferencias en la media global de las activaciones musculares comparadas por profundidad de inmersión (tabla 5.2 y figura 5.7).

Tabla 5.2. Media \pm (EEM) de %MCVI de los diferentes músculos durante las dos condiciones de profundidad (n = 24)

	NIVEL XIFOIDES	NIVEL CLAVÍCULA	p
AL	47.17 \pm 8.5	40.57 \pm 7.22	0.343
RA	12.15 \pm 2.87	15.50 \pm 4.13	0.328
OED	14.13 \pm 3.52	10.9 \pm 2.03	0.128
OEND	56.53 \pm 9.77	52.70 \pm 11.15	0.641
EEL	16.1 \pm 3.3	14.22 \pm 2.89	0.535
GLOBAL	30.82 \pm 3.63	28.83 \pm 3.45	0.578

EEM: error estándar de la media; %MCVI: porcentaje de activación la máxima contracción voluntaria isométrica; AL: aductor largo; RA: recto anterior del abdomen; OED: oblicuo externo lado dominante; OEND: oblicuo externo lado no dominante; EES: erector espinal lumbar, p: nivel de significación estadística entre condiciones de profundidad,

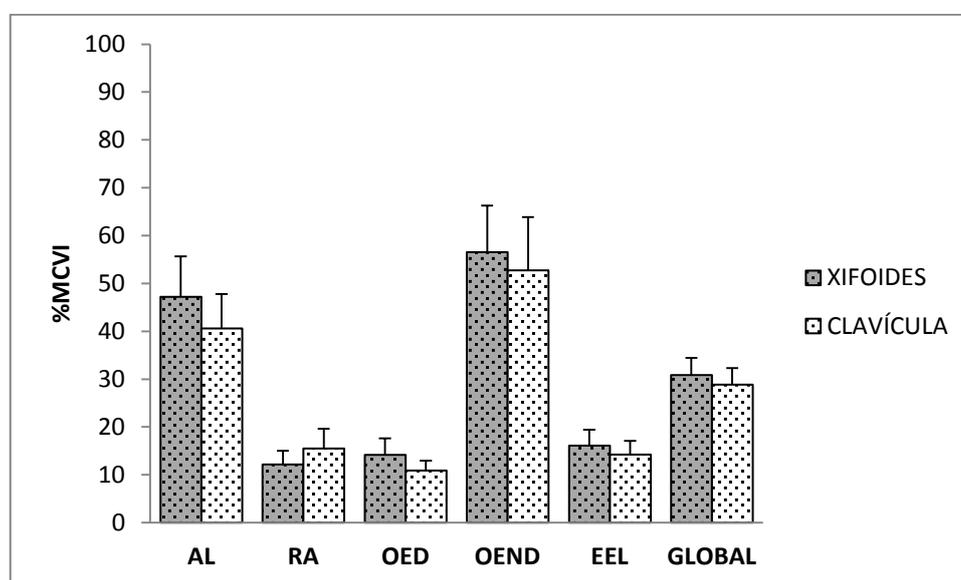


Figura 5.7. Porcentaje de activación sobre la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) proporcionados por el material de resistencia en las dos profundidades estudiadas. AL: aductor largo; RA: recto anterior del abdomen; OED: oblicuo externo lado dominante; OEND: oblicuo externo lado no dominante; EES: erector espinal lumbar

5.3 Diferencia en la activación muscular del oblicuo externo del lado dominante respecto del no dominante.

Como se puede observar a continuación (tabla 5.3 y figura 5.8), en las condiciones realizadas a la profundidad de inmersión de la apófisis xifoides, se ha

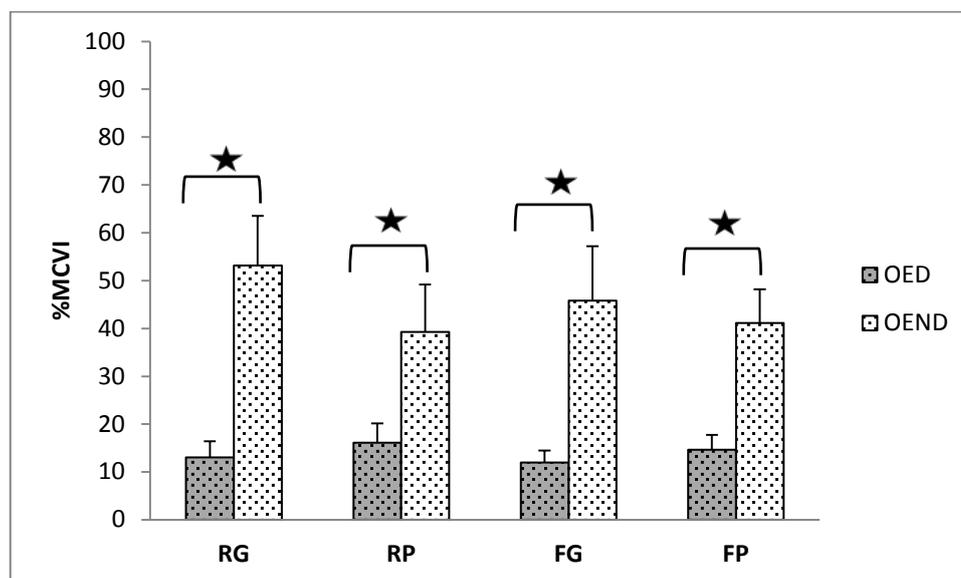
detectado una activación mayor para el OEND respecto al OED para las diferentes condiciones de esta profundidad, RG ($p = 0.001$), RP ($p = 0.002$), FG ($p = 0.028$), y FP ($p = 0.001$).

Tabla 5.3. Media \pm (EEM) de %MCVI de los músculos oblicuo del lado dominante (OED) y no dominante (OEND) en las diferentes condiciones de material a la profundidad de inmersión de la apófisis xifoides ($n = 24$)

	OED	OEND	p
RG	13.05 \pm 3.37	53.13 \pm 10.40	0.001*
RP	16.12 \pm 4.04	39.27 \pm 9.89	0.002*
FG	11.98 \pm 2.53	45.78 \pm 11.42	0.025*
FP	14.64 \pm 3.11	41.11 \pm 7.06	0.001*

EEM: error estándar de la media; %MCVI: porcentaje de activación la máxima contracción voluntaria isométrica; OED: oblicuo externo lado dominante; OEND: oblicuo externo lado no dominante; RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño; p: nivel de significación estadística entre condiciones de profundidad

** Diferencias significativas ($p < 0.05$)*



★ Diferencias significativas ($p < 0,05$)

Figura 5.8. Porcentaje de activación sobre la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) del oblicuo externo del lado dominante (OED) y no dominante (OEND) en la profundidad de apófisis xifoides en todas las condiciones de material. RG: material de resistencia grande; RP: material de resistencia pequeño; FG: material de flotación grande; FP: material de flotación pequeño

Asimismo, se ha detectado una activación muscular significativamente mayor del OEND sobre el OED cuando la profundidad fue a nivel clavicular con el material de

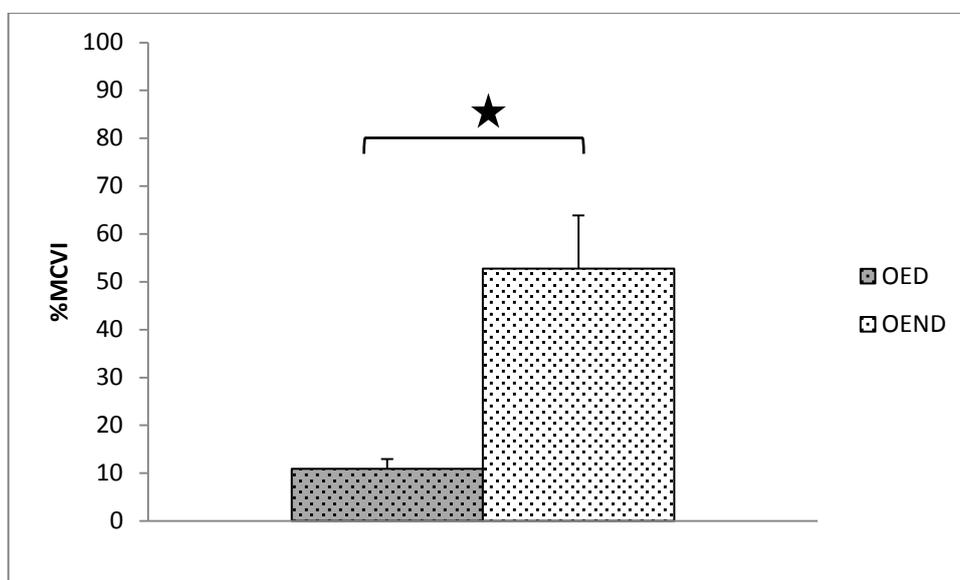
resistencia grande ($p = 0.005$) (ver tabla 5.4 y figura 5.9). Se recuerda que para la comparación de profundidades se utilizó únicamente el material de resistencia grande.

Tabla 5.4. Media \pm (EEM) de %MCVI de los músculos oblicuo del lado dominante (OED) y no dominante (OEND) en la condición de material de resistencia grande a la profundidad de inmersión clavicular ($n = 24$)

	OED	OEND	p
Nivel de inmersión clavicular	10.9 \pm 2.03	52.70 \pm 11.15	0.005*

EEM: error estándar de la media; %MCVI: porcentaje de activación la máxima contracción voluntaria isométrica; OED: oblicuo externo lado dominante; OEND: oblicuo externo lado no dominante; p: nivel de significación estadística entre condiciones de profundidad.

** Diferencias significativas ($p < 0.05$).*



★ Diferencias significativas ($p < 0,05$)

Figura 5.9. Porcentaje de activación sobre la máxima contracción voluntaria isométrica (%MCVI) del oblicuo externo del lado dominante (OED) y no dominante (OEND) a la profundidad de clavícula y para el material de resistencia grande.

5.4. Diferencias en la velocidad angular de ejecución.

En lo concerniente a la velocidad angular, se han encontrado diferencias significativas entre los diferentes materiales empleados a nivel de inmersión de la apófisis xifoides [$F(3,21) = 33.06$, $p < 0.001$]. La tabla 5.5 muestra los valores medios de velocidad angular y entre qué pares se han obtenido las diferencias.

Tabla 5.5 Velocidad angular media \pm EEM en el ejercicio de aducción de cadera a nivel de la apófisis xifoides con diferentes materiales (n = 8).

Material	Velocidad angular media (°/s)
Resistencia grande	57.24 \pm 1.59
Resistencia pequeño	61.65 \pm 2.21
Flotación grande	66.38 \pm 1.47†
Flotación pequeño	76.51 \pm 1.99†♦*

*EEM: Error estándar de la media, † diferencias significativas ($p < 0,05$) con el material de resistencia grande, ♦ diferencias significativas ($p < 0,05$) con el material de resistencia pequeño, * diferencias significativas ($p < 0,05$) con el material de flotación grande*

La tabla 5.6 muestra los valores medios de velocidad angular entre las dos condiciones de profundidad de inmersión corporal. Se reseña que sus medias no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.266$).

Tabla 5.6. Velocidad angular media \pm EEM en el ejercicio de aducción de cadera con material de resistencia grande en las dos profundidades de inmersión corporal estudiadas (n = 8).

Profundidad	Velocidad angular media (°/s)
Nivel de xifoides	57.24 \pm 1.59
Nivel de clavícula	55.8 \pm 1.58

EEM: Error estándar de la media

6. Discusión

Una vez presentados los resultados, a continuación se procede a la interpretación de los mismos comparándolos y relacionándolos con la literatura científica existente hasta la fecha.

6.1. Nivel de activación de los músculos.

Tal y como se había planteado en la hipótesis inicial, el primer resultado destacable de este estudio muestra que no existen diferencias significativas en la activación muscular proporcionada por los diferentes materiales en ninguno de los músculos estudiados. Es decir, cuando la ejecución del ejercicio se realiza a la máxima velocidad y a la misma profundidad, la actividad eléctrica del músculo no varía independientemente del material que se haya utilizado. De la escasa bibliografía relacionada con el tema central del presente trabajo, se detallarán los estudios que están en línea con dicho resultado.

Pöyhönen et al. (2001b) investigaron con electromiografía de superficie (EMGs) la actividad del vasto interno y externo del cuádriceps y semitendinoso en el movimiento de flexo-extensión de rodilla, así como también la producción de fuerza en el medio acuático en sujetos sanos y físicamente activos en tres situaciones, a) en el agua sin material de resistencia, b) en el agua con material de resistencia (Hydro Boot de Hydro Tone), y c) en tierra con máquina isocinética. La velocidad en la máquina isocinética se limitó a $180^{\circ}/s$ y se realizaron 6 repeticiones de la flexo-extensión, mientras que las repeticiones en agua fueron entre 6 y 8 y se realizaron a la máxima velocidad. Después de aplicar los métodos de análisis estadísticos pertinentes, descubrieron que en las condiciones en el medio acuático (con material de resistencia y sin material) los datos electromiográficos no arrojaron diferencias significativas. Según estos autores, los patrones de actividad muscular y amplitudes de las dos condiciones en

el agua (con y sin material de resistencia) fueron muy similares. Este estudio también afirma que los picos de actividad EMGs y las actividades a 90° de flexión de rodilla fueron comparables en las dos condiciones realizadas en el agua y la condición isocinética realizada en el medio terrestre. Así pues, los resultados de este estudio de Pöyhönen y colaboradores están en consonancia con los obtenidos en el presente trabajo, ya que las condiciones realizadas en el agua con y sin material de resistencia no presentaron diferencias en la activación muscular proporcionada. Al igual que sucede en el presente trabajo, las diferentes condiciones de material de resistencia no afectaron a la activación muscular cuando se realizaron a la máxima velocidad, siendo dicha activación similar en todas las situaciones durante la realización del ejercicio acuático.

Por otra parte existe otro estudio realizado por Black (2005) que midió en mujeres sedentarias la actividad eléctrica de los músculos bíceps femoral y recto femoral en la flexo-extensión de la cadera (8 repeticiones), con y sin material de resistencia (Aquafins) y a diferentes cadencias (40 ppm, 60 ppm, 80 ppm y máxima). Es un estudio con un diseño similar al anteriormente analizado, aunque en él se incluyeron más gradaciones en las condiciones de velocidad angular. Los resultados de este estudio mostraron de nuevo una ausencia de diferencias significativas entre las condiciones con y sin material de resistencia a la máxima velocidad, obteniéndose los siguientes valores de activación muscular: a) recto femoral sin equipamiento: $67,43 \pm 19,36$ %MCVI; b) recto femoral con equipamiento: $65,18 \pm 22,25$ %MCVI; c) bíceps femoral sin equipamiento: $58,72 \pm 25,25$ %MCVI; y d) bíceps femoral con equipamiento: $69,62 \pm 20,40$ %MCVI. Por tanto, se repite el hecho de que diferentes condiciones de material (con y sin material de resistencia) en agua a la máxima velocidad provocan activaciones eléctricas similares en los músculos estudiados, por lo que también coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Se cita ahora otro estudio de Pinto et al. (2011), el cual se hace necesario destacar porque compara, al igual que el presente estudio, la actividad eléctrica muscular producida por material de flotación y material de resistencia. Este estudio comparó las respuestas neuromusculares (EMGs) y cardiorrespiratorias de mujeres jóvenes físicamente activas en un ejercicio calificado por los autores como carrera estática con flexo-extensión de codo (flexo-extensión de codo y flexo-extensión de cadera, simultáneamente) en el medio acuático, a diferentes cadencias (80 ppm, 100 ppm y máxima), y cada una de estas cadencias ejecutada a su vez en 3 condiciones diferentes: a) sin material; b) con material de flotación (Hydro Floating Arm and Leg Trainer) en miembro superior e inferior; y c) con material de resistencia (Hydro Resistant Combo) en miembro superior e inferior. Los músculos evaluados fueron bíceps braquial, tríceps braquial, recto femoral y bíceps femoral. En las intensidades submáximas, el ejercicio se realizó durante 4' y se registraron los valores de EMGs del tercer al cuarto minuto. Respecto a la cadencia máxima, el ejercicio se realizó durante 15 segundos y se registró la señal EMGs. Los resultados referentes a la activación eléctrica no mostraron diferencias significativas para ningún músculo a velocidad máxima entre las situaciones sin material, con material de flotación y con material de resistencia, a excepción del tríceps braquial (mayor activación con material de flotación) y bíceps femoral (mayor activación con material de resistencia). Por lo tanto, este estudio respalda más si cabe los resultados del presente trabajo aquí realizado, ya que además de material de resistencia, utilizó para su comparación un material de diferente propiedad, como es el material de flotación. Aun así, como se ha expuesto, no encontraron diferencias significativas en la activación muscular proporcionada por cada material, por lo que quedan completamente respaldadas las evidencias del presente estudio.

