

Revisión de la biomecánica de la marcha en medio acuático vs. terrestre

Review of gait biomechanics in aquatic vs. land environment

Cristina Cadenas-Sánchez, Raúl Arellano, Gracia López-Contreras
Universidad de Granada (España)

Resumen. El objetivo del presente artículo ha sido revisar la bibliografía relacionada con las características espacio-temporales y angulares de la marcha en el medio acuático y terrestre. La búsqueda de artículos se realizó en las bases de datos PubMed, MedLine, y Web of Science y revistas científicas específicas. Las palabras claves utilizadas fueron: biomechanical, kinematics, water, land, walking, gait, stride, entre otras. De los 165 resultados obtenidos inicialmente, 20 documentos fueron los seleccionados para nuestra revisión y posterior análisis. Los aspectos de refinado fueron los tipos de documentos, categorías, resúmenes y títulos. Se analizaron todos los artículos en función de sus objetivos, muestra, intervención, variables, resultados y conclusiones. Finalmente, se profundizó y discutió aquellos trabajos científicos que evaluaban los parámetros biomecánicos de la marcha: longitud de ciclo, longitud de paso, frecuencia, duración del ciclo de la marcha, velocidad, ancho de paso, simetría, ángulos y duración de la fase de apoyo.

Palabras clave. Caminar, agua, tierra, rehabilitación, análisis espacio-temporal, cinemática.

Abstract. The aim of this article was to review the literature on the spatiotemporal and angular characteristics of gait in the aquatic and land environment. The search was performed in databases such as PubMed and Web of Science and scientific journals our specific topic. The key words used were: biomechanics, kinematics, water, land, walking, gait, stride, among others. Of the 165 initial results, 20 papers were selected for our review and subsequent analysis. The aspects of refined were the types of documents, categories, abstracts and titles. All the articles were analyzed in terms of their objectives, sample, intervention, variables, results and conclusions. Finally, we deepened and discussed scientific works that evaluated kinematics parameters of walking: stride length, step length, frequency, stride duration, speed, step width, symmetry, angles and support phase duration.

Key words. Walking, water, land, rehabilitation, spatiotemporal analysis, kinematic.

Introducción

Caminar es una de las formas más comunes de actividad física, con beneficios documentados para la salud (Haskell et al., 2007; Kahn et al., 2002; Lee y Buchner, 2008). La marcha, definida como el paso bípedo que utiliza la raza humana para desplazarse de un lugar a otro, con bajo esfuerzo y mínimo consumo energético, constituye un elemento característico que identifica a todo sujeto pues permite revelar aspectos y parámetros individuales, la condición de salud, autoestima y situaciones emocionales de cada persona (Daza, 2007).

Se considera que más que el desarrollo de un reflejo innato es un proceso aprendido que vamos desarrollando en fases sucesivas desde la niñez hasta llegar a alcanzar un verdadero control neural en la edad adulta (Viladot, 2001).

Aunque las diferencias entre individuos pueden ser grandes, las diferencias en las mediciones angulares durante la marcha son pequeñas. De otra parte, un mismo sujeto adapta la marcha en función del terreno en el que se mueve, su estado físico, discapacidad, calzado que utiliza, velocidad a la que camina o incluso el propio estado emocional.

Para poder evaluar las características de un determinado patrón de marcha, en el ámbito clínico, la medida objetiva comúnmente utilizada versa en el análisis espacio-temporal de la marcha, siendo la velocidad y la simetría los principales indicadores de ello (Patterson, Gage, Brooks, Black y McIlroy, 2010; Patterson, Nadkarni, Black y McIlroy, 2012).

El medio acuático, por sus características, fines rehabilitadores, terapéuticos y de acondicionamiento, se está utilizando recientemente para realizar actividades de locomoción (Denning, Bressel y Dolny, 2010; Gharib, El-Maksoud y Rezk-Allah, 2011; Kim, Park y Shim, 2010; Masumoto et al., 2009; Prins y Cutner, 1999; Stevens y Morgan, 2010; Yildiz, 2012).

Desde una perspectiva biomecánica, hay dos razones principales que justifican los beneficios que se obtienen al caminar en el agua: por un lado, nos encontramos con la reducción del peso corporal debido a la fuerza de flotación, es decir, cuanto mayor sea la superficie corporal sumergida, menor será el peso

aparente; y por otro lado, el aumento de la resistencia al movimiento debido a la fuerza de resistencia ejercida por el agua sobre el cuerpo (Barela y Duarte, 2008; Barela, Stolf y Duarte, 2006; Chevutski, Alberty, Lensel, Pardessus y Thevenon, 2009; Orselli y Duarte, 2011).