Por último, se expone un trabajo de Colado et al. (2013) en el cual se estudió la extensión de hombro a la máxima velocidad en el medio acuático con materiales de diferente propiedad y tamaño. Se midió la actividad eléctrica del músculo dorsal ancho y varios músculos del tronco durante la extensión de hombro con las diferentes condiciones a la máxima velocidad de ejecución posible, sin encontrar tampoco diferencias significativas entre las mismas para ninguno de los músculos estudiados. Por tanto, los resultados de este estudio están en plena consonancia con los del presente, ya que, una vez más, la evidencia apunta a que ni el tamaño ni la propiedad del material tienen efecto sobre la activación muscular siempre y cuando se realice a la máxima velocidad.

Como se acaba de mostrar, tanto los resultados de los estudios anteriores (Black, 2005; Colado et al., 2013; Pinto et al., 2011; Pöyhönen et al., 2001b) como los resultados del presente estudio indican que la activación muscular no se ve modificada cuando se realiza un movimiento en el agua a la máxima velocidad con o sin implementos de resistencia, o con diferentes implementos que varían las condiciones de tamaño (grande o pequeño) y propiedad del material (resistencia y flotación). Así pues, se hace imperativo dar explicación a esta falta de diferencia en la activación eléctrica muscular entre situaciones de empleo de material tan dispares.

En primer lugar se incidirá sobre la relación entre las variables velocidad de ejecución y área proyectada del material. Tanto en el estudio de Pöyhönen et al. (2001b) como en el de Black (2005) se recogieron datos cinemáticos del movimiento realizado, al igual que en el presente estudio (tabla 5). Se recuerda que en el estudio de Pöyhönen et al. (2001b) se compararon dos ejecuciones de la flexo-extensión de rodilla con material de resistencia (área frontal de 750 cm^2) y sin material a la máxima velocidad de ejecución (entre otras condiciones). Las velocidades angulares medias registradas

durante la flexión y la extensión en la condición de pie desnudo (sin material) fueron mayores que en la condición de material de resistencia ($364 \pm 120^\circ/\text{s}$ vs. $210 \pm 73^\circ/\text{s}$ en la extensión y $326 \pm 30^\circ/\text{s}$ vs. $174 \pm 54^\circ/\text{s}$ en la flexión). Lo mismo sucedió durante el estudio de Black (2005) en la comparación de un movimiento de flexo-extensión de cadera con material de resistencia (260 cm^2) y sin material a la máxima velocidad, en el que el movimiento realizado con material registró unas velocidades angulares medias significativamente menores que sin material ($139,9 \pm 30,3^\circ/\text{s}$ vs. $104,8 \pm 15,6^\circ/\text{s}$). En el presente estudio, también se han encontrado diferencias en la velocidad angular media, de manera que materiales más pequeños han proporcionado velocidades más altas, y viceversa (tabla 5). Así pues, para interpretar estos resultados, se debe volver a revisar la ecuación que define la resistencia de forma en el medio acuático (esto es, la resistencia que opone el agua al avance de un cuerpo en su seno). Esta ecuación se define mediante la siguiente fórmula:

$$R_{FO} = \frac{1}{2}\rho \cdot C_x \cdot S \cdot V^2$$

Donde R_{FO} es la resistencia de forma expresada en newtons, ρ es la densidad del agua en Kg/m^3 , C_x es el coeficiente de forma (el cual depende de la forma más o menos hidrodinámica que tenga el cuerpo), S es el área frontal que ofrece el cuerpo en m^2 y V es la velocidad a la que el cuerpo se desplaza por el fluido expresada en m/s (Llana & Pérez, 2007). De dicha fórmula se deduce que, para una misma resistencia resultante, si aumenta el área del implemento que se opone al movimiento, su velocidad tiene necesariamente que reducirse, y viceversa. Es decir, para una misma resistencia resultante (esto es, una misma intensidad de ejercicio), si el ejercicio se realiza por un ejercitante determinado y con un material más grande, la velocidad se reducirá, mientras que si el material es más pequeño, la velocidad aumentará. Esto mismo es lo que ha sucedido en los estudios previos y en el presente; para una misma fuerza resultante (se

recuerda que la activación eléctrica muscular no varió en las diversas condiciones con o sin material a la máxima velocidad), si el tamaño del material fue mayor, la velocidad del movimiento fue menor, mientras que si el tamaño del material fue menor o si no existió material, la velocidad de ejecución aumentó. Por todo esto, es lógico pensar que materiales de diferentes tamaños o incluso la ausencia de éstos hayan proporcionado la misma activación muscular, ya que el movimiento, como se ha visto, queda condicionado por el área que se opone al avance y por la velocidad, aunque esta última variable es la más determinante, ya que la resistencia generada es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad, de manera que dicha resistencia aumenta exponencialmente cuando aumenta la velocidad a la que se desplaza el elemento en el fluido, hecho que sucedía en ausencia de material o con un material pequeño.

Una vez justificado el hecho de que diferentes tamaños y velocidades proporcionen la misma activación muscular en ejercicios realizados a la máxima velocidad, a continuación se abordará la ausencia de diferencias en la activación muscular proporcionada por materiales de diferente propiedad (de resistencia o de flotación) realizados a la máxima velocidad.

Muy pocos son los estudios que han comparado los efectos en la activación eléctrica del músculo de ejercicios acuáticos realizados con materiales de diferente propiedad (material de resistencia y material de flotación), siendo pioneros los realizados por Colado et al. (2013) y Pinto et al. (2011). Los resultados de dichos estudios, como se ha presentado anteriormente, están en consonancia con los del trabajo que aquí se expone, ya que, independientemente de la propiedad del material y del tamaño de éste, la activación eléctrica de los músculos estudiados ha sido la misma. En el presente estudio se han comparado materiales de ambas propiedades, y cada uno de ellos presentaba dos variantes (grande y pequeño). Para explicar esta ausencia de

diferencias se recurre a un estudio realizado por Martínez et al. (2011) en el que se cuantificó la fuerza de flotación de un material mediante una célula de carga anclada al fondo de una piscina. Dicho estudio resaltó un aspecto que es necesario tener muy presente cuando se usa material con este tipo de propiedad: este material puede experimentar, además del empuje hidrostático, la fuerza de resistencia propia de materiales de resistencia (sobre todo aquellos que presenten más superficie y dependiendo de la velocidad a la que se mueva). Por lo tanto, todo lo relativo a la velocidad y al área de los implementos utilizados en ejercicios acuáticos expuesto anteriormente sería de aplicación también para los materiales con propiedades de flotación. A este tipo de materiales los autores los llamaron “híbridos” por su doble producción de resistencia; empuje hidrostático (EH) o fuerza de flotación por una parte, y exposición de una superficie que se opone al avance por otra. Por tanto, la resistencia resultante producida por este tipo de material sería una suma de la resistencia de forma (teniendo en cuenta la superficie ofrecida por el implemento, así como su velocidad) más el EH ($R_{TOTAL} = R_{FO} + EH$), siempre y cuando el movimiento analizado en cuestión se realice en sentido perpendicular y descendente al vaso. Con lo cual, si se aplican las deducciones hechas anteriormente, para una misma fuerza resultante (como ha ocurrido en los casos en que se ha empleado material tanto de resistencia como de flotación), si el EH generado por el material es mayor, la velocidad a la que se mueve el cuerpo (el segmento corporal, en este caso) disminuirá, y viceversa. Al término del estudio citado (Martínez et al., 2011), los autores lanzan un órdago a los investigadores llamándolos a estudiar no solamente la carga hidrostática del material de flotación, sino también sus propiedades resistivas, lo cual es lo que, en cierto modo, se ha hecho en este estudio, comprobando que, efectivamente, al no encontrar diferencias significativas entre materiales, además de la fuerza hidrostática, la resistencia ofrecida por el material de

flotación (junto a la velocidad de ejecución) puede haber jugado un papel clave a la hora de generar activación muscular.

Cambiando de perspectiva, el hecho de que la activación muscular sea la misma independientemente de la propiedad y del tamaño del material se puede respaldar por estudios que han medido adaptaciones crónicas que han comparado entrenamientos de fuerza en el medio acuático con y sin material de resistencia o flotación y han obtenido las mismas ganancias de fuerza tanto en el grupo que utilizó material como en el grupo que no lo hizo. Esta situación implicaría que las intensidades a las que se entrenó en los ejercicios con y sin material fueron similares, por lo que la resistencia proporcionada por los ejercicios con y sin material también lo fue (teniendo en cuenta todo lo explicado anteriormente sobre la velocidad y el área de los materiales).

En esta línea, un estudio de Cardoso et al. (2004) comparó el resultado de 4 variantes de un mismo entrenamiento de la fuerza en el medio acuático: un grupo (EG1) realizó un entrenamiento con énfasis en el trabajo de la fuerza (utilizando la escala del esfuerzo percibido de Borg) y equipo de resistencia en el miembro inferior, otro grupo (EG2) realizó el mismo entrenamiento con énfasis en el trabajo de la fuerza pero con el equipo de resistencia en el miembro superior. Un tercer grupo (EG3) realizó un entrenamiento sin énfasis en el trabajo de la fuerza y equipo de resistencia en el miembro inferior, y por último el cuarto grupo (EG4) realizó el mismo entrenamiento sin énfasis y con el equipo de resistencia en el miembro superior. Los músculos analizados fueron los flexores y extensores del codo y los aductores de la cadera. Al alternar la ubicación del equipamiento de resistencia entre grupos en miembros superiores e inferiores estos autores compararon los resultados obtenidos tanto en miembro inferior, con o sin equipamiento, como en miembro superior, con o sin equipamiento. Estos resultados mostraron ganancias de fuerza en todos los músculos

estudiados, menos en los aductores en los grupos EG3 y EG4. La explicación que dieron los autores para este hecho fue que, posiblemente, el aumento de velocidad (por la ecuación general de los fluidos) fuera la responsable del aumento de fuerza para los músculos que no estaban equipados con material de resistencia, sin embargo, a diferencia del presente estudio, no pudieron probar esta suposición porque no midieron variables cinemáticas. El aumento de la fuerza para músculos que sí llevaban este equipamiento lo explicaron por la resistencia que ofrecía el área de los implementos. Aunque este estudio tenga algunas carencias de protocolo por no haber controlado la velocidad del movimiento y no establecer un grupo control, el hecho de que músculos que no se ejercitaron con material de resistencia hubieran ganado fuerza hace pensar que la velocidad tenía que haber sido alta para generar la resistencia suficiente como para resultar en esa ganancia de fuerza. Por tanto, si un mismo músculo ganó fuerza tanto con implemento como sin implemento, y asumiendo que para que se produjera esto la velocidad de ejecución tenía que haber sido alta, esto quiere decir que ambos músculos (entrenando con y sin implemento) alcanzaron intensidades de ejercitación comparables.

Otro estudio evaluó los efectos de cuatro variantes de un entrenamiento en el medio acuático dirigido a mejorar la fuerza de los flexo-extensores del codo y los músculos aductores de la cadera en mujeres (Kruel et al., 2005). Las cuatro variantes fueron: a) entrenamiento de la fuerza para miembros inferiores con material de flotación; b) entrenamiento de la fuerza en miembros inferiores sin material; c) entrenamiento de la fuerza en miembros superiores con material de flotación; y d) entrenamiento de la fuerza en miembros superiores sin material. Para todos los entrenamientos propuestos el protocolo fue el mismo: 2 sesiones por semana durante 11 semanas con 20' de ejercicios de resistencia cardiovascular y 15' de ejercicios de

fuerza, realizando entre 3-5 series de 10-15 repeticiones a una intensidad de entre 15-19 en la escala de Borg. Sus resultados fueron ganancias de fuerza en todos los músculos estudiados, desafortunadamente este estudio tampoco planteó un grupo control. Consecuentemente, se podrían extraer las mismas conclusiones que para el estudio anterior; es decir, si un mismo músculo ganó fuerza tanto con implemento como sin implemento, ello implica posiblemente que los músculos trabajaron a intensidades similares. Y para que ello suceda, como se ha visto anteriormente, en caso de la ausencia de material, la velocidad tiene que haber sido más elevada que con material.

Un tercer estudio que comparó un protocolo de entrenamiento de la fuerza con y sin material en el medio acuático fue el de Katsura et al. (2010). Estos autores sí incluyeron un grupo control y contrastaron dos entrenamientos de la fuerza para el miembro inferior que consistieron básicamente en caminar a diferentes velocidades con y sin material de resistencia. Así pues, de nuevo ambos grupos consiguieron mejorar sus valores de fuerza en la flexión plantar.

Por último, aunque no comparen entrenamientos de fuerza con y sin material en el medio acuático, se citan tres artículos que consiguieron ganancias de fuerza basando sus entrenamientos en ejercicios realizados sin material y a la máxima velocidad (Graef et al., 2010; Pinto, Alberton, Bagatini, et al., 2015; Pinto et al., 2013). Este hecho es reseñable y de relevancia para el presente estudio, ya que ratifica el papel protagonista que tiene la velocidad del movimiento en la producción de fuerza (se recuerda que la resistencia ofrecida es proporcional al cuadrado de la velocidad), de manera que es posible obtener intensidades de entrenamiento válidas para producir adaptaciones que conducirán a un aumento de la fuerza muscular.

Por otra parte, los valores de la señal mioeléctrica elevados como consecuencia del aumento de la velocidad también se puede explicar por el patrón de reclutamiento selectivo de unidades motoras (UM) en un movimiento dinámico a la máxima velocidad. Las UM, como ya es conocido, se activan siguiendo el principio del tamaño de Hennemann (Staudenmann et al., 2010) que postula que en contracciones isométricas, primero se reclutan las UM pequeñas (lentas), para posteriormente reclutarse las UM grandes (rápidas). Pero también se ha comprobado que la velocidad de ejecución (movimientos dinámicos) tiene una gran influencia sobre el reclutamiento de las UM, porque incluso con cargas de 30-40% del máximo, todas las UM de un músculo se pueden reclutar si la velocidad es la máxima posible, pero con la particularidad del reclutamiento selectivo de las fibras rápidas (Izquierdo, González, & Gorostiaga, 2008). Por este motivo, el factor clave respecto a la velocidad como condicionante de la intensidad es que se realice a la máxima posible o muy próxima a ésta para la resistencia que se desplaza (Izquierdo, González, & Gorostiaga, 2008), tal y como sucede en el presente estudio, es decir, ejercicios ejecutados a la máxima velocidad de ejecución.

6.2. Comportamiento de los músculos del tronco en la aducción de cadera.

Los músculos del tronco estudiados no presentan diferencias de activación eléctrica independientemente del tamaño y la propiedad del material. Dado que en el presente estudio se medía la activación de músculos del tronco durante la ejecución de un ejercicio realizado por el agonista de una extremidad (aducción de cadera), y dado también que finalmente la carga ha sido la misma para todas las condiciones, se deberá buscar explicación con estudios que tengan un planteamiento similar.

Así pues, diversos estudios en el medio terrestre llegaron a la conclusión de que los músculos del tronco se activaron en la medida en que lo hizo el agonista al movilizar cargas iguales en diferentes condiciones de inestabilidad (Goodman et al., 2008; Saeterbakken & Fimland, 2013b).

El primer estudio que se analizará fue el de Goodman et al. (2008) en el que se comparó la activación muscular durante 1RM en press de banca en situación estable (banco) e inestable (Swiss ball). En él no encontraron diferencias entre condiciones ni para los agonistas medidos ni para el músculo del tronco estudiado, concluyendo que realizar ejercicios de resistencia muscular con una pelota de ejercicios no reporta más ventajas que los ejercicios tradicionales estables.

Saeterbakken & Fimland (2013b) plantearon un estudio que comparó la fuerza realizada y la activación eléctrica de músculos del tronco y del miembro inferior durante la realización de extensión de rodilla en máquina Smith en cuatro situaciones de estabilidad, que fueron suelo y tres materiales que proporcionaron diferentes grados de inestabilidad: un material que los autores llaman “*power board*” (una plataforma rectangular sobre la mitad de un cilindro), un dispositivo Bosu y un cono de equilibrio (una plataforma circular sobre la mitad de una esfera). En este estudio tampoco se encontraron diferencias ni entre agonistas ni entre músculos del tronco (estabilizadores). Por tanto, como ha sucedido en el presente estudio, los músculos del tronco han actuado en consonancia con el agonista, de manera que al no variar la activación de éste, tampoco lo hizo la musculatura del tronco.

En este sentido, en estudios en los que sí se detectaron variaciones en la activación del agonista en situaciones estables e inestables, también varió la actividad de los estabilizadores, de manera que en condiciones estables el agonista generó más

actividad que en condiciones inestables, y los músculos del tronco también se activaron en mayor medida en condiciones estables respecto a inestables (Chulvi et al., 2010; Colado et al., 2011). Por lo tanto, se comprueba cómo la activación de la musculatura del tronco actúa en concordancia con la musculatura agonista tanto si la acción de ésta no se reduce entre situaciones inestables (la musculatura del tronco tampoco se reduce) (Goodman et al., 2008; Saeterbakken & Fimland, 2013b) como en aquellas situaciones en las que sí hay una reducción de la activación del músculo agonista en diferentes condiciones de inestabilidad, es decir, en situación inestable la activación del agonista se reduce con lo que la activación de los estabilizadores también lo hace, y viceversa (Chulvi et al., 2010; Colado et al., 2011). Así pues, este hecho explicaría por qué en el estudio que ahora se presenta no han aparecido diferencias significativas en la activación de los músculos del tronco en las diferentes condiciones (tanto de material, como de tamaño), ya que la activación del aductor tampoco varió en el transcurso de las mismas.

Además, los resultados del presente estudio están en consonancia con otro estudio que también evaluó la activación de los músculos del tronco en un ejercicio dinámico realizado con el miembro superior con diferentes condiciones de material (Colado et al., 2013). En este estudio tampoco se encontraron diferencias en la activación de la musculatura del tronco en las diferentes condiciones, aunque el recto anterior del abdomen obtuvo unos valores más altos que los del presente estudio. Esto tiene sentido, ya que el ejercicio realizado fue la extensión de hombro, ejercicio que se realiza en un plano sagital (tiene, por tanto, implicaciones en la dirección antero-posterior). No obstante, en este mismo estudio también se midió el erector espinal lumbar, el cual obtuvo valores que variaron entre $20.63 \pm 2.79\%MCVI$ y $26.47 \pm$

4.34%MCVI según los materiales empleados, por lo que dichos resultados están en consonancia con los obtenidos en el presente estudio.

En un caso similar, un estudio midió la activación del erector espinal lumbar en la ab-aducción horizontal de hombro en un ejercicio de fuerza en el medio acuático (Colado et al., 2008); como era de esperar, las implicaciones en el plano transversal de dicho ejercicio arrojaron unos valores del erector espinal superiores a los del presente estudio (aducción de cadera en el plano frontal) y a los del estudio anterior (extensión del hombro en el plano sagital).

Como se acaba de mencionar, la aducción de cadera se realiza en un plano frontal, con lo que las implicaciones del movimiento son en dirección lateral. A este respecto, los resultados muestran una activación mayor del oblicuo externo del lado no dominante frente al oblicuo externo del lado dominante. Este resultado está en sintonía con la literatura existente, ya que muestra una característica típica de los ejercicios realizados de forma unilateral (como es el caso del presente estudio). Así pues, diversos estudios encontraron una activación asimétrica en músculos del tronco cuando se realizaron ejercicios dinámicos unilateralmente, encontrándose valores de activación superiores en el lado contralateral (Behm, Leonard, Young, Bonsey, & MacKinnon, 2005; Santana, Vera-García, & McGill, 2007; Tarnanen et al., 2012; Weaver, Vichas, Strutton, & Sorinola, 2012).

Este hecho también se ha constatado en ejercicios estáticos, de manera que hubo un estudio que encontró una activación mayor del oblicuo externo en el lado no apoyado respecto al apoyado durante un ejercicio estático de puente en posición prona con un solo apoyo de pie (Feldwieser, Sheeran, Meana-Esteban, & Sparkes, 2012; García-Vaquero, Moreside, Brontons-Gil, Peco-González, & Vera-García, 2012). Como

explicación complementaria, la mayor activación del oblicuo externo del lado no dominante se justifica por su condición de, además de músculo movilizador, postural. Una publicación analiza el comportamiento de los músculos recto anterior del abdomen, oblicuo externo y erector espinal lumbar durante el mantenimiento de la postura erecta sobre una superficie inestable (Vera-García, 2000). En este punto, este estudio tendría cierto parecido con el que se presenta, ya que el apoyo con una sola pierna constituye de por sí, si no una superficie, sí una base de sustentación inestable. Siguiendo con el estudio, concluyeron que aunque ambos músculos se activaron durante la tarea, el oblicuo externo participó como un músculo postural, mientras que el recto anterior del abdomen lo hizo desde su condición de movilizador del tronco. Concretamente afirmaron que durante la situación de inestabilidad, los músculos oblicuo externo y erector espinal lumbar participaron coordinadamente, lo cual atribuye al oblicuo externo funciones propias de los músculos antigravitatorios.

Por otra parte, en un estudio realizado por Bressel et al. (2011) se comparó la ejecución de una serie de ejercicios específicos de estabilización espinal en agua y en tierra. Los músculos que se registraron fueron el recto anterior del abdomen, oblicuo externo, multífidus, erector espinal lumbar y una zona que denominaron “zona baja abdominal”, (ubicación anatómica donde se entremezclan el oblicuo interno y el transversal del abdomen). Ninguno de estos músculos superó el 25%MCVI, por lo que en ese sentido, estarían en consonancia con el presente estudio (a excepción del oblicuo externo del lado no dominante). No obstante, no hay que perder de vista que en este estudio se evaluaron ejercicios analíticos para la musculatura del tronco y en posición estática, lo cual dificulta su comparación con el presente y otros estudios que han utilizado otro tipo de ejercicios. A parte de la explicación de su baja activación por dicha tipología, los autores ofrecen otra explicación basándose en las investigaciones de

Deban & Schilling (2009), quienes postularon que la baja activación de los músculos del tronco en el medio acuático se debía a la presión hidrostática y la flotabilidad, las cuales minimizan el papel estabilizador de los músculos del tronco en el medio acuático, disminuyendo así su activación eléctrica.

6.3 Diferencias entre distintas profundidades de inmersión corporal.

No ha habido diferencias significativas ni en la activación muscular del aductor ni en la de los músculos del tronco a diferentes profundidades de inmersión corporal. En este sentido, se recuerda que sólo se comparó la condición de material de resistencia grande a nivel de inmersión corporal al nivel de la apófisis xifoides y de la clavícula. Este resultado refuta la segunda hipótesis enunciada al inicio, la cual sostenía que la activación del agonista sería mayor a menor profundidad, al igual que los músculos del tronco. Así pues, se hace imperativo buscar las causas que justifiquen dichos resultados.

Respecto a la ausencia de diferencias de activación muscular del agonista entre profundidades de inmersión, este hecho puede explicarse recurriendo a la velocidad de ejecución del movimiento. Teniendo en cuenta las explicaciones ofrecidas anteriormente respecto a las implicaciones de la velocidad de ejecución y el área ofrecida por el implemento para la ausencia de diferencias en las activaciones musculares entre las diferentes condiciones, si no ha habido diferencias entre las activaciones del músculo aductor largo entre las diferentes profundidades, ello entrañaría que la velocidad de ejecución de la aducción tendría que haber sido similar. Es decir, si las activaciones del aductor largo han sido similares a diferentes profundidades de inmersión, la resistencia ofrecida por el agua debe haber sido similar. Y ya que la resistencia depende directamente de la velocidad, ésta debe haber sido también parecida entre las diferentes condiciones de profundidad. Así pues, si se

consulta la tabla 5.6, se puede comprobar que efectivamente no han existido diferencias en la velocidad angular media de ejecución entre las dos profundidades de inmersión estudiadas. Respecto a la ausencia de diferencias de activación de los músculos del tronco entre diferentes profundidades, para su explicación se debe recurrir a todo lo aportado en el apartado anterior, en el que se destacaba la evidencia de que la activación de los músculos del tronco va pareja a la activación del músculo agonista del movimiento, por lo que todo el razonamiento realizado anteriormente, sería de aplicación también para este caso.

Por otro lado, parece ser que la diferencia de profundidades de inmersión corporal no ha supuesto un mayor grado de inestabilidad para los sujetos, ya que éstos pudieron ejercer la misma resistencia contra el agua (nivel de activación) tanto en una profundidad como en la otra al realizar el ejercicio a la máxima velocidad. En este sentido, un estudio que evaluó el equilibrio en tierra y en agua a dos profundidades (cadera y apófisis xifoides) mediante el análisis de cuánto pueden llegar a flexionar el tronco en una dirección antero-posterior o medio-lateral sin caerse, concluyó que no existieron diferencias significativas en los límites de estabilidad entre las dos condiciones de agua (Louder et al., 2014), lo cual está en línea con otro estudio que dedujo que las propiedades físicas del agua de empuje hidrostático y viscosidad mejoran el equilibrio al aumentar el tiempo de detección y corrección de error (Simmons & Hansen, 1996).

Por tanto, parece ser que por un lado diferentes condiciones de profundidad no afectarían a los límites de estabilidad y, por otro lado, que las propiedades del agua ayudan a detectar y corregir errores de equilibrio. Por ende, según estas investigaciones, sería lógico pensar que las diferencias entre las dos profundidades estudiadas en el presente estudio han sido mínimas. En otro sentido, se puede dar otra explicación al

hecho de que la diferencia de profundidad no haya afectado al nivel de activación ni del agonista ni de los músculos del tronco. Existe un estudio que evaluó posiciones estáticas y ejercicios dinámicos en diferentes situaciones de estabilidad (suelo y diversos materiales que generan inestabilidad) en sujetos con un nivel de entrenamiento de fuerza elevado (Wahl & Behm, 2008). No se obtuvieron diferencias significativas entre condiciones de inestabilidad, por lo que dicho estudio concluyó que los sujetos altamente entrenados en fuerza podrían tener un sentido de la estabilidad más desarrollado al estar acostumbrados a trabajar con pesos libres, con lo cual, el uso de diversos aparatos de entrenamiento moderadamente inestables no desafiaría suficientemente la estabilidad en este tipo de sujetos. Extrapolando, pues, los resultados del citado estudio al que ahora se presenta, y teniendo en cuenta que los sujetos reclutados para el presente estudio tenían como mínimo 1 año de experiencia en entrenamiento neuromuscular de la fuerza en tierra, se puede deducir que los sujetos de este trabajo, al no obtener tampoco diferencias entre las dos situaciones de agua, también tienen un sentido de la estabilidad más desarrollado, por lo que la diferencia de profundidades no ha supuesto una situación de inestabilidad lo suficientemente desafiante. Además, los sujetos del presente estudio también tenían experiencia de acondicionamiento neuromuscular en el agua, factor que se sumaría a la experiencia en tierra y contribuiría a un mayor control en situaciones potencialmente inestables.

No obstante, un estudio que también comparó la activación de diversos músculos a diferentes profundidades y en el que sí que se obtuvieron diferencias significativas en la activación del dorsal ancho al realizar la extensión de hombro a profundidades diferentes (apófisis xifoides y clavícula), siendo la activación de dicho músculo menor en la profundidad clavicular, fue el desarrollado por Colado et al. (2013). Las diferencias entre este estudio y el presente son obvias, ya que tanto el

agonista como el plano en el que se ejecutaron los movimientos son diferentes (dorsal ancho y plano sagital para la extensión del hombro, aductor largo y plano frontal para la aducción de la cadera).

Sin embargo, para una explicación más clara y precisa de por qué en el ejercicio de extensión de hombro citado sí hubo una reducción de la activación del agonista con una profundidad mayor y en el ejercicio de aducción de la cadera no la hubo, se recurre a la física elemental (Tipler & Mosca, 2010). En este sentido, debe indicarse que durante cualquier ejercicio realizado en el medio acuático en posición vertical con los pies en el suelo, sobre el cuerpo del ejercitante están actuando diversas fuerzas. Si el sujeto está en estático, actúan sobre él tres fuerzas: la fuerza peso en sentido vertical hacia abajo, el EH en la misma dirección pero sentido contrario vertical hacia arriba, y la fuerza normal (F_N) también en sentido vertical hacia arriba. La fuerza peso es siempre la misma, es decir la masa del cuerpo por la gravedad. Por otro lado, el EH es igual a la masa del agua desplazada por la gravedad, con lo cual es fácil deducir que a medida que el cuerpo se sumerge en el agua, el agua desplazada es mayor, y por tanto el EH también es mayor. Este comportamiento del EH hace que fuerza peso se vea contrarrestada, dando como resultante una fuerza que aquí se denominará peso efectivo (P_E). Así pues, una vez definido este P_E , la F_N se define como la reacción del suelo de la piscina a dicho P_E , compensándose una con otra, es decir, dando como resultante una fuerza igual a 0.

Como se ha explicado anteriormente, se ha comprobado cómo a medida que un cuerpo se sumerge en el agua aumenta su EH (por el principio de Arquímedes), por lo que a mayor profundidad, se obtendría un menor P_E (resultado de la resta entre la fuerza peso y el EH). Ahora bien, si el sujeto realiza un movimiento en el agua, ese movimiento encontrará una resistencia, la cual se traduce en una fuerza en la misma

dirección pero de sentido contrario. En el caso del ejercicio de extensión de hombro, la fuerza torque creada por el músculo dorsal ancho que hace rotar la articulación del hombro hacia abajo crea, por lo que ya se ha comentado, una fuerza torque reactiva hacia arriba, la cual se aplicaría en el centro de flotación. Así pues, si existe un torque reactivo hacia arriba como consecuencia de la extensión de hombro que tiende a hacer rotar al cuerpo, surge aquí la siguiente cuestión: ¿qué es lo que determina si el cuerpo rota, despegando los pies, o si no rota, manteniendo los pies del ejercitante en contacto con el suelo sin despegarse? La respuesta es la fuerza de rozamiento (F_R). Dicha fuerza, en el caso que nos ocupa, se crearía entre las zonas de contacto, esto es, entre los pies del ejercitante y el suelo de la piscina, y quedaría definida como el producto de la F_N (esto es, la fuerza que devuelve el suelo de la piscina y que sería igual al P_E pero de sentido contrario) por el coeficiente de rozamiento entre los pies y el suelo de la piscina de la piscina

$$F_R = F_N \cdot C_x.$$

Donde F_R es la fuerza de rozamiento, F_N es la fuerza normal (la reacción del suelo al peso efectivo, esto es, la resta entre la fuerza peso y el EH) y C_x es el coeficiente de rozamiento. Retomando conceptos, si antes se ha expuesto que a menor profundidad, mayor peso efectivo (y viceversa), se deduce asimismo que a menor profundidad, mayor fuerza de rozamiento. Así pues, una profundidad menor va a permitir resistir torques más elevados, ya que la F_R disponible será mayor. Pero en el caso de aumentar la profundidad, ocurrirá el efecto contrario, es decir, se podrán soportar torques menores, ya que la F_R se verá disminuida. Por tanto, cuando el torque generado por un miembro en movimiento genere un torque reactivo que provoque rotación y éste supere al torque disponible por la F_R (lo cual sucederá cuando ésta sea

baja por un P_E disminuido, esto es, a mayor profundidad) el cuerpo rotará, despegando los pies del suelo.