Consecuentemente, el individuo encuentra que es más fácil apoyar el cuerpo en el agua que en el medio terrestre y que los movimientos se pueden realizar de forma más lenta y controlada, lo que producirá una disminución de las fuerzas de impacto sobre el sistema musculo esquelético (Barela et al., 2006).

Siguiendo la literatura precedente en torno al análisis biomecánico de la marcha aplicado tanto en el medio acuático (piscina) como el medio terrestre (laboratorio) se ha demostrado que el estudio de la locomoción aborda tanto parámetros fisiológicos como cinemáticos.

Dado que recientemente se han publicado estudios sobre parámetros biomecánicos/cinemáticos de la marcha y que, siguiendo la literatura precedente, su patrón biomecánico se utiliza como medio de análisis clínico, el objetivo de este trabajo fue revisar la literatura científica relacionada con las características cinemáticas de la marcha en el medio acuático y en el medio terrestre. Así, los profesionales del ámbito de la actividad física orientada a la salud podrán realizar un diagnóstico y prescribir programas de trabajo óptimos en beneficio de la salud y calidad de vida de los sujetos.

Metodología

Examinamos todas las revisiones y estudios relevantes publicados desde el 1 de enero de 2001 hasta el 30 de diciembre de 2013 para constituir la base de nuestro estudio. La selección de los artículos que forman parte de la revisión se realizó en las siguientes bases de datos: Pubmed, Medline y Web of Science.

Las palabras claves que se utilizaron (en varias combinaciones) fueron: walking, land, water, rehabilitation, kinematics, gait, stride, biomechanics, analysis, physical activity programmes and locomotion.

Además, se realizó una búsqueda en las siguientes revistas: Medicine and Science in Sport and Exercise, Gait and Posture, Journal of Biomechanics, British Journal of Sports Medicine, Journal of Sport Rehabilitation, International Journal of Aquatic Research and Education y Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.

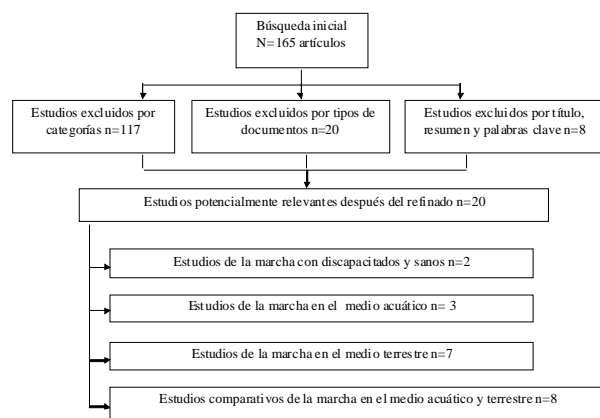


Figura 1. Proceso de selección de artículos para la revisión.

Se excluyeron los estudios que pertenecieran a algunas de las siguientes categorías: estudios publicados en forma de resumen y/o comunicaciones cortas, no escritos en inglés o español, estudios realizados sólo con personas discapacitadas, estudios de intervención con animales y aquellos cuyo rigor y formalidad no concordaban con las características necesarias para nuestra revisión.

Por tanto, los criterios de inclusión fueron: artículos publicados entre el año 2000 y 2013, escritos en inglés o español, en personas sanas y discapacitadas, estudios descriptivos, de intervención y que utilizaran la marcha como variable diferenciadora.

Resultados

Siguiendo la estrategia definida, el resultado de la búsqueda sistemática inicial fue de 165 artículos. En un primer análisis, 117 estudios fueron excluidos después de refinar por categorías (sport sciences, rehabilitation, physiology and hospitality, leisure, sport and tourism), 20 artículos por tipos de documentos (Revisión, libros, editorial) y 8 artículos tras analizar los títulos, resúmenes y palabras claves; dejando un total de 20 artículos para su posterior análisis.

Tras un examen más profundo de los títulos, resúmenes y artículos de texto completo, con base en los criterios específicos mencionados con anterioridad, se seleccionaron finalmente 20 artículos que serán la base de esta revisión.