Concretando en el caso del ejercicio de extensión de hombro del estudio mencionado (Colado et al., 2013), para que esto mismo no sucediese, los sujetos tuvieron que reducir la fuerza aplicada durante la extensión de hombro a nivel clavicular en pro de asegurar la verticalidad durante la ejecución del ejercicio (ya que ésta fue una condición indispensable). Y en este punto surge otra cuestión: ¿por qué en el ejercicio de hombro los sujetos tuvieron que disminuir la velocidad para disminuir la fuerza resultante y en el ejercicio de cadera no?

Posiblemente, la primera de las razones que se pueden esgrimir tiene que ver con el número de miembros y músculos (así como el número de implementos) activos. Imaginemos por un momento que ambos músculos (dorsal ancho y aductor largo) ejercieran exactamente la misma fuerza y que los miembros tuvieran el mismo implemento. Obviamente, durante el ejercicio de extensión de hombro, al ser realizado bilateralmente, el torque resultante se vería multiplicado por dos al compararse con el ejercicio unilateral de aducción de cadera, o visto desde la perspectiva contraria, el torque final en la aducción de cadera sería la mitad del producido en la extensión de hombro. Así pues, dado que el dorsal ancho es mucho más potente que el aductor largo, el torque generado en la extensión de hombro fue mucho más grande que el generado durante la aducción de la cadera (como también lo fue el torque reactivo). Por otro lado, en el ejercicio de extensión de hombro se tuvieron ambos pies en contacto constante con el suelo, por lo que el P_E se repartió entre ambos apoyos ($P_E/2$), disminuyéndose consecuentemente la F_R ($F_R/2$). En cambio, esto no sucedió en el ejercicio de aducción de cadera, ya que al ser dicho ejercicio monopodal, el P_E recayó sobre un solo apoyo, por lo que la F_R se mantuvo íntegra para dicho pie de apoyo pudiendo soportar así el

torque generado (que, se recuerda, fue menor que el producido en el ejercicio de extensión de hombro).

En resumen, y comparando ambos ejercicios citados, si se considera que durante la aducción de la cadera el torque producido fue menor (dos miembros contra un miembro, sin contar la diferencia potencia de cada uno) y que la fuerza de rozamiento disponible para soportar el torque reactivo fue mayor para la misma profundidad (clavicular), esta confluencia de situaciones explicarían por qué en el ejercicio de hombro se tuvo que reducir la velocidad de ejecución (reduciendo con ello la activación muscular) con el fin de no rotar, y por qué, a la misma profundidad, no sucedió lo mismo en la aducción de cadera, pudiendo los sujetos desarrollar la misma velocidad de ejecución en una profundidad que en otra.

6.4. Valoración de las activaciones musculares conseguidas.

Por último, se valoran los resultados registrados en el presente estudio por los diversos músculos en las diversas condiciones. Empezando por el aductor largo, se comparan sus resultados respecto a otros estudios que también han medido su actividad en ejercicios específicos, aunque por la ausencia de estudios en el medio acuático que hayan registrado valores electromiográficos de este músculo, se compararán con estudios que sí han recogido valores de activación en el medio terrestre.

Así pues, Delmore et al. (2014) compararon la activación de este músculo en ejercicios habituales de cadera en la rehabilitación. Para ello, 24 sujetos físicamente activos realizaron 5 ejercicios: aducción de cadera unilateral acostado de lado con tobillera de 2.3 kg, aducción bilateral de cadera presionando de forma submáxima una pelota con la parte medial de ambas rodillas desde la posición de acostado, sentadilla con rotación externa de cadera, aducción unilateral de cadera de pie apoyado sobre

Swiss ball, y media sentadilla lateral sobre una pierna (*side lunge*). Así pues, los valores de activación muscular pico arrojados por estos ejercicios fueron los siguientes (expresados en %MCVI \pm desviación estándar): 60.1 ± 16.2 para la aducción unilateral acostado con tobillera, 36.0 ± 18.0 para la aducción bilateral de cadera con pelota de plástico, 13.7 ± 7.6 para las sentadillas con rotación externa de cadera, 17.3 ± 9.7 para la aducción unilateral de pie apoyado sobre Swiss ball, y 26.7 ± 3.1 para la media sentadilla lateral (*side lunge*). Por consiguiente, al comparar estas activaciones con las activaciones obtenidas en el presente estudio, se puede comprobar cómo la activación más baja obtenida en el presente estudio ($35.87 \pm 7.24\%$ MCVI, en el ejercicio de flotación grande) iguala o supera a todos los ejercicios planteados anteriormente, a excepción de la aducción unilateral acostado con tobillera. Este ejercicio, como se ha mencionado anteriormente, obtuvo una activación del $60.1 \pm 16.2\%$ MCVI, a la cual se aproxima la activación más alta del presente estudio $48.21 \pm 9.39\%$ MCVI en el ejercicio realizado con material de flotación pequeño.

Por tanto, de estos resultados comentados se puede inferir que el ejercicio de aducción de cadera en el medio acuático sería perfectamente válido para su uso con fines terapéuticos, si bien, como se ha explicado anteriormente, se podría regular la intensidad de la activación variando la velocidad del movimiento, en caso necesario.

Por otra parte, otro estudio realizado por Brandt et al. (2013) tuvo como objetivos investigar la aplicabilidad de la escala de esfuerzo percibido Borg CR10 para clasificar la intensidad del entrenamiento de la fuerza de los músculos aductores y abductores de la cadera, así como comparar la activación eléctrica producida por gomas elásticas y máquina isotónica. En este sentido, 11 mujeres realizaron diversos ejercicios de ab-aducción de cadera a 4 intensidades diferentes: ligero (Borg ≤ 2), moderado (Borg entre 2 y 5), fuerte (Borg entre 5 y 7) y cerca del máximo (Borg ≥ 7). Los ejercicios de

aducción de cadera fueron aducción unilateral en posición vertical con gomas elásticas (de diversa resistencia) y aducción bilateral sentado en máquina isotónica. Finalmente, este estudio consiguió una asociación de moderada a fuerte entre la percepción de la carga de trabajo y la activación eléctrica muscular. Concretamente, para el músculo aductor largo se asociaron las diversas intensidades de ejercitación a los siguientes niveles de activación, teniendo en cuenta que no hubo diferencias significativas entre las activaciones obtenidas con gomas elásticas y máquina isocinética:

Tabla 6.1. Correspondencia entre intensidades y niveles de activación en ejercicios de aducción de cadera según Brandt et al. (2013).

Intensidad de ejercitación	Activación (%MCVI) (Media \pm EEM)	
	Gomas elásticas	Máquina isotónica
Ligera	42 \pm 5	46 \pm 5
Moderada	52 \pm 5	54 \pm 6
Fuerte	61 \pm 6	63 \pm 7
Cerca del máximo	63 \pm 8	82 \pm 8

%MCVI: porcentaje de activación de la máxima contracción voluntaria isométrica; EEM: error estándar de la media

Así pues, si se usan estos resultados para clasificar los del presente estudio, se puede comprobar que el ejercicio acuático de aducción de cadera con material de resistencia grande (43.61 \pm 8.27%MCVI) se ubicarían dentro de la franja ligera de intensidad, mientras que el ejercicio con material de flotación pequeño (48.21 \pm 9.39%MCVI) se situaría cerca de la franja de intensidad moderada.

A un nivel más general, hay estudios que han relacionado el %MCVI con la fuerza muscular. Aunque la relación entre la amplitud de la EMGs y la fuerza muscular no es necesariamente lineal, a menudo se utilizan modelos lineales de manera inevitable y dan, en muchos casos, una descripción de la relación razonable (Staudenmann et al., 2010). En este sentido, diversos estudios (Andersen et al., 2006; Ayotte, Stetts, Keenan, & Greenway, 2007) consideran un 40-45%MCVI un umbral razonable para la ganancia de fuerza en ejercicios terapéuticos, con lo cual, los músculos aductor largo y oblicuo

externo del lado no dominante medidos en el estudio que ahora se presenta entrarían dentro de este rango (ver tabla 5.1).

Incluso un estudio realizado por Ekstrom, Donatelli, & Carp (2007) va más lejos y equipara el porcentaje de 1RM al %MCVI obtenido en EMGs, aunque advierte de que esto puede no ser aplicable a todos los sujetos, ya que, debido a que la desviación estándar de la EMGs suele ser bastante alta, algunos sujetos podrían obtener beneficios menores en comparación a otros dependiendo de su nivel de fuerza inicial. Por lo tanto, teniendo presentes estas consideraciones, se puede comprobar en los resultados que sólo dos músculos cumplirían las recomendaciones de la ACSM sobre prescripción del ejercicio en sujetos sanos para el trabajo de resistencia muscular (Garber et al., 2011). Se trata del músculo aductor largo ejercitado con material de flotación pequeño (cerca del 50% de la MCVI) y el oblicuo externo del miembro no dominante (con un 53% de la MCVI). Estos porcentajes se consideran una intensidad de muy ligera a ligera para una activación entre el 40-50% de 1RM, y de ligera a moderada entre el 50-60% de 1RM, y serían adecuados para incrementar la fuerza en sujetos sedentarios que empiezan un programa de entrenamiento de resistencia muscular, así como para personas de la tercera edad que quieran iniciarse en un programa de resistencia muscular (Garber et al., 2011).

Vistas las activaciones conseguidas, es probable que sujetos con la condición de activos y con experiencia en el trabajo de fuerza pudieran necesitar condiciones que generen más resistencia para obtener mejoras neuromusculares.

7. Conclusiones

Es necesario tener presente que las conclusiones que se exponen a continuación se limitan a una población activa y con experiencia en el acondicionamiento muscular así como a los músculos y materiales aquí estudiados.

1. La activación del músculo aductor largo durante la aducción de cadera en un ejercicio en el medio acuático es la misma independientemente del material utilizado y sus características, tanto de tamaño (grande o pequeño) como de propiedad (resistencia o flotación).

2. La activación de los músculos del tronco (recto anterior del abdomen, oblicuos externos de los lados dominante y no dominante y erector espinal lumbar) durante un ejercicio de aducción de cadera en el medio acuático es la misma independientemente del material utilizado y sus características, tanto de tamaño (grande o pequeño) como de propiedad (resistencia o flotación).

3. La variación de profundidad (a nivel de apófisis xifoides y clavicular) durante un ejercicio de aducción de cadera con material de resistencia grande no tiene ningún efecto sobre la activación de los músculos estudiados (aductor largo, recto anterior del abdomen, oblicuos externos de los lados dominante y no dominante, oblicuo del lado no dominante y erector espinal lumbar), siendo ésta la misma para ambas profundidades.

8. Implicaciones prácticas

A partir de los resultados y conclusiones expuestas, se presentan una serie de aplicaciones prácticas.

Dado que ni el tamaño del material ni su propiedad influyen en la activación muscular cuando el movimiento se realiza a la máxima velocidad, los instructores de actividades acuáticas que incluyen acondicionamiento físico de fuerza en posición vertical podrían elegir entre una amplia variedad de posibilidades para lograr sus objetivos, tan amplia como amplio sea el inventario de dicha instalación.

En este sentido, cobraría relevancia el principio de variedad, ya que los estímulos que ofrecerían dichos materiales oscilarían entre velocidades altas (para materiales pequeños) y bajas (para materiales grandes), de manera que ello no influiría en el resultado final, que sería la misma activación para el músculo que se trabaje. No obstante, la elección del material debe ir acorde a las posibilidades y características de cada individuo, siempre cuidando que la técnica postural y de ejecución sean las correctas, de manera que un sujeto poco entrenado o con alguna patología podría no tolerar bien un ejercicio a la máxima velocidad. En este sentido, se podría establecer una progresión que fuera del uso de un material de resistencia grande (que, como ya se ha visto, implica velocidades de ejecución menores) al uso de materiales de área pequeños o de flotación (velocidades más altas), de forma que se propicie una transición controlada y adecuada hacia un trabajo explosivo. Queda, pues, a elección del instructor la elección del material para cada individuo según sus necesidades.

Por otra parte una monotonía en el uso de materiales supondría un descenso en la motivación del ejecutante, por lo que con la alternancia de materiales se conseguiría el efecto contrario, esto es, una mayor motivación del practicante, sin influir en el resultado final.

Desde otro punto de vista, estos resultados también tienen implicaciones económicas importantes para las instalaciones y su equipamiento, ya que en el caso de un presupuesto reducido, los instructores pueden hacer uso del ejercicio a la máxima velocidad con los mismos resultados de activación que con cualquier otro equipamiento, cualesquiera que sean su tamaño y propiedad.

El ejercicio físico que solicita mayores activaciones puede representar mayores retos para el sistema neuromuscular, y, por tanto, ser más efectivo para la mejorar la fuerza de los músculos del tronco si se incluyen en un programa de acondicionamiento físico (Martuscello et al., 2013). Así pues, los resultados del presente estudio permiten y justifican la inclusión del ejercicio de aducción de cadera en programas de acondicionamiento neuromuscular en el medio acuático, ya que queda demostrado que este ejercicio compromete de forma notable la musculatura del lado contralateral al miembro ejecutante. Así pues, el ejercicio en el medio acuático se posiciona como una alternativa y/o un complemento eficaz para el trabajo de la musculatura del tronco.

Por último, el hecho de que la profundidad a la que se ejecuta el ejercicio de aducción de cadera tampoco afecte al nivel de activación debe ser tenido en cuenta por poblaciones que requieran una liberación mayor de la carga soportada por el miembro inferior, como sujetos aquejados de osteoartritis y otras patologías (Bennell et al., 2010).

9. Limitaciones y propuestas para futuros estudios

9.1. Limitaciones.

En la investigación que se presenta en este trabajo, se ha hecho un gran esfuerzo para que todo su desarrollo se realice con la máxima fiabilidad, objetividad y validez. No obstante, se dieron algunas limitaciones que a continuación se expondrán con el fin de propiciar futuras investigaciones que ayuden a superarlas.

Como se ha expuesto en el apartado de material y métodos, para medir el efecto de la profundidad sobre la activación de los diversos músculos solo se utilizó un material con el fin de preservar la señal eléctrica y evitar el estado de fatiga de los sujetos. Aunque no se encontraron diferencias significativas, la realización del ejercicio con otros tamaños y/o propiedades podría haber supuesto algún tipo de cambio en alguno de los resultados obtenidos.