Discusión

La presente revisión bibliográfica se ha realizado en un intento

Tabla 1
Resumen descriptivo de los estudios analizados

Autor	Muestra	Método	Variables cinemáticas	Resultados
Cham et al. (2002)	16 adultos 24 ± 4	Caminar y descender rampas con distintas inclinaciones.	Ángulos, longitud de ciclo y duración de la fase de apoyo.	Reducción de la duración de la fase de apoyo, longitud de ciclo y ángulo del pie.
Pohl et al. (2003)	6 adultos 23.2 ± 2.9	Caminar y correr a velocidad confortable en tierra y agua. En agua, a baja profundidad y alta profundidad.	Frecuencia de la marcha.	Frecuencia fue mayor corriendo que caminando. Frecuencia menor en agua a baja profundidad.
Orenduff et al. (2004)	10 adultos 26.9 ± 5.7	Caminar a una velocidad confortable y a velocidad marcada (0.7;1.0;1.2;1.6 m/s)	Cadencia, longitud de paso, longitud de ciclo y ancho de paso.	Aumento longitud de paso y ciclo. Disminución del ancho de paso.
Barela et al. (2006)	10 adultos 29 ± 6	Caminar sobre una pasarela a una velocidad confortable en agua y en tierra.	Duración ciclo, longitud de ciclo, duración fase de apoyo y ángulos (cadera, tronco, rodilla, pierna, tobillo y pie).	Mayor duración del ciclo en agua que en tierra. Velocidad menor en agua que en tierra. Mayor flexión del tronco, rodilla y tobillo en tierra que en agua.
Cappellini et al. (2006)	8 adultos 26-44	Caminar y correr a velocidad diferentes velocidades (3-12km/h).	Velocidad, longitud de ciclo, longitud de paso y duración fase de apoyo.	Incremento de la velocidad en ambas formas de desplazamiento supone una longitud de ciclo y de paso mayor y un descenso del 50% de la duración de la fase de apoyo.
Miyoshi et al. (2006)	20 adultos 23.2 ± 2.3	Caminar normal y sobre un tapiz rodante a 2.0 km/h en tierra y agua.	Ángulo de cadera, rodilla y tobillo.	En tierra menor flexión plantar de tobillo que en agua.
Gaquito et al. (2007)	20 adultos 23.8 ± 3.6 20 mayores 66.8 ± 3.8	Caminar en el agua a una velocidad confortable.	Velocidad, simetría de tiempo de paso y longitud de paso.	No se encontraron diferencias significativas (p>0.05).
Masumoto et al. (2007)	6 adultos 22.0 ± 0.6 6 mayores 63.5 ± 3.5	Caminar hacia adelante y hacia atrás a 1.8, 2.4 y 3.0 km/h en agua con y sin corriente.	Frecuencia de paso	Frecuencia de paso mayor en los mayores a velocidad moderada y rápida. Conforme se incrementa la velocidad, aumenta la frecuencia de paso.
Barela et al. (2008)	10 adultos 29 ± 6 10 mayores 70 ± 6	Caminar en agua y en tierra a una velocidad confortable.	Velocidad, longitud de ciclo, duración del ciclo de la marcha, duración de la fase de apoyo, ángulo de cadera, rodilla y tobillo.	En agua, los mayores presentaron menor longitud y duración de ciclo y mayor duración de la fase de apoyo. En tierra, caminaban más lentos que los adultos. Menor flexión de rodilla en agua en ambos grupos.
Masumoto et al. (2008)	9 mayores 61.8 ± 3.8	Caminar sobre un tapiz rodante en agua (con y sin corriente) y en tierra a distintas velocidades (2.4, 3.6 y 4.8 km/h para tierra y 1.2, 1.8 y 2.4 km/h para agua).	Frecuencia de la marcha y longitud de ciclo.	Frecuencia de la marcha menor en agua a la misma velocidad. Longitud de ciclo mayor en agua. Frecuencia y longitud aumenta con velocidad.
Chevutshi et al. (2009)	31 adultos 22.8 ± 2.1	Caminar hacia adelante, hacia atrás y de forma lateral a velocidad máxima y espontánea en agua y tierra.	Velocidad de la marcha	En tierra, a velocidad espontánea, la velocidad hacia adelante era mayor que hacia atrás y que de forma lateral. En agua no se encontraron diferencias significativas.
Lythgo et al. (2009)	898 niños 5-13 82 adultos 18-27	Caminar sobre una plataforma a velocidad confortable.	Simetría de tiempo de paso y de ciclo	Valores altos de simetría de tiempo de paso y de ciclo para niños y adultos.
Masumoto et al. (2009)	8 adultos 22.5 ± 2.8	Caminar hacia adelante y hacia atrás a 1.8, 2.4 y 3.0 km/h en agua con y sin corriente.	Frecuencia de la marcha y longitud de paso	En todas las condiciones de velocidad, mayor frecuencia y menor longitud de paso en la marcha hacia atrás.
Denning et al. (2010)	19 mayores con osteoartritis 59.4 ± 7.4	Caminar sobre un tapiz rodante en agua y en tierra durante 20 minutos a distintas velocidades (confortable y aumentando 0.13m/s y 0.26 m/s)	Longitud de ciclo y frecuencia de la marcha	No hubo diferencias de las variables estudiadas entre el medio acuático y terrestre.
Patterson et al. (2010)	161 P.C 62.7 ± 3.6 81 S. 64.2 ± 2.4	Caminar sobre una plataforma a velocidad confortable.	Simetría de la longitud de paso	Valores altos de simetría para los sujetos sanos. En cambio, los sujetos con parálisis cerebral mostraban una mayor asimetría.
Oselli et al. (2011)	10 adultos 24 ± 3	Caminar sobre una plataforma a velocidad confortable en agua y tierra.	Longitud de ciclo, duración de ciclo, velocidad y duración fase de apoyo.	En agua, mayor duración de ciclo y menor velocidad y duración de la fase de apoyo. Longitud de ciclo similar en ambas condiciones.
Carneiro et al. (2012)	22 adultos 24.6 ± 2.6	Caminar hacia adelante y hacia atrás a velocidad confortable en agua y tierra.	Velocidad y ángulo de cadera, rodilla y tobillo.	Velocidad de la marcha mayor en tierra en las dos direcciones. Mayor flexión de cadera, rodilla y tobillo en la marcha hacia atrás en agua y tierra.
Kodish et al. (2012)	22 adultos 27.2 ± 3.1	Caminar sobre una plataforma a: velocidad confortable y rápida con y sin carga en la pierna derecha.	Simetría de la longitud de paso y de tiempo de paso.	Mayor asimetría en el tiempo de paso cuando se camina con carga (en ambas velocidades).
Masumoto et al. (2012)	7 adultos 23.5 ± 1.4	Caminar sobre un tapiz rodante en agua (con y sin corriente) y en tierra a distintas velocidades (2.4, 3.6 y 4.8 km/h para tierra y 1.2, 1.8 y 2.4 km/h para agua).	Frecuencia de la marcha y longitud de ciclo.	En el agua con corriente, los sujetos presentaban menor frecuencia y menor longitud de ciclo que en seco. La frecuencia aumentaba conforme aumentaba la velocidad.
Patterson et al. (2012)	172 sujetos P.C y 81 S	Caminar sobre una plataforma a velocidad confortable.	Simetría de tiempo de balanceo, de tiempo de apoyo, longitud de paso y velocidad.	Asociación negativa entre edad y velocidad del grupo de sujetos sanos. No hubo diferencias entre la edad y las variables de simetría para los sujetos sanos y con parálisis.

Muestra = número de sujetos / edad media ± desviación típica.
P.C = Parálisis cerebral.
S = Sanos.

de conocer qué tipo de investigaciones sobre la marcha se han desarrollado hasta la actualidad para que los profesionales del ámbito de la actividad física o salud puedan realizar un diagnóstico y prescribir programas de trabajo óptimos en beneficio de la salud y calidad de vida de los sujetos.

No obstante, con el fin de profundizar y obtener una visión específica de la marcha, y dado la necesidad de estudio de este parámetro, consideramos relevante detallar con claridad y precisión las variables espacio-temporales y angulares del ciclo de la marcha.

Longitud de ciclo y de paso

Siete estudios han analizado la longitud del ciclo y cuatro son los que han estudiado la longitud de paso de la marcha.

Por un lado, respecto a la longitud del ciclo, Masumoto, Hamada, Tomonaga y Kodama (2012) comparaban que tras aplicar test en los que los sujetos debían de caminar en el agua con y sin corriente y en seco a varias velocidades (baja, moderada y alta), la longitud de ciclo era menor en el agua con corriente que en el agua sin corriente y en seco.

Barela et al. (2006), Orselli y Duarte (2011) y Masumoto, Shono, Hotta y Fujishima (2008), no encuentran diferencias significativas en cuanto a la longitud de ciclo cuando los sujetos caminan a una velocidad confortable en seco y agua. No obstante, Masumoto et al. (2008) en su estudio señala que al caminar a velocidad moderada y rápida, la longitud de ciclo es menor en agua que en el medio terrestre. Esto se debe al efecto de la resistencia hidrodinámica que se ve aumentada conforme se incrementa la velocidad.

Por su parte, Orendurf et al. (2004) que estudian la marcha en el medio terrestre a distintas velocidades demuestran, al igual que Cappellini, Ivanenko, Poppele y Lacquaniti (2006); Masumoto et al. (2012) y Masumoto et al. (2008), que conforme se aumenta la velocidad, incrementa la longitud de ciclo.

Denning et al. (2010) investigan las características de la marcha con pacientes con osteoartritis en agua y en seco a distintas velocidades. Concluyen que la longitud de ciclo en este tipo de sujetos y en ambas condiciones son muy similares, es decir, no hallaron diferencias significativas, lo cual podría explicarse por las limitaciones articulares o por la presencia de dolor durante la marcha.

Desde una perspectiva preventiva, Cham y Redfern (2002) analizan si se producen cambios en la biomecánica de la marcha en los sujetos cuando había posibilidad de resbalar en el suelo. Tras caminar y descender rampas con distintas propiedades, determinan que los sujetos realizan adaptaciones de la marcha tales como la reducción de la longitud en superficies más resbaladizas.