Por otra parte, la muestra elegida para el presente estudio posee unas características específicas que no permiten extrapolar los resultados a poblaciones con características diferentes a las descritas, lo cual supone también un límite en la presente investigación, aunque esto suele ser habitual en la mayoría de los estudios que se realizan. Esto cobra más importancia al haber evidencias de que una muestra con experiencia en el campo de la fuerza y del uso de pesos libres es menos sensible a cambios en las condiciones de estabilidad.

9.2. Propuestas para futuros estudios.

Teniendo en cuenta los resultados y la experiencia obtenida, además de algunas de las limitaciones expuestas, a continuación se proponen ideas o proyectos para desarrollar en un futuro próximo.

Una propuesta clara sería la ampliación del estudio del efecto de la profundidad sobre la activación de diversos músculos utilizando una mayor variedad de materiales.

Además, a partir de la explicación biomecánica planteada en la discusión que se fundamenta en la importancia de la fuerza de rozamiento disponible, sería interesante ver el efecto que tiene sobre la activación del músculo la realización del ejercicio en el medio acuático con diferentes apoyos, en diferentes ejercicios y a diferentes profundidades, con la finalidad de buscar las posiciones más adecuadas para poder realizar el movimiento a la máxima velocidad sin comprometer la estabilidad.

Para finalizar, debido a que este estudio se ha llevado a cabo con una muestra de sujetos físicamente activos y con experiencia en el trabajo de fuerza tanto en el medio terrestre como en el acuático, sería interesante ver qué efecto tiene el uso de diferentes materiales y profundidades sobre la activación muscular de otras poblaciones como sedentarios, tercera edad, sujetos con osteoartritis, etc. Respecto a estos últimos sujetos, sería interesante comparar la ganancia de fuerza en el músculo aductor largo con los diferentes materiales, dado que si se comprobara dicha ganancia de fuerza con material (o incluso sin él), se obtendrían los beneficios propios del fortalecimiento de los músculos aductores (Bennell et al., 2010; Brandt et al., 2013) en unas condiciones de reducción del peso corporal.

10. Referencias bibliográficas

- Abenham, L., Rossignol, M., Valat, J. P., Nordin, M., Avouac, B., Blotman, F., ... Vautravers, P. (2000). The role of activity in the therapeutic management of back pain. Report of the International Paris Task Force on back pain. *Spine*, 25(4 Suppl), 1S-33S.
- Alberton, C. L., Black, G. L., Vendrusculo, A., Brentano, M., Junior, N., & Krueel, L. F. (2006). Muscle activation in water exercise: Agonist and antagonist action with or without resistive equipment. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6 (Supl. 1), 71.
- Alberton, C. L., Cadore, E. L., Pinto, S. S., Tartaruga, M. P., da Silva, E. M., & Krueel, L. F. (2011). Cardiorespiratory, neuromuscular and kinematic responses to stationary running performed in water and on dry land. *European Journal of Applied Physiology*, 111(6), 1157-1166. <http://doi.org/10.1007/s00421-010-1747-5>
- Alberton, C. L., Finatto, P., Pinto, S. S., Antunes, A. H., Cadore, E. L., Tartaruga, M. P., & Krueel, L. F. (2015). Vertical ground reaction force responses to different head-out aquatic exercises performed in water and on dry land. *Journal of Sports Sciences*, 33(8), 795-805. <http://doi.org/10.1080/02640414.2014.964748>
- Alberton, C. L., Pinto, S. S., Cadore, E. L., Tartaruga, M. P., Kanitz, A. C., Antunes, A. H., ... Krueel, L. F. (2014). Oxygen uptake, muscle activity and ground reaction force during water aerobic exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 35(14), 1161-1169. <http://doi.org/10.1055/s-0034-1383597>
- Alberton, C. L., Silva, E. M., Cadore, E. L., Coertjens, M., Beyer, P. O., Marocco, L. F. da S., & Krueel, L. F. M. (2008). Respostas eletromiográficas induzidas pelo isolamento e pela imersão sobre os eletrodos de superfície. Recuperado a partir de <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/67114>

- Alberton, C. L., Tartaruga, M., Pinto, S. S., Cadore, E., Antunes, A., Finatto, P., & Krueel, L. F. (2013). Vertical ground reaction force during water exercises performed at different intensities. *International Journal of Sports Medicine*, 34(10), 881-887. <http://doi.org/10.1055/s-0032-1331757>
- Andersen, L. L., Magnusson, S. P., Nielsen, M., Haleem, J., Poulsen, K., & Aagaard, P. (2006). Neuromuscular activation in conventional therapeutic exercises and heavy resistance exercises: Implications for rehabilitation. *Physical Therapy*, 86(5), 683-697.
- Añó, V. (1997). El nacimiento de las actividades acuáticas. En V. Tella & S. Camarero (Eds.), *Natación. Aplicaciones teóricas y prácticas* (pp. 15-29). Valencia: Promolibro.
- Atkins, S. J., Bentley, I., Brooks, D., Burrows, M. P., Hurst, H. T., & Sinclair, J. K. (2015). Electromyographic response of global abdominal stabilizers in response to stable -and unstable- base isometric exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(6), 1609-1615. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000795>
- Ayotte, N. W., Stetts, D. M., Keenan, G., & Greenway, E. H. (2007). Electromyographical analysis of selected lower extremity muscles during 5 unilateral weight-bearing exercises. *Journal of Ortopaedic in Sports Physical Therapy*, 37(2), 48-55. <http://doi.org/10.2519/jospt.2007.2354>
- Balsamo, S., Henrique, L. M., de Santana, F. S., Cunha, D. da, Aguiar, L. M., Coscrato, D. O., ... Bottaro, M. (2013). Resistance training versus weight-bearing aquatic exercise: A cross-sectional analysis of bone mineral density in postmenopausal women. *Revista Brasileira de Reumatologia (English Edition)*, 53(2), 193-198. [http://doi.org/10.1016/S2255-5021\(13\)70022-1](http://doi.org/10.1016/S2255-5021(13)70022-1)

- Barbosa, T. M., Marinho, D., Reis, V. M., Silva, A., & Bragada, J. A. (2009). Physiological assessment of head-out aquatic exercises in healthy subjects: A qualitative review. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8(2), 179-189.
- Barker, A. L., Talevski, J., Morello, R. T., Brand, C. A., Rahmann, A. E., & Urquhart, D. M. (2014). Effectiveness of aquatic exercise for musculoskeletal conditions: A meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95(9), 1776-1786. <http://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.04.005>
- Bayraktar, D., Guclu-Gunduz, A., Lambeck, J., Yazici, G., Aykol, S., & Demirci, H. (2013). Core stability exercises: in water or on land? Comparison of the effects of two different core stabilization trainings. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 72(Suppl 3), A1096-A1096. <http://doi.org/10.1136/annrheumdis-2013-eular.3159>
- Becker, B. E. (2009). Aquatic therapy: Scientific foundations and clinical rehabilitation applications. *PM & R: the journal of injury, function, and rehabilitation*, 1(9), 859-872. <http://doi.org/10.1016/j.pmrj.2009.05.017>
- Behm, D. G., & Colado, J. C. (2012). The effectiveness of resistance training using unstable surfaces and devices for rehabilitation. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 7(2), 226-241.
- Behm, D. G., & Colado, J. C. (2013). Instability resistance training across the exercise continuum. *Sports Health*, 5(6), 500-503. <http://doi.org/10.1177/1941738113477815>
- Behm, D. G., Drinkwater, E. J., Willardson, J. M., & Cowley, P. M. (2010a). Canadian society for exercise physiology position stand: The use of instability to train the core in athletic and nonathletic conditioning. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 35(1), 109-112. <http://doi.org/10.1139/H09-128>

- Behm, D. G., Drinkwater, E. J., Willardson, J. M., & Cowley, P. M. (2010b). The use of instability to train the core musculature. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 35(1), 91-108. <http://doi.org/10.1139/H09-127>
- Behm, D. G., Leonard, A. M., Young, W. B., Bonsey, A. C., & MacKinnon, S. N. (2005). Trunk muscle electromyographic activity with unstable and unilateral exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 193-201. <http://doi.org/10.1519/00124278-200502000-00033>
- Bennell, K. L., Hunt, M. A., Wrigley, T. V., Hunter, D. J., McManus, F. J., Hodges, P. W., ... Hinman, R. S. (2010). Hip strengthening reduces symptoms but not knee load in people with medial knee osteoarthritis and varus malalignment: A randomised controlled trial. *Osteoarthritis and Cartilage*, 18(5), 621-628. <http://doi.org/10.1016/j.joca.2010.01.010>
- Bento, C. B., Pereira, G., Ugrinowitsch, C., & Rodacki, L. F. (2012). The effects of a water-based exercise program on strength and functionality of older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 20(4), 469-483.
- Bergamin, M., Ermolao, A., Matten, S., Sieverdes, J. C., & Zaccaria, M. (2015). Metabolic and cardiovascular responses during aquatic exercise in water at different temperatures in older adults. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 86(2), 163-171. <http://doi.org/10.1080/02701367.2014.981629>
- Bergmark, A. (1989). Stability of the lumbar spine: A study in mechanical engineering. *Acta Orthopaedica*, 60(s230), 1-54. <http://doi.org/10.3109/17453678909154177>
- Betancur, S. A. F. (1996). Legados de saber sobre lo acuático: perspectiva pedagógica. *Educación Física y Deporte*, 18(2), 65-73.
- Black, G. L. (2005). *Estudo comparativo entre respostas eletromiográficas realizado com exercícios de velocidade e resistência variável no meio líquido*. (Tesis de

- Master, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil).
Recuperado a partir de <http://hdl.handle.net/10183/9979>
- Borreani, S., Colado, J. C., Calatayud, J., Pablos, C., Moya-Nájera, D., & Triplett, N. T. (2014). Aquatic resistance training: Acute and chronic effects. *Strength and Conditioning Journal*, 36(3), 48-61.
<http://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000056>
- Brandt, M., Jakobsen, M. D., Thorborg, K., Sundstrup, E., Jay, K., & Andersen, L. L. (2013). Perceived loading and muscle activity during hip strengthening exercises: Comparison of elastic resistance and machine exercises. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 8(6), 811-819.
- Bressel, E., Dolny, D. G., & Gibbons, J. (2011). Trunk muscle activity during exercises performed on land and in water. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(10), 1927-1932. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318219dae7>
- Bressel, E., Dolny, D. G., Vandenberg, C., & Cronin, J. B. (2012). Trunk muscle activity during spine stabilization exercises performed in a pool. *Physical Therapy in Sports*, 13(2), 67-72. <http://doi.org/10.1016/j.ptsp.2011.06.002>
- Burden, A. (2010). How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? What we have learned from over 25 years of research. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(6), 1023-1035.
<http://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.07.004>
- Cadore, E. L., Lhullier, F. L. R., Alberton, C. L., Almeida, A. P. V., Sapata, K. B., Korzenowski, A. L., & Kruehl, L. F. (2009). Salivary hormonal responses to different water-based exercise protocols in young and elderly men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(9), 2695-2701.
<http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bc18b1>

- Camerino, O. (2000). *Deporte recreativo*. Barcelona: Inde.
- Cardoso, A. S., Mazo, G. Z., & Balbé, G. P. (2010). Níveis de força em mulheres idosas praticantes de hidroginástica: um estudo de dois anos. *Motriz: revista de educação física*, *16*(1), 86-94.
- Cardoso, A. S., Tartaruga, L. P., Barella, R. E., Brentano, M. A., & Krueel, L. F. (2004). Effects of a deep water training program on women's muscle strength. *Journal of the International Federation of Physical Education*, *74*(Journal Article), 589-592.
- Carnero, C. (1990). Resumen histórico de la natación española. En M. Gosálvez (Ed.), *Natación* (pp. 11-34). Madrid: Comité Olímpico Español.
- Carrasco, M., & Vaquero, M. (2011). Training in a shallow pool: Its effect on upper extremity strength and total body weight in postmenopausal women. *International SportMed Journal*, *12*(1), 17-29.
- Carrasco, M., & Vaquero, M. (2012). Water training in postmenopausal women: Effect on muscular strength. *European Journal of Sport Science*, *12*(2), 193-200. <http://doi.org/10.1080/17461391.2010.551414>
- Carvalho, R. G., Amorim, C. F., Perácio, L. H., Coelho, H. F., Vieira, A. C., Karl Menzel, H. J., & Szmuchrowski, L. A. (2010). Analysis of various conditions in order to measure electromyography of isometric contractions in water and on air. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *20*(5), 988-993. <http://doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.12.002>
- Castillo, R., & Cuesta, A. (2013). A comparison land-water environment of maximal voluntary isometric contraction during manual muscle testing through surface electromyography. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *5*(1), 28. <http://doi.org/10.1186/2052-1847-5-28>

- Castillo, R., Cuesta, A., & Gabel, C. P. (2014). Analysis of arm elevation muscle activity through different movement planes and speeds during in-water and dry-land exercise. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 23(2), 159-165. <http://doi.org/10.1016/j.jse.2013.04.010>
- Chang, W.-D., Lin, H.-Y., & Lai, P.-T. (2015). Core strength training for patients with chronic low back pain. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(3), 619-622. <http://doi.org/10.1589/jpts.27.619>
- Chomiak, J., Junge, A., Peterson, L., & Dvorak, J. (2000). Severe injuries in football players. Influencing factors. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(5 Suppl), S58-68.
- Chu, K. S., & Rhodes, E. C. (2001). Physiological and cardiovascular changes associated with deep water running in the young: Possible implications for the elderly. *Sports Medicine*, 31(1), 33-46. <http://doi.org/10.2165/00007256-200131010-00003>
- Chulvi, I., García-Masso, X., Colado, J. C., Pablos, C., de Moraes, J. A., & Fuster, M. A. (2010). Deadlift muscle force and activation under stable and unstable conditions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2723-2730. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181f0a8b9>
- Colado, J. C. (1996). *Fitness en las salas de musculación*. Barcelona: Inde.
- Colado, J. C. (2002). Contextualización, definición y características de la gimnasia acuática. *Apunts: Educación física y deportes*, (70), 64-76.
- Colado, J. C. (2004). *Acondicionamiento físico en el medio acuático*. Barcelona: Paidotribo.