En cuanto a la longitud de paso, Masumoto et al. (2009) al comparar la respuesta fisiológica, perceptiva y las características de la marcha mientras se camina hacia adelante y hacia atrás en el agua con y sin corriente, determinan que la longitud de paso era menor cuando se camina hacia atrás independientemente de las velocidades y condiciones del agua.

Orendurf et al. (2004), al igual que ocurría con la longitud de ciclo, establecen que a mayor velocidad de la marcha, mayor incremento significativo de la longitud de paso.

En referencia a la relación entre la longitud de paso y la edad de los sujetos, Giaquinto, Ciotola y Margutti (2007) señala que tras caminar en el agua a una velocidad confortable no se encuentran diferencias significativas en la longitud de paso entre las personas mayores de edad y los adultos.

En conclusión, cuando realizamos la marcha en el medio acuático en comparación con el medio terrestre, por un lado, se contemplan diferencias significativas en torno a la longitud de ciclo; y por otro, esta longitud se ve disminuida cuando analizamos la marcha en superficies resbaladizas (las personas son

más cautas) y en el agua con corriente.

La longitud de paso por su parte, se ve afectada en función de la forma en la que se realice la marcha (hacia atrás o hacia adelante), el tratamiento o programa de rehabilitación que incluya este tipo de ejercicios y la velocidad aplicada. No se contemplan cambios en relación a la edad de los sujetos.

La disminución de la longitud de ciclo (y consecuentemente de paso) en el medio acuático se explica por la reducción de la velocidad del movimiento debido al efecto de la flotabilidad o de la influencia de la fuerza de resistencia sobre el momento de flexión plantar del tobillo, extensión de la rodilla y flexión de la cadera.

Frecuencia

Siguiendo la literatura precedente, la frecuencia es una variable temporal medida en seis artículos científicos.

Al comparar los parámetros espacio-temporales de la marcha en tres condiciones del medio (agua con corriente, sin corriente y en seco) y a velocidad baja, moderada y rápida, Masumoto et al. (2012) concluyen que la frecuencia de la marcha era significativamente menor en el agua con corriente que en el medio terrestre. Si comparamos las condiciones establecidas en el medio acuático, la frecuencia de la marcha en el agua con corriente era un 5% mayor que cuando se realiza en el agua sin corriente.

Además, como ocurría en la longitud de ciclo, Masumoto et al. (2012, 2009, 2008, 2007) y Orendurf et al. (2004) resaltan que, independientemente de las condiciones observadas, la frecuencia se incrementa conforme se aumenta la velocidad.

Masumoto et al. (2009), por otro lado, estudian la marcha hacia adelante y hacia atrás en el agua con corriente y sin corriente a distintas velocidades con el fin de determinar las características biomecánicas de la marcha en estas situaciones. Los resultados relevantes se obtienen en la marcha hacia atrás donde la frecuencia de paso es significativamente mayor comparado con la obtenida cuando se realiza la marcha hacia adelante en todas las condiciones (velocidad y corriente del agua).

Variando las condiciones y variables del estudio, Masumoto et al. (2008) evalúan la marcha en agua y en seco a distintas velocidades en mujeres mayores de edad. En referencia a la frecuencia, en las mismas condiciones de velocidad, ésta era menor en el medio acuático que en el terrestre.

Pohl y McNaughton (2003) al comparar la respuesta fisiológica de la carrera y de la marcha en el medio terrestre con la respuesta obtenida en el medio acuático a distintas profundidades, señalan que la frecuencia es mayor corriendo y andando en seco que en agua. De forma general, la frecuencia de paso es mayor corriendo en todas las condiciones que caminando. Ateniéndonos al nivel de profundidad del agua, la marcha y la carrera en alta profundidad tienen una frecuencia menor que a baja profundidad.

Para examinar si la marcha en el medio acuático (con corriente y sin corriente) a velocidad baja, moderada y rápida produce diferencias relacionadas con la edad en la frecuencia de paso, Masumoto et al. (2007) realizan un estudio con sujetos mayores y adultos. Los resultados muestran que la frecuencia de paso de las personas mayores es significativamente mayor que la de los sujetos adultos a velocidad moderada y rápida, no encontrándose diferencias significativas a velocidad lenta.

De forma más específica, Denning et al. (2010) estudian los efectos de la marcha en sujetos con osteoartritis. Tras caminar sobre un tapiz, incrementando la velocidad de manera progresiva, en agua y en seco, la frecuencia de paso no muestra diferencias significativas en ninguna de las dos extremidades analizadas.

En suma, podemos concluir, desde una perspectiva, que un aumento de la frecuencia de paso está determinado por la mar-

cha hacia atrás en el medio acuático, la carrera en cualquiera de las condiciones, la edad elevada de los sujetos y la velocidad aplicada. Por otro lado, si comparamos la frecuencia de la marcha entre dos medios distintos (agua y seco), la frecuencia de paso en seco es mayor que la frecuencia de paso en agua.

Duración del ciclo de la marcha

Tres son los estudios que analizan la duración del ciclo de la marcha como variable temporal a tener en cuenta en el análisis biomecánico de la marcha.

Con el fin de examinar y comparar los parámetros espacio-temporales en grupos de sujetos de distinta edad, Barela y Duarte (2008) aplican un test cuyo objetivo era caminar en el agua y en seco a una velocidad confortable.

En el medio terrestre, no se encuentran diferencias significativas en cuanto a la duración de ciclo entre ambos grupos de edad pero en el agua la duración de los adultos es mayor que la de las personas mayores.

Si comparamos ambas condiciones del espacio sin tener en cuenta las características de los sujetos, la duración en el medio terrestre es significativamente menor que la obtenida en el medio acuático (Barela y Duarte 2008; Barela et al., 2006; Orselli y Duarte, 2011).

En definitiva, todos los estudios corroboran que la duración de ciclo se ve afectada en base a las características del medio, siendo en el agua la duración del ciclo de la marcha mayor que en tierra.

Velocidad

Uno de los parámetros más estudiados entre los artículos analizados es la velocidad. Siete son los artículos que investigan sobre esta variable en el ciclo de la marcha.

Carneiro et al. (2012) estudian los parámetros cinemáticos de la marcha hacia adelante y hacia atrás y en seco y en agua. Los datos nos muestran que la velocidad de la marcha en el medio terrestre es mayor que en el medio acuático en las dos direcciones.

Sin embargo, si centráramos nuestro análisis al medio terrestre, la velocidad es significativamente mayor cuando se camina hacia adelante que cuando se hace hacia atrás. En cambio, en el medio acuático no se aprecian diferencias entre estos dos modos de caminar.

Estableciendo la relación edad-velocidad, Barela y Duarte (2008) determinan que las personas mayores tienen una velocidad menor que la de las personas adultas en el medio terrestre, aunque destaca, en consonancia con Guiaquinto et al. (2007), que en el medio acuático estas diferencias desaparecen.

Orselli y Duarte (2011) y Barela et al. (2006) en sus estudios en el que se compara cuantitativamente y cualitativamente un ciclo completo de la marcha en el agua y en seco, establecen que los sujetos son más rápidos en el medio terrestre que en el medio acuático.

Chevutshi et al. (2009) llevan a cabo un estudio más completo y específico de la velocidad en la marcha. Los sujetos debían de caminar a velocidad máxima y espontánea en distintas modalidades: hacia adelante, hacia atrás, de forma lateral con los brazos pegados a lo largo del cuerpo y de forma lateral con los brazos detrás de la espalda.

En el medio terrestre, cuando los sujetos caminan a velocidad espontánea y máxima, la velocidad de la marcha hacia adelante es mayor que la velocidad obtenida cuando caminan hacia atrás. Sin embargo, la marcha hacia adelante y hacia atrás se realiza a una mayor velocidad que las dos formas de marcha lateral. En el medio acuático, por el contrario, no se contemplan diferencias entre velocidades y formas de caminar.

Del mismo modo, comparando ambos medios, Chevutshi et al. (2009), al igual que otros autores, confirman que la veloci-

dad tiene un valor mayor en el medio terrestre que en el medio acuático.

Como conclusión podemos ratificar, según la literatura, que la velocidad obtiene valores mayores en el medio terrestre en comparación con los observados en el medio acuático. De la misma forma, la velocidad se ve aumentada cuando caminamos hacia adelante que si lo hacemos hacia atrás. En el medio acuático, se eliminan las diferencias entre el modo de caminar y la edad de los sujetos.

Ancho de paso

En el estudio de Orendurf et al. (2004), en el que se investiga el movimiento del centro de masas durante la marcha humana, se determina variables espaciales tales como el ancho de paso. La intervención que aplican a los sujetos consiste en caminar 10 m a una velocidad confortable (5 ensayos) y, posteriormente, realizarlo cinco veces a velocidades predeterminadas que se aumentan de forma progresiva. De este modo, conforme se incrementa la velocidad de la marcha, el ancho de paso decrece a diferencia de lo que ocurre cuando se camina a una velocidad confortable.

Dado que esta variable está estrechamente relacionada con la estabilidad y el equilibrio, al aumentar la velocidad, los sujetos disminuyen su capacidad de equilibrio y precisión en el ciclo de la marcha, lo que justifica la reducción de este parámetro.