- Colado, J. C. (2008). Criterios metodológicos para el entrenamiento de fuerza en el medio acuático. En A. Jiménez (Ed.), *Nuevas dimensiones en el entrenamiento de la fuerza* (pp. 383-422). Barcelona: Inde.
- Colado, J. C., Borreani, S., Pinto, S. S., Tella, V., Martín, F., Flandez, J., & Krueel, L. F. (2013). Neuromuscular responses during aquatic resistance exercise with different devices and depths. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(12), 3384-3390. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182915ebe>
- Colado, J. C., & Chulvi, I. (2008). Criterios para la planificación y el desarrollo de programas de acondicionamiento muscular en el ámbito de la salud. En P. L. Rodríguez (Ed.), *Ejercicio Físico en Salas de Acondicionamiento Muscular: Bases Científico-Médicas para una Práctica Segura y Saludable* (pp. 91-128). Madrid: Médica Panamericana.
- Colado, J. C., Escudero, J. M., Nacleiro, F., & Chulvi, I. (2006). Comparison of the muscular activation achieved by resistance exercises carried out in water and on dry land. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), e22.
- Colado, J. C., Garcia-Masso, X., González, L.-M., Triplett, N. T., Mayo, C., & Merce, J. (2010). Two-leg squat jumps in water: An effective alternative to dry land jumps. *International Journal of Sports Medicine*, 31(2), 118-122. <http://doi.org/10.1055/s-0029-1242814>
- Colado, J. C., García-Masso, X., Rogers, M. E., Tella, V., Benavent, J., & Dantas, E. H. (2012). Effects of aquatic and dry land resistance training devices on body composition and physical capacity in postmenopausal women. *Journal of Human Kinetics*, 32, 185-194. <http://doi.org/10.2478/v10078-012-0035-3>
- Colado, J. C., Garcia-Masso, X., Triplett, N. T., Moya-Najera, D., Borreani, S., Lizandra, J., & Blanes, R. M. (2010). Comparison of the vertical ground reaction

- forces during one and two leg squat jump in the aquatic medium and dry land. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(5), 528-529. <http://doi.org/10.1249/01.MSS.0000385297.50486.8e>
- Colado, J. C., & Moreno, J. A. (2001). *Fitness acuático*. Barcelona: Inde.
- Colado, J. C., Moreno, J. A., & Vidal, J. (2000). Fitness acuático: una alternativa a las gimnasias de mantenimiento. *Apunts: Educación física y deportes*, (62), 68-81.
- Colado, J. C., Pablos, C., Chulvi-Medrano, I., Garcia-Masso, X., Flandez, J., & Behm, D. G. (2011). The progression of paraspinal muscle recruitment intensity in localized and global strength training exercises is not based on instability alone. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 92(11), 1875-1883. <http://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.05.015>
- Colado, J. C., & Tella, V. (2006). Effects of water currents on the muscular activation of certain trunk stabilizing muscles. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87(10), e30-e31.
- Colado, J. C., Tella, V., & Triplett, N. T. (2008). A method for monitoring intensity during aquatic resistance exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(6), 2045-2049. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31817ae71f>
- Colado, J. C., Tella, V., Triplett, N. T., & González, L. M. (2009). Effects of a short-term aquatic resistance program on strength and body composition in fit young men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 549-559. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31818eff5d>
- Colado, J. C., & Triplett, N. T. (2009). Monitoring the intensity of aquatic resistance exercises with devices that increase the drag force: An update. *Strength and Conditioning Journal*, 31(3), 94-100. <http://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181a605b2>

- Colado, J. C., Triplett, N. T., Tella, V., Saucedo, P., & Abellán, J. (2009). Effects of aquatic resistance training on health and fitness in postmenopausal women. *European Journal of Applied Physiology*, *106*(1), 113-122. <http://doi.org/10.1007/s00421-009-0996-7>
- Costa, G., Afonso, S., Bragada, J. A., Reis, V. M., & Barbosa, T. M. (2008). Estudo comparativo das adaptações fisiológicas agudas durante a execução de três variantes de um exercício básico de Hidroginástica. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, *10*(4), 323-329. <http://doi.org/10.5007/1980-0037.2008v10n4p323>
- Costa, G., Alfonso, S., Bragada, J. A., Reis, V. M., & Barbosa, T. M. (2008). Comparison of acute physiological adaptations between three variants of a basic head-out water exercise. *Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance*, *10*(4), 323-329. <http://doi.org/10.5007/1980-0037.2008v10n4p323>
- Costill, D. L., Maglischo, E. W., & Richardson, A. B. (1994). *Natacion*. Barcelona: Editorial Hispano Europa.
- Cram, J. R. (2011). *Cram's introduction to surface electromyography*. (E. Criswell, Ed.) (2nd ed). Sudbury, MA: Jones and Bartlett.
- Cuesta, A., & Cano, C. (2014). Surface electromyography during physical exercise in water: A systematic review. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *6*(1), 6-13. <http://doi.org/10.1186/2052-1847-6-15>
- Cuesta, A., Cano, C., & Heywood, S. (2013). Analysis of the neuromuscular activity during rising from a chair in water and on dry land. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *23*(6), 1446-1450. <http://doi.org/10.1016/j.jelekin.2013.06.001>

- Cugusi, L., Cadeddu, C., Nocco, S., Orrù, F., Bandino, S., Deidda, M., ... Mercurio, G. (2015). Effects of an aquatic-based exercise program to improve cardiometabolic profile, quality of life, and physical activity levels in men with type 2 diabetes mellitus. *PM&R*, 7(2), 141-148. <http://doi.org/10.1016/j.pmrj.2014.09.004>
- Deban, S. M., & Schilling, N. (2009). Activity of trunk muscles during aquatic and terrestrial locomotion in *Ambystoma maculatum*. *Journal of Experimental Biology*, 212(18), 2949-2959. <http://doi.org/10.1242/jeb.032961>
- Delmore, R. J., Laudner, K. G., & Torry, M. R. (2014). Adductor longus activation during common hip exercises. *Journal of Sport Rehabilitation*, 23(2), 79-87. <http://doi.org/10.1123/JSR.2012-0046>
- De Souza, A. S., Pinto, S. S., Kanitz, A. C., Rodrigues, B. M., Alberton, C. L., Da Silva, E. M., & Krueel, L. F. (2012). Physiological comparisons between aquatic resistance training protocols with and without equipment. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(1), 276-283. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31821f48bf>
- De Souza, A. S., Rodrigues, B. M., Hirshammann, B., Graef, F. I., Tiggemann, C. L., & Krueel, L. F. (2010). Treinamento de força no meio aquático em mulheres jovens. *Motriz. Revista de Educação Física. UNESP*, 16(3), 649-657. <http://doi.org/10.5016/1980-6574.2010v16n3p649>
- Donoghue, O. A., Shimojo, H., & Takagi, H. (2011). Impact forces of plyometric exercises performed on land and in water. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 3(3), 303-309. <http://doi.org/10.1177/1941738111403872>
- Dowzer, C. N., Reilly, T., & Cable, N. T. (1998). Effects of deep and shallow water running on spinal shrinkage. *British Journal of Sports Medicine*, 32(1), 44-48.

- Dvorak, J., & Junge, A. (2000). Football injuries and physical symptoms. A review of the literature. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(5 Suppl), S3-9.
- Ekstrom, R. A., Donatelli, R. A., & Carp, K. C. (2007). Electromyographic analysis of core trunk, hip, and thigh muscles during 9 rehabilitation exercises. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 37(12), 754-762. <http://doi.org/10.2519/jospt.2007.2471>
- Feldwieser, F. M., Sheeran, L., Meana-Esteban, A., & Sparkes, V. (2012). Electromyographic analysis of trunk-muscle activity during stable, unstable and unilateral bridging exercises in healthy individuals. *European Spine Journal*, 21(Suppl 2), 171-186. <http://doi.org/10.1007/s00586-012-2254-7>
- Fontana, H. de B., Ruschel, C., Hauptenthal, A., Hubert, M., & Roesler, H. (2015). Ground reaction force and cadence during stationary running sprint in water and on land. *International Journal of Sports Medicine*, 36(06), 490-493. <http://doi.org/10.1055/s-0034-1398576>
- Fujisawa, H., Suenaga, N., & Minami, A. (1998). Electromyographic study during isometric exercise of the shoulder in head-out water immersion. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et Al.]*, 7(5), 491-494.
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I.-M., ... Swain, D. P. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(7), 1334-1359. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb>

- García-Ferrando, M. (2006). Veinticinco años de análisis del comportamiento deportivo de la población española (1980-2005). *Revista Internacional de Sociología*, *LXIV*(44). <http://doi.org/10.3989/ris.2006.i44.26>
- García-Ferrando, M., & Llopis, R. (2011). *Ideal democrático y bienestar personal: encuesta sobre los hábitos deportivos en España 2010*. Madrid: Consejo Superior de Deportes, Centro de Investigaciones Sociológicas.
- García, J. A., & Vaticón, M. D. (2008). Organización funcional del sistema motor. En J. López Chicharro & A. Fernández Vaquero (Eds.), *Fisiología del ejercicio* (pp. 35-50). Buenos Aires: Médica Panamericana.
- García-Vaquero, M. P., Moreside, J. M., Brontons-Gil, E., Peco-González, N., & Vera-García, F. J. (2012). Trunk muscle activation during stabilization exercises with single and double leg support. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *22*(3), 398-406. <http://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.02.017>
- González, C., & Sebastián, E. (2000). *Actividades acuáticas recreativas*. Madrid: Inde.
- Goodman, C. A., Pearce, A. J., Nicholes, C. J., Gatt, B. M., & Fairweather, I. H. (2008). No difference in 1RM strength and muscle activation during the barbell chest press on a stable and unstable surface. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *22*(1), 88-94. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31815ef6b3>
- Graef, F. I., & Krueel, L. F. M. (2006). Heart rate and perceived exertion at aquatic environment: Differences in relation to land environment and applications for exercise prescription-a review. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, *12*(4), 221-228.
- Graef, F. I., Pinto, S. S., Alberton, C. L., De Lima, W. C., & Krueel, L. F. (2010). The effects of resistance training performed in water on muscle strength in the

- elderly. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(11), 3150-3156.
<http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e2720d>
- Granacher, U., Gollhofer, A., Hortobágyi, T., Kressig, R. W., & Muehlbauer, T. (2013). The importance of trunk muscle strength for balance, functional performance, and fall prevention in seniors: a systematic review. *Sports Medicine*, 43(7), 627-641. <http://doi.org/10.1007/s40279-013-0041-1>
- Granacher, U., Schellbach, J., Klein, K., Prieske, O., Baeyens, J.-P., & Muehlbauer, T. (2014). Effects of core strength training using stable versus unstable surfaces on physical fitness in adolescents: A randomized controlled trial. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 6(1), 40. <http://doi.org/10.1186/2052-1847-6-40>
- Hall, J., Macdonald, I. A., Maddison, P. J., & O'Hare, J. P. (1998). Cardiorespiratory responses to underwater treadmill walking in healthy females. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77(3), 278-284. <http://doi.org/10.1007/s004210050333>
- Hanna, C. M., Fulcher, M. L., Elley, C. R., & Moyes, S. A. (2010). Normative values of hip strength in adult male association football players assessed by handheld dynamometry. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(3), 299-303. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.05.001>
- Hauptenthal, A., Fontana, H. de B., Ruschel, C., dos Santos, D. P., & Roesler, H. (2013). Ground reaction forces in shallow water running are affected by immersion level, running speed and gender. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(4), 348-352. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.08.006>
- Hermens, J. H., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C., & Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal*

- of Electromyography and Kinesiology*, 10(5), 361-374.
[http://doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00027-4](http://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00027-4)
- Hodges, P. W., & Richardson, C. A. (1997). Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Physical Therapy*, 77(2), 132-142.
- Izquierdo, M., González, J. J., & Gorostiaga, M. (2008). Prescripción del entrenamiento de fuerza. En J. López Chicharro & A. Fernández Vaquero (Eds.), *Fisiología del ejercicio* (pp. 143-155). Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Izquierdo, M., González, J. J., Ibáñez, J., Alonso, A., & Gorostiaga, M. (2008). Entrenamiento de la fuerza: Adaptaciones neuromusculares y hormonales. En J. López Chicharro & A. Fernández Vaquero (Eds.), *Fisiología del ejercicio* (pp. 156-180). Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Jackson, J., Karavatas, S. G., Greene, R. A., Brown-White, P., & Burnet, C. (2014). A systematic review of the benefits of land-based exercise compared to aquatic exercise in increasing cardiovascular endurance. *Journal of the National Society of Allied Health*, 11(12), 55-61.
- Kadi, F., Buskqvist, L., Sjöholm, O., Folkesson, M., Karlsson, S. J., & Gerdle, B. (2006). Strength, muscular endurance and EMG characteristics of thigh adductors. *Isokinetics and Exercise Science*, 14(3), 235-239.
- Kalpakcioglu, B., Candir, F., Bernateck, M., Gutenbrunner, C., & Fisher, M. J. (2009). Does local immersion in thermo-neutral bath influence surface EMG measurements? Results of an experimental trial. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(6), e550-e553. <http://doi.org/10.1016/j.jelekin.2008.09.006>
- Kamalakkanna, K., Azeem, K., & Arumuga, C. (2011). The effect of aquatic plyometric training with and without resistance on selected physical fitness variables among volleyball players. *Journal of Physical Education and Sport*, 11(2), 205-210.

- Kaneda, K., Sato, D., Wakabayashi, H., & Nomura, T. (2009). EMG activity of hip and trunk muscles during deep-water running. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(6), 1064-1070. <http://doi.org/10.1016/j.jelekin.2008.11.001>
- Kanitz, A. C., Liedtke, G. V., Pinto, S. S., Alberton, C. L., & Krueel, L. F. M. (2014). Cardiorespiratory responses during deep water running with and without horizontal displacement at different cadences. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, 7(4), 149-154. <http://doi.org/10.1016/j.ramd.2014.07.002>
- Kanitz, A. C., Reichert, T., Liedtke, G. V., Pinto, S. S., Alberton, C. L., Antunes, A. H., ... Krueel, L. F. M. (2014). Maximal and anaerobic threshold cardiorespiratory responses during deepwater running. *Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance*, 17(1), 41-50. <http://doi.org/10.5007/1980-0037.2015v17n1p41>
- Katsura, Y., Yoshikawa, T., Ueda, S., Usui, T., Sotobayashi, D., Nakao, H., ... Fujimoto, S. (2010). Effects of aquatic exercise training using water-resistance equipment in elderly. *European Journal of Applied Physiology*, 108(5), 957-964. <http://doi.org/10.1007/s00421-009-1306-0>
- Kelly, B. T., Roskin, L. A., Kirkendall, D. T., & Speer, K. P. (2000). Shoulder muscle activation during aquatic and dry land exercises in nonimpaired subjects. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 30(4), 204-210. <http://doi.org/10.2519/jospt.2000.30.4.204>
- Kendall, F. P., McCreary, E. K., Provance, P. G., Rodgers, M. M., & Romani, W. A. (2005). *Muscles: Testing and function with posture and pain* (Vol. 5). Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.