Simetría

El estudio de la simetría está siendo desarrollado en los últimos años por ser valorado como uno de los mayores indicadores del grado de control de la marcha y del diagnóstico de patologías. Kodesh, Kafri, Dar y Dickstein (2012); Lythgo, Wilson y Galea (2011); Patterson et al. (2010) y Patterson et al. (2012), concluyen que en la evaluación de la simetría en personas sanas en el medio terrestre no se encuentran diferencias significativas con respecto a la edad y velocidad debido a que la simetría de longitud de paso media es de 0.8 cm y la simetría de tiempo de paso oscila entre el 0.7%. En este sentido, en el medio acuático, Guiaquinto et al. (2007) manifiestan que entre los sujetos mayores y jóvenes los valores de simetría de longitud de paso y de duración son similares.

Ángulos

El ángulo de cadera durante el ciclo de la marcha es menor cuando se caminaba hacia atrás que cuando se caminaba hacia adelante (Carneiro et al., 2012). Además, Carneiro et al. (2012) (al inicio del ciclo de la marcha durante la fase de apoyo), Barela y Duarte (2008) (durante todo el ciclo de la marcha) y Miyoshi, Sasagawa, Yamamoto, Komeda y Nakazawa (2009) (durante todo el ciclo de la marcha) establecen una mayor flexión de la cadera en agua en comparación con la obtenida en el medio terrestre.

Por lo que respecta al ángulo de rodilla, al inicio del ciclo de la marcha (primer contacto del pie con el suelo) Carneiro et al. (2012) encuentran que la rodilla está más flexionada durante la marcha hacia atrás en comparación con la marcha hacia adelante y en el agua en relación con el medio terrestre. En cambio, al final de la fase de apoyo (despegue del dedo del pie) la rodilla está más flexionada durante la marcha hacia adelante que hacia atrás y no se encuentran diferencias significativas entre los medios (acuático y terrestre).

En contraposición, Barela y Duarte (2008) y Miyoshi et al. (2009) establecen que la rodilla tiene una mayor flexión al inicio y al final de la fase de apoyo en el medio acuático que en el medio terrestre.

Siguiendo a Carneiro et al. (2012), en el contacto inicial del ciclo de la marcha, el ángulo de tobillo presenta una mayor dorsiflexión durante la marcha hacia atrás en comparación con la

marcha hacia adelante, desapareciendo estas diferencias al final de la fase de apoyo.

Si comparamos los dos medios, Barela y Duarte (2008), Barela et al. (2006) y Miyoshi et al. (2009) señalan que el tobillo tiene una mayor flexión plantar en el medio acuático que en el medio terrestre.

Finalmente, en cuanto al rango de movimiento de cadera, rodilla y tobillo, Orselli y Duarte (2011) y Barela et al. (2006) coinciden en determinar que no hay diferencias significativas entre los dos entornos.

Duración de la fase de apoyo

Aunque la evidencia manifiesta que la fase de apoyo constituye el 60% del total del ciclo de la marcha, éste porcentaje se puede ver afectado por diversas situaciones.

Por otro lado, Guiaquinto et al. (2007) no encuentran diferencias significativas entre los sujetos jóvenes y mayores cuando caminan en el medio acuático.

Finalmente, si comparamos esta variable con los dos entornos, Orselli y Duarte (2011) y Barela y Duarte (2008) reflejan que la duración de la fase de apoyo fue entre un 2% y un 6% significativamente menor en agua que en tierra. Además, Lythgo et al. (2011) observan que conforme se aumenta la velocidad, el tiempo en esta fase disminuye.

Conclusiones.

Los parámetros espacio-temporales y angulares estudiados del ciclo de la marcha, muestran características diferentes en función del modo de caminar, el medio en el que se realiza, la velocidad con la que se lleva a cabo la acción y la edad y/o características físicas de los sujetos objeto de estudio.

En general, en el medio acuático la frecuencia de paso, longitud de ciclo, la duración de la fase de apoyo y la velocidad es menor en comparación con la del medio terrestre, lo que se transfiere en un aumento de la duración del ciclo de la marcha.

Estas variaciones sobre las características de la biomecánica de la marcha se justifican por las propiedades que el medio acuático posee y que hacen que, a la hora de realizar ejercicio, los sujetos reduzcan la velocidad de sus movimientos por el efecto de la flotabilidad y por la influencia que la fuerza de resistencia y flotación tiene sobre los momentos de flexión plantar del tobillo, extensión de la rodilla y flexión de cadera, es decir, de aquellas articulaciones que conforman el movimiento de las extremidades inferiores.

Consecuentemente y ateniéndonos a la necesidad de mejorar la calidad de vida y salud de nuestra sociedad, esta revisión nos proporciona información útil y relevante para que, tanto en el medio acuático como terrestre, los profesionales de la salud, rehabilitación, educación física y aquellos encargados de la recuperación de lesiones, conozcan y puedan prescribir ejercicios con sus pacientes de una forma eficaz. Como limitación, la revisión se centra en aspectos de la cinemática de las extremidades inferiores y no se analizan parámetros relacionados con las fuerzas de reacción del suelo o los momentos articulares sobre diferentes articulaciones. Futuros estudios deberían realizar una revisión sobre estos parámetros.

Agradecimientos

Investigación promocionada por la Universidad de Granada: Beca de Iniciación a la Investigación otorgada a Cristina Cadenas-Sánchez y dirigida por Gracia López-Contreras. Nos gustaría agradecer a los miembros del grupo de Investigación Actividad Física y Deportiva en el Medio acuático CTS-527 su participación y colaboración en este proyecto.

Referencias

- Barela, A. M. F., & Duarte, M. (2008). Biomechanical characteristics of elderly individuals walking on land and in water. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(3), 446-454. doi: 10.1016/j.jelekin.2006.10.008
- Barela, A. M. F., Stolf, S. F., & Duarte, M. (2006). Biomechanical characteristics of adults walking in shallow water and on land. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(3), 250-256. doi: 10.1016/j.jelekin.2005.06.013
- Cappellini, G., Ivanenko, Y. P., Poppele, R. E., & Lacquaniti, F. (2006). Motor patterns in human walking and running. *J Neurophysiol*, 95(6), 3426-3437. doi: 10.1152/jn.00081.2006
- Carneiro, L., Michaelsen, S. M., Roesler, H., Hauptenthal, A., Hubert, M., & Mallmann, E. (2012). Vertical reaction forces and kinematics of backward walking underwater. *Gait & Posture*, 35(2), 225-230. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.09.011
- Cham, R., & Redfern, M. S. (2002). Changes in gait when anticipating slippery floors. *Gait & Posture*, 15(2), 159-171. doi: 10.1016/s0966-6362(01)00150-3
- Chevuttschi, A., Albery, M., Lensel, G., Pardessus, V., & Thevenon, A. (2009). Comparison of maximal and spontaneous speeds during walking on dry land and water. *Gait & Posture*, 29(3), 403-407. doi: 10.1016/j.gaitpost.2008.10.059
- Daza, J. (2007). *Evaluación clínico-funcional del movimiento corporal humano*. Bogotá: Editorial Médica Internacional.
- Denning, W.M., Bressel, E., & Dolny, D. (2010). Underwater treadmill exercise as a potential treatment for adults with osteoarthritis. *International journal of aquatic research and education*, 4, 70-80.
- Gharib, N. M. M., El-Maksoud, G. M. A., & Rezk-Allah, S. S. (2011). Efficacy of gait trainer as an adjunct to traditional physical therapy on walking performance in hemiparetic cerebral palsied children: a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 25(10), 924-934. doi: 10.1177/0269215511400768
- Giaquinto, S., Ciotola, E., & Margutti, F. (2007). Gait in the water: A comparison between young and elderly subjects. *Disability and Rehabilitation*, 29(9), 727-730. doi: 10.1080/09638280600926314
- Haskell, W. L., Lee, I. M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A., . . . Bauman, A. (2007). Physical activity and public health - Updated recommendation for adults from the American college of sports medicine and the American heart association. *Circulation*, 116(9), 1081-1093. doi: 10.1161/circulationaha.107.185649
- Kahn, E. B., Ramsey, L. T., Brownson, R. C., Heath, G. W., Howze, E. H., Powell, K. E., . . . Task Force Commun Prevent, Serv. (2002). The effectiveness of interventions to increase physical activity - A systematic review. *American Journal of Preventive Medicine*, 22(4), 73-108. doi: 10.1016/s0749-3797(02)00434-8
- Kim, Y. S., Park, J., & Shim, J. K. (2010). Effects of Aquatic Backward Locomotion Exercise and Progressive Resistance Exercise on Lumbar Extension Strength in Patients Who Have Undergone Lumbar Discectomy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(2), 208-214. doi: 10.1016/j.apmr.2009.10.014
- Kodesh, E., Kafri, M., Dar, G., & Dickstein, R. (2012). Walking speed, unilateral leg loading, and step symmetry in young adults. *Gait & Posture*, 35(1), 66-69. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.08.008
- Lee, I. M., & Buchner, D. M. (2008). The importance of walking

- to public health. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(7), S512-S518. doi: 10.1249/MSS.0b013e31817c65d0
- Lythgo, N., Wilson, C., & Galea, M. (2011). Basic gait and symmetry measures for primary school-aged children and young adults. II: Walking