- Kibler, W. B., Press, J., & Sciascia, A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports Medicine*, 36(3), 189-198. <http://doi.org/10.2165/00007256-200636030-00001>
- Killgore, G. L. (2012). Deep-water running: A practical review of the literature with an emphasis on biomechanics. *The Physician and Sportsmedicine*, 40(1), 116-126. <http://doi.org/10.3810/psm.2012.02.1958>
- Kobak, M., Rebold, M., DeSalvo, R., & Otterstetter, R. (2015). A comparison of aquatic- vs. land-based plyometrics on various performance variables. *International Journal of Exercise Science*, 8(2), 134-144.
- Koury, J. M. (1998). *Acuaterapia: guía de rehabilitación y fisioterapia en lapiscina*. (C. Méndez-Bauer, Trad.) (1a ed). Barcelona: Bellaterra.
- Kruel, L. F., Barella, R. E., Graef, F. I., Brentano, M. A., Figueiredo, P. A., Cardoso, A. S., & Severo, C. R. (2005). Efeitos de um treinamento de força aplicado em mulheres praticantes de hidroginástica. *Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício*, 4(1), 32-38.
- Landow, L., & Haff, G. G. (2012). Use of stability balls in strength and conditioning. *Strength and Conditioning Journal*, 34(1), 48-49. <http://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3182441b9f>
- Lee, S.-B., & An, K.-N. (2002). Dynamic Glenohumeral Stability Provided by Three Heads of the Deltoid Muscle. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 400, 40-47. <http://doi.org/10.1097/00003086-200207000-00006>
- Leetun, D. T., Ireland, M. L., Willson, J. D., Ballantyne, B. T., & Davis, I. M. (2004). Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(6), 926-934. <http://doi.org/10.1249/01.MSS.0000128145.75199.C3>

- Lehman, G. J., & McGill, S. M. (1999). The importance of normalization in the interpretation of surface electromyography: A proof of principle. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 22(7), 444-446.
- Lim, J. Y., Tchai, E., & Jang, S.-N. (2010). Effectiveness of aquatic exercise for obese patients with knee osteoarthritis: A randomized controlled trial. *PM&R*, 2(8), 723-731. <http://doi.org/10.1016/j.pmrj.2010.04.004>
- Lim, K. I., Hwnagbo, G., Nam, H. C., & Cho, Y. H. (2014). Comparison of the effects on dynamic balance ability of warming up in water versus on the ground. *Journal of Physical Therapy Science*, 26(4), 575-578. <http://doi.org/10.1589/jpts.26.575>
- Lippert-Grüner, M. (2002). Paresis, historical therapy in the perspective of caelius aurelianus, with special reference to the use of hydrotherapy in antiquity. *Journal of the History of the Neurosciences*, 11(2), 105-109. <http://doi.org/10.1076/jhin.11.2.105.15192>
- Llana, S. (2002). Resistencia hidrodinámica en Natación. *Rendimientodeportivo.com*, 2. Recuperado a partir de <http://rendimientodeportivo.com/web/N002/Artic010.htm>
- Llana, S., & Pérez, P. (Eds.). (2007). *Natación y actividades acuáticas*. Alcoy: Marfil ; Universidad de Valencia.
- Llana, S., Pérez, P., & Aparicio, I. (2011). Historia de la Natación I: Desde la Prehistoria hasta la Edad Media. *Citius, altius, fortius: humanismo, sociedad y deporte: investigaciones y ensayos*, 4(2), 51-84.
- Llana, S., Pérez, P., Del Valle, A., & Sala, P. (2012). Historia de la natación II: Desde el Renacimiento hasta la aparición y consolidación de los actuales estilos de

- competición. *Citius, altius, fortius: humanismo, sociedad y deporte: investigaciones y ensayos*, 5(1), 9-43.
- López, J. A., & Dorado, C. (2008). Fatiga, dolor muscular tardío y sobreentrenamiento. En J. López Chicharro & A. Fernández Vaquero (Eds.), *Fisiología del ejercicio* (pp. 755-810). Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Louder, T., Bressel, E., Baldwin, M., Dolny, D. G., Gordin, R., & Miller, A. (2014). Effect of aquatic immersion on static balance. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 8(1), 53-65. <http://doi.org/10.1123/ijare.2013-0014>
- Lovell, G. A., Blanch, P. D., & Barnes, C. J. (2012). EMG of the hip adductor muscles in six clinical examination tests. *Physical Therapy in Sport*, 13(3), 134-140. <http://doi.org/10.1016/j.ptsp.2011.08.004>
- Lu, M., Su, Y., Zhang, Y., Zhang, Z., Wang, W., He, Z., ... Zheng, N. (2015). Effectiveness of aquatic exercise for treatment of knee osteoarthritis: Systematic review and meta-analysis. *Zeitschrift Für Rheumatologie*, 74(6), 543-552. <http://doi.org/10.1007/s00393-014-1559-9>
- Maglischo, E. W. (2009). *Natación, técnica, entrenamiento y competición*. Barcelona: Paidotribo.
- Mann, L., Kleinpaul, J. F., Mota, C. B., & Santos, S. G. dos. (2014). Influence of aquatic exercise training on balance in young adults. *Fisioterapia Em Movimento*, 27(4), 573-581. <http://doi.org/10.1590/0103-5150.027.004.AO09>
- Martinez, F. V., Ghiorzi, V., Loss, J. F., & Gomes, L. E. (2011). Caracterização das cargas de flutuação de implementos de hidroginástica e hidroterapia. *Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte*, 10(1), 64-75.
- Martuscello, J. M., Nuzzo, J. L., Ashley, C. D., Campbell, B. I., Orriola, J. J., & Mayer, J. M. (2013). Systematic review of core muscle activity during physical fitness

- exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(6), 1684-1698.
<http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318291b8da>
- Massó, N., Rey, F., Romero, D., Gual, G., Tutusaus, L., & Germán, A. (2010). Aplicaciones de la electromiografía de superficie en el deporte. *Apunts: Medicina de l'esport*, 45(165), 127-136.
- Masumoto, K., Horsch, S., Agnelli, C., McClellan, J., & Mercer, J. A. (2013). Muscle activity during running in water and on dry land: Matched physiology. *International Journal of Sports Medicine*, 35(01), 62-68.
<http://doi.org/10.1055/s-0033-1345131>
- Masumoto, K., & Mercer, J. A. (2008). Biomechanics of human locomotion in water: An electromyographic analysis. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 36(3), 160-169. <http://doi.org/10.1097/JES.0b013e31817bfe73>
- Masumoto, K., Takasugi, S., Hotta, N., Fujishima, K., & Iwamoto, Y. (2004). Electromyographic analysis of walking in water in healthy humans. *Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY and Applied Human Science*, 23(4), 119-127. <http://doi.org/10.2114/jpa.23.119>
- Masumoto, K., Takasugi, S., Hotta, N., Fujishima, K., & Iwamoto, Y. (2005). Muscle activity and heart rate response during backward walking in water and on dry land. *European Journal of Applied Physiology*, 94(1-2), 54-61.
<http://doi.org/10.1007/s00421-004-1288-x>
- Matias, P., Costa, M., Marinho, D. A., Garrido, N., Silva, A., & Barbosa, T. (2013). Effects of a 12-wks aquatic training program in body posture and balance. *British Journal of Sports Medicine*, 47(10), e3-e3.
<http://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092558.55>

- McGill, S. M. (2002). *Low back disorders: evidence-based prevention and rehabilitation*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Meredith-Jones, K., Waters, D., Legge, M., & Jones, L. (2011). Upright water-based exercise to improve cardiovascular and metabolic health: A qualitative review. *Complementary Therapies in Medicine*, 19(2), 93-103. <http://doi.org/10.1016/j.ctim.2011.02.002>
- Moreno, J. A. (2000). Pasado, presente y futuro de las actividades acuáticas. En C. Águila, A. J. Casimiro, & A. Sicilia (Eds.), *Salidas profesionales y promoción en el ámbito de la actividad física y el deporte* (pp. 243-257). Almería: Universidad de Almería.
- Morgan, A., Weiss, J., & Kelley, E. (2015). Bone turnover response to acute exercise with varying impact levels: A preliminary investigation. *International Journal of Exercise Science*, 8(2). Recuperado a partir de <http://digitalcommons.wku.edu/ijes/vol8/iss2/6>
- Nakamura M., & Mizukami M. (2011). The electrical characteristics of the muscles surrounding the knee during underwater resistance training. *Rigakuryoho Kagaku*, 26(6), 725-730. <http://doi.org/10.1589/rika.26.725>
- Nuzzo, J. L., McCaulley, G. O., Cormie, P., Cavill, M. J., & McBride, J. M. (2008). Trunk muscle activity during stability ball and free weight exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 95-102. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31815ef8cd>
- Ovando, A. C., Eickhoff, H. M., Dias, J. A., & Winkelmann, E. R. (2009). Efeito da temperatura da água nas respostas cardiovasculares durante a caminhada aquática. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 15(6), 415-419. <http://doi.org/10.1590/S1517-86922009000700002>

- Palmer, R. (1990). «In this our lightye and learned tyme»: Italian baths in the era of the Renaissance. *Medical History. Supplement*, (10), 14-22.
- Panjabi, M. M. (1992). The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *Journal of Spinal Disorders*, 5(4), 383-389. <http://doi.org/10.1097/00002517-199212000-00001>
- Panjabi, M. M. (2003). Clinical spinal instability and low back pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(4), 371-379. [http://doi.org/10.1016/S1050-6411\(03\)00044-0](http://doi.org/10.1016/S1050-6411(03)00044-0)
- Pantoja, P. D., Alberton, C. L., Pilla, C., Vendrusculo, A. P., & Krueel, L. F. (2009). Effect of resistive exercise on muscle damage in water and on land. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(3), 1051-1054. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a00c45>
- Pérez, M. R., & Novoa, B. (2002). Historia del agua como agente terapéutico. *Fisioterapia*, 24, Supplement 2, 3-13. [http://doi.org/10.1016/S0211-5638\(01\)73022-2](http://doi.org/10.1016/S0211-5638(01)73022-2)
- Petrofsky, J., Baxter, J., Bomgaars, J., Burgert, C., Jacobs, S., Lyden, D., & Lohman, E. B. (2003). The influence of warm hydrotherapy on the cardiovascular system and muscle relaxation. *The Journal of Neurological and Orthopaedic Medicine and Surgery*, 21(3), 1-39.
- Pinto, S. S., Alberton, C. L., Bagatini, N. C., Zaffari, P., Cadore, E. L., Radaelli, R., ... Krueel, L. F. M. (2015). Neuromuscular adaptations to water-based concurrent training in postmenopausal women: effects of intrasession exercise sequence. *AGE*, 37(1). <http://doi.org/10.1007/s11357-015-9751-7>
- Pinto, S. S., Alberton, C. L., Cadore, E. L., Zaffari, P., Baroni, B. M., Lanferdini, F. J., ... Krueel, L. F. (2015). Water-based concurrent training improves peak oxygen

- uptake, rate of force development, jump height, and neuromuscular economy in young women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1846-1854. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000820>
- Pinto, S. S., Cadore, E. L., Alberton, C. L., Silva, E. M., Kanitz, A. C., Tartaruga, M. P., & Kruel, L. F. (2011). Cardiorespiratory and neuromuscular responses during water aerobics exercise performed with and without equipment. *International Journal of Sports Medicine*, 31(12), 916-923. <http://doi.org/10.1055/s-0031-1283176>
- Pinto, S. S., Cadore, E. L., Alberton, C. L., Zaffari, P., Bagatini, N. C., Baroni, B. M., ... Kruel, L. F. (2013). Effects of intra-session exercise sequence during water-based concurrent training. *International Journal of Sports Medicine*, 35(01), 41-48. <http://doi.org/10.1055/s-0033-1345129>
- Pinto, S. S., Liedtke, G. V., Alberton, C. L., Da Silva, E. M., Cadore, E. L., & Kruel, L. F. (2010). Electromyographic signal and force comparisons during maximal voluntary isometric contraction in water and on dry land. *European Journal of Applied Physiology*, 110(5), 1075-1082. <http://doi.org/10.1007/s00421-010-1598-0>
- 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. L., 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. <http://doi.org/10.1007/s004210050557>

- Pöyhönen, T., Kyröläinen, H., Keskinen, K. L., Hautala, A., Savolainen, J., & Mälkiä, E. (2001a). Electromyographic and kinematic analysis of therapeutic knee exercise under water. *Clinical Biomechanics*, *16*, 496-504. [http://doi.org/10.1016/S0268-0033\(01\)00031-6](http://doi.org/10.1016/S0268-0033(01)00031-6)
- Pöyhönen, T., Kyröläinen, H., Keskinen, K. L., Hautala, A., Savolainen, J., & Mälkiä, E. (2001b). Neuromuscular function during therapeutic knee exercise under water and on dry land. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *82*(10), 1446-1452.
- Pöyhönen, T., Sipilä, S., Keskinen, K. L., Hautala, A., Savolainen, J., & Mälkiä, E. (2002). Effects of aquatic resistance training on neuromuscular performance in healthy women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *34*(12), 2103-2109.
- Putnam, C. A. (1993). Sequential motions of body segments in striking and throwing skills: Descriptions and explanations. *Journal of Biomechanics*, *26*, 125-135. [http://doi.org/10.1016/0021-9290\(93\)90084-R](http://doi.org/10.1016/0021-9290(93)90084-R)
- Rainoldi, A., Cescon, C., Bottin, A., Casale, R., & Caruso, I. (2004). Surface EMG alterations induced by underwater recording. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *14*(3), 325-331. <http://doi.org/10.1016/j.jelekin.2003.10.002>
- Reed, C. A., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2012). The effects of isolated and integrated 'core stability' training on athletic performance measures: A systematic review. *Sports Medicine*, *42*(8), 697-706. <http://doi.org/10.2165/11633450-000000000-00000>
- Ricard, M. D., Ugrinowitsch, C., Parcell, A. C., Hilton, S., Rubley, M. D., Sawyer, R., & Poole, C. R. (2005). Effects of rate of force development on EMG amplitude and frequency. *International Journal of Sports Medicine*, *26*(01/02), 66-70. <http://doi.org/10.1055/s-2004-817856>

- Robinson, L. E., Devor, S. T., Merrick, M. A., & Buckworth, J. (2004). The effects of land vs. aquatic plyometrics on power, torque, velocity, and muscle soreness in women. *Journal of Strength*, 18(1), 84-91.
- Rodríguez, G., & Iglesias, R. (2002). Bases físicas de la hidroterapia. *Fisioterapia*, 24(Mong.2), 14-21.
- Saeterbakken, A. H., & Fimland, M. S. (2012). Muscle activity of the core during bilateral, unilateral, seated and standing resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 112(5), 1671-1678. <http://doi.org/10.1007/s00421-011-2141-7>
- Saeterbakken, A. H., & Fimland, M. S. (2013a). Electromyographic activity and 6RM strength in bench press on stable and unstable surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(4), 1101-1107. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182606d3d>
- Saeterbakken, A. H., & Fimland, M. S. (2013b). Muscle force output and electromyographic activity in squats with various unstable surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(1), 130-136. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182541d43>
- Sanders, M. E., Takeshima, N., Rogers, M. E., Colado, J. C., & Borreani, S. (2013). Impact of the S.W.E.A.T.TM Water-exercise method on activities of daily living for older women. *Journal of Sports Science & Medicine*, 12(4), 707-715.
- Santana, J. C., Vera-García, F. J., & McGill, S. M. (2007). A kinetic and electromyographic comparison of the standing cable press and bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1271-1279. <http://doi.org/10.1519/R-20476.1>

- Selepak, G. (2001). Terapia acuática en la rehabilitación. En W. E. Prentice, *Técnicas de rehabilitación en la medicina deportiva* (pp. 216-224). Barcelona: Paidotribo.
- Silvers, W. M., Bressel, E., Dickin, D. C., Killgore, G. L., & Dolny, D. G. (2014). Lower-extremity muscle activity during aquatic and land treadmill running at the same speeds. *Journal of Sport Rehabilitation*, 23(2), 107-122. <http://doi.org/10.1123/JSR.2013-0003>
- Silvers, W. M., & Dolny, D. G. (2010). Comparison and reproducibility of sEMG during manual muscle testing on land and in water. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(1), 95-101. <http://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.05.004>
- Simmons, V., & Hansen, P. D. (1996). Effectiveness of water exercise on postural mobility in the well elderly: an experimental study on balance enhancement. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 51A(5), M233-M238. <http://doi.org/10.1093/gerona/51A.5.M233>
- Staudenmann, D., Roeleveld, K., Stegeman, D. F., & Van Dieën, J. H. (2010). Methodological aspects of sEMG recordings for force estimation – A tutorial and review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(3), 375-387. <http://doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.08.005>
- Takeshima, N., Rogers, M. E., Watanabe, E., Brechue, W. F., Okada, A., Yamada, T., ... Hayano, J. (2002). Water-based exercise improves health-related aspects of fitness in older women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(3), 544-551. <http://doi.org/10.1097/00005768-200203000-00024>
- Tarnanen, S. P., Siekkinen, K. M., Häkkinen, A. H., Mälkiä, E. A., Kautiainen, H. J., & Ylinen, J. J. (2012). Core muscle activation during dynamic upper limb

- exercises in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(12), 3217-3224. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318248ad54>
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2010). *Física para la ciencia y la tecnología*. Barcelona: Reverté.
- Torres, L., & Schelling, X. (2014). The properties of water and their applications for training. *Journal of Human Kinetics*, 44(1), 237-248. <http://doi.org/10.2478/hukin-2014-0129>
- Triplett, N. T., Colado, J. C., Benavent, J., Alakhdar, Y., Madera, J., Gonzalez, L. M., & Tella, V. (2009). Concentric and impact forces of single-leg jumps in an aquatic environment versus on land. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(9), 1790-1796. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a252b7>
- Tsourlou, T., Benik, A., Dipla, K., Zafeiridis, A., & Kellis, S. (2006). The effects of a twenty-four-week aquatic training program on muscular strength performance in healthy elderly women. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 811. <http://doi.org/10.1519/R-18455.1>
- Tuero-Del Prado, C. E. (2013). De la mitología a los ritos: Génesis de la recreación acuática. *Recorde: Revista de História do Esporte*, 6(1), 1-40.
- Tuero-Del Prado, C. E. (2015). La configuración de la recreación acuática en España: Estudio de su evolución en el cambio de siglo. *Retos*, 27, 166-171.
- Veneziano, W. H., Da Rocha, A. F., Gonçalves, C. A., Pena, A. G., Carmo, J. C., Nascimento, F. A., & Rainoldi, A. (2006). Confounding factors in water EMG recordings: An approach to a definitive standard. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 44(4), 348-351. <http://doi.org/10.1007/s11517-006-0039-z>

- Vera-García, F. J. (2000). Función de los músculos Rectus Abdominis y Obliquus Externus Abdominis en el control de la postura erecta. En J. P. Fuentes & M. Macías (Eds.), *Libro de actas del I Congreso de la Asociación Española de Ciencias del Deporte, tomo I* (Vols. 1–Book, 1–Section, pp. 519-525). Cáceres: Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Extremadura.
- Vera-García, F. J., Barbado, D., Moreno-Pérez, V., Hernández-Sánchez, S., Juan-Recio, C., & Elvira, J. L. L. (2015). Core stability. Concepto y aportaciones al entrenamiento y la prevención de lesiones. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 8(2), 79-85. <http://doi.org/10.1016/j.ramd.2014.02.004>
- Vera-García, F. J., Moreside, J. M., & McGill, S. M. (2010). MVC techniques to normalize trunk muscle EMG in healthy women. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(1), 10-16. <http://doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.03.010>
- Volaklis, K. A., Spassis, A. T., & Tokmakidis, S. P. (2007). Land versus water exercise in patients with coronary artery disease: Effects on body composition, blood lipids, and physical fitness. *American Heart Journal*, 154(3), 560.e1-560.e6. <http://doi.org/10.1016/j.ahj.2007.06.029>
- Wahl, M. J., & Behm, D. G. (2008). Not all instability training devices enhance muscle activation in highly resistance-trained individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4), 1360-1370. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318175ca3c>
- Waller, B., Lambeck, J., & Daly, D. (2009). Therapeutic aquatic exercise in the treatment of low back pain: a systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 23(1), 3-14. <http://doi.org/10.1177/0269215508097856>
- Wang, T.-J., Belza, B., Elaine Thompson, F., Whitney, J. D., & Bennett, K. (2007). Effects of aquatic exercise on flexibility, strength and aerobic fitness in adults

- with osteoarthritis of the hip or knee. *Journal of Advanced Nursing*, 57(2), 141-152. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2006.04102.x>
- Weaver, H., Vichas, D., Strutton, P. H., & Sorinola, I. (2012). The effect of an exercise ball on trunk muscle responses to rapid limb movement. *Gait & Posture*, 35(1), 70-77. <http://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.08.009>
- Williams, M. A., Haskell, W. L., Ades, P. A., Amsterdam, E. A., Bittner, V., Franklin, B. A., ... Stewart, K. J. (2007). Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 Update. A scientific statement from the American Heart Association Council on clinical cardiology and council on nutrition, physical activity, and metabolism. *Circulation*, 116(5), 572-584. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185214>
- Willson, J. D., Dougherty, C. P., Ireland, M. L., & Davis, I. M. (2005). Core stability and its relationship to lower extremity function and injury. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 13(5), 316-325.
- Yazigi, F., Pinto, S. S., Colado, J. C., Escalante, Y., Armada-da-Silva, P. A. S., Brasil, R., & Alves, F. (2013). The cadence and water temperature effect on physiological responses during water cycling. *European Journal of Sport Science*, 13(6), 659-665. <http://doi.org/10.1080/17461391.2013.770924>
- Zapico, B., & Tuero-Del Prado, C. E. (2010). Análisis retrospectivo de los equipamientos acuáticos en España. *Recorde: Revista de História do Esporte*, 3(1), 1-36.
- Zazulak, B., Cholewicki, J., & Reeves, N. P. (2008). Neuromuscular control of trunk stability: Clinical implications for sports injury prevention. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 16(9), 497-505.

11. Anexos

Anexo 1: Consentimiento informado.VNIVERSITAT^{IS} VALÈNCIA**Formulario de consentimiento con conocimiento de causa****“Activación neuromuscular en un ejercicio de aducción de cadera en el medio acuático en función del material y la profundidad”**

El objetivo de esta prueba es comparar la respuesta neuromuscular ante diferentes estímulos de carga para el trabajo de fuerza en el medio acuático, como son el material de área, por una parte, y el material de flotación, por otra, además de la variación de la profundidad. Se registrará también la activación muscular de los músculos estabilizadores del tronco para comprobar su papel en este tipo de trabajo en el medio acuático. Para comprobarlo se empleará un registro electromiográfico de superficie. La manipulación de estos dispositivos será llevada a término por un grupo de investigadores perfectamente formados y capacitados para dicho fin. Estos procedimientos no causan daño alguno a las personas que a él se someten.

Consentimiento: He leído el objetivo y las características del estudio y consiento en tomar parte del mismo. Autorizo a que el grupo de investigación analice los resultados obtenidos en mi evaluación, filme gráficamente durante el desarrollo de dichas pruebas y que todo esto sea utilizado de forma anónima con una finalidad científica. También quedo informado de que me puedo retirar del estudio en cualquier momento.

Valencia, marzo de 2013

Firmado:

DNI:

Activación neuromuscular en un ejercicio de aducción de cadera
 en el medio acuático en función del material y la profundidad

Anexo 2. Ficha de recogida de datos de la muestra.

FECHA FAMILIARIZACION:			
SUJETO N°:			
NOMBRE:		APELLIDOS:	
PESO CORPORAL:		FECHA NACIMIENTO:	
ALTURA:		% GRASA:	
EXPERIENCIA PREVIA FUERZA:		EXPERIENCIA FUERZA MEDIO ACUÁTICO:	
MANO DOMINANTE:		PIE DOMINANTE:	
FECHA PRUEBA:		HORA INICIO: HORA FIN:	
Primer registro EMG		Último registro EMG	

Anexo 3. Distribución aleatoria de los ejercicios.

Sujeto	Orden de los ejercicios				
1	5	4	1	2	3
2	3	5	1	4	2
3	1	3	4	2	5
4	4	3	1	2	5
5	5	2	1	3	4
6	4	2	1	3	5
7	4	5	1	3	2
8	3	4	1	2	5
9	3	5	4	1	2
10	3	2	1	4	5
11	2	4	1	3	5
12	1	3	2	5	4
13	3	1	4	5	2
14	5	1	2	3	4
15	1	2	5	4	3
16	3	4	5	1	2
17	3	4	1	2	5
18	2	1	3	5	4
19	4	5	3	2	1
20	1	5	2	4	3
21	2	3	5	1	4
22	2	1	5	3	4

Activación neuromuscular en un ejercicio de aducción de cadera en el medio acuático en función del material y la profundidad

23	3	4	1	5	2
24	5	2	1	3	4
25	1	3	4	5	2
26	4	1	5	2	3
27	1	5	2	3	4
28	5	4	3	1	2
29	2	5	3	4	1
30	5	3	4	1	2

Anexo 4. Publicaciones derivadas de la presente tesis

Pósters y comunicaciones

- Borreani, S., Colado, J. C., Calatayud, J., Moya, D., Martin, .F, Furió, J. Lower extremity and core muscles activation during an aquatic resistance exercise performed with different devices. Book of abstracts of the 18th annual Congress of the European College of Sport Science, Barcelona, Spain. 26th-29th June 2013. ISBN: 978-84-695-7786-8

- Borreani, S., Colado, J. C., Furio, J., Martin, F., Benavent, J., Madera, X. Upper extremity and core muscle activation during an aquatic resistance exercise performed at different depths. *Medicine & Science in Sports and Exercise*. 2012; 44(5), 455-455

En revisión y pendiente de aceptación:

- Triplett N.T., Borreani S., Furio J., Calatayud J., Pinto S.S., Tella V., Colado J.C. Lower size of drag devices and less body immersion provokes higher angular velocities during aquatic strength exercises. 2016 NSCA National Conference.

Artículos

- Borreani, S., Colado, J. C., Furio, J., Martin, F., & Tella, V. (2014). Muscle Activation in Young Men During a Lower Limb Aquatic Resistance Exercise With Different Devices. *The Physician and Sportsmedicine*, 42(2), 80-87. <http://doi.org/10.3810/psm.2014.05.2060>

Factor de impacto: 1,5

Activación neuromuscular en un ejercicio de aducción de cadera
en el medio acuático en función del material y la profundidad

Anexo 5: Modelo informático de Matlab 7.0 para el tratamiento de señales de EMGs.

```
%VARIABLES
nombre_pruebas='sujeto_';

%vector que almacena datos correspondientes a actividades
actividad = zeros();

%vectores con las características de las actividades:
picos_iso = zeros(6,7); %inicio de la act, final de act, duracion de act,
momento del pico maximo, valor del pico maximo
picos_mov = zeros(6,4); %inicio de la act, final de act, duracion de act, valor
del pico maximo

%vector de segundo central para pruebas de isometria
seg_central = zeros(1000,1);

%matrices finales
final1 = zeros(15,6);
final2 = zeros(15,6);

%para asegurarnos de que es una actividad y no un pico, se comprueba que la
duración sea mayor que cierto 'tiempo'
frec=1000; %en hercios
tiempo=0.5; %segundos mínimos para considerar actividad
t=frec*tiempo;
act=0; %para controlar el numero de actividades en las pruebas de iso

%variables del ruido inicial - el ruido inicial se toma como los valor_ruido
%primeros valores para cada musculo
valor_ruido_mov=1000;
valor_ruido_iso=10;
umbral_ruido=3; %controla en el ruido inicial posibles picos (cuanto mayor sea,
mayores picos aceptará)

%PROGRAMA

for a=1:16%16 %de 1 al numero de pruebas realizadas
    %cargar datos de las pruebas del sujeto
    A=strcat(nombre_pruebas,num2str(a));
    B=strcat(A, '.ASC');
    D=importdata(B, '\t', 60);

    %'datos' es D pero solo los datos validos (sin letras ni NAN)
    datos=D.data(:,2:end);

    %filtro la señal y saco RMS
    x=filter(filtro2,datos);
    RMS = rms_emg (x,100);

    %numero de musculos = numero de columnas
    tam_RMS=size(RMS);
    col_RMS=tam_RMS(2);

    %    %representar todos los RSM de los musculos de las pruebas
```

```

% figure
% for b=1:col_RMS
%     subplot(3,3,b)
%     plot(RMS(:,b))
% end

z=1;%controla los valores de los picos máximos encontrados

%para cada músculo se obtienen las características de la señal
for i=1:col_RMS
    %cada musculo corresponde a una columna de datos
    musculo=RMS(:,i);

    %CALCULO DEL RUIDO INICIAL
    if ((a>=1)&&(a<=6)) %pruebas de isometria
        ruido=RMS(1:valor_ruido_iso,i);
    end
    if((a>=7)&&(a<=15)) %pruebas de movimiento
        ruido=RMS(1:valor_ruido_mov,i);
    end
    media_ruido=mean(ruido); %media del ruido

    %calculo del ruido maximo eliminando posibles picos en el ruido
    ruido_max=0; %se inicializa aqui porque para cada musculo el ruido
maximo será distinto
    %el ruido maximo tiene que ser superior al ya existente y ser menor
    %que 'umbral_ruido' veces la media del ruido
    if ((a>=1)&&(a<=6))
        for j=1:valor_ruido_iso

if((ruido(j)>ruido_max)&&(ruido(j)<abs(umbral_ruido*media_ruido)))
            ruido_max=ruido(j);
        end
        end
    end
    if((a>=7)&&(a<=15))
        for j=1:valor_ruido_mov

if((ruido(j)>ruido_max)&&(ruido(j)<abs(umbral_ruido*media_ruido)))
            ruido_max=ruido(j);
        end
        end
    end
    ruido_max=ruido_max*2;

    %IDENTIFICACION DE LOS PICOS MAXIMOS
    tam_musculo=size(musculo);
    fil_musculo=tam_musculo(1);%numero de datos para cada musculo
    k=1;%controla los valores de la actividad, su duracion

    for j=1:fil_musculo
        %el comienzo de la actividad se produce cuando se supera el ruido
maximo
        if((musculo(j)>ruido_max)&&(j<fil_musculo))
            if m==0
                m=j;%para indicar el comienzo de la actividad
            end
            actividad(k)=musculo(j);%se copian todos los datos de la
actividad, valores que son superiores al ruido_max

```

Activación neuromuscular en un ejercicio de aducción de cadera
en el medio acuático en función del material y la profundidad

```
k=k+1;

else %cuando acaba la actividad
    if k>t %la actividad es realmente una actividad, si no,
    simplemente se reinician las variables
        if ((a>=1)&&(a<=6)) %pruebas de isometria
            if(k>3000) %si la actividad es mayor de 3 segundos
                picos_iso(i,1)=m; %inicio de la actividad
                picos_iso(i,2)=j; %final de la actividad
                picos_iso(i,3)=k-1; %duración de la actividad

                %generar el segundo central
                for l=1:1000
                    seg_central(l)=actividad(floor(k/2)+l-500);
                end

                pico_max_seg_central=0;

                %obtener el pico maximo en el segundo central
                for l=1:1000
                    if(seg_central(l)>pico_max_seg_central)
                        pico_max_seg_central=seg_central(l);
                        t_seg_central=m+floor(k/2)+l-501;
                    end
                end

                %momentos inicial y final del segundo central
                picos_iso(i,4)=m+floor(k/2)-500;
                picos_iso(i,5)=m+floor(k/2)+500;
                picos_iso(i,6)=t_seg_central; %tiempo del maximo
                pico en el segundo central
                picos_iso(i,7)=pico_max_seg_central; %maximo pico
                en el segundo central

                z=z+1;
                act=act+1;
            end
        end

        if((a>=7)&&(a<=15)) %pruebas de movimiento
            picos_mov(z,1)=m;
            picos_mov(z,2)=j;
            picos_mov(z,3)=k;
            picos_mov(z,4)=max(actividad);
            z=z+1;
        end
    end

    %reiniciar variables de control
    m=0;
    k=1;
    actividad = zeros();

end %final del analisis de una actividad

end %final del analisis de toda una grafica

if act>1 %si existen varios picos en iso, poner a cero y que lo mire
    picos_iso(i,1)=0;
```

```

        picos_iso(i,2)=0;
        picos_iso(i,3)=0;
        picos_iso(i,4)=0;
        picos_iso(i,5)=0;
        picos_iso(i,6)=0;
        picos_iso(i,7)=0;
    end
    act=0;

    if (z==4)
        if((a>=7)&&(a<=15)) %pruebas de movimiento
            %media de los 3 picos
            final1(a,i)=mean(picos_mov(1:z-1,4));
            %pico maximo de los 3
        end
    end
    if((picos_mov(1,4)==0)&&(picos_mov(2,4)==0)&&(picos_mov(3,4)==0))
        final2(a,i)=0;
    else
        final2(a,i)=max(picos_mov(1:z-1,4));
    end
end
else
    final1(a,i)=0;
    final2(a,i)=0;
end

picos_mov = zeros(6,4);
z=1;

end %final de un musculo

if ((a>=1)&&(a<=6)) %pruebas de isometria
    for p=1:6
        final1(a,p)=picos_iso(p,7);
        final2(a,p)=picos_iso(p,7);
    end
end

%reiniciar variables
picos_iso = zeros(6,7);

end
final1
final2

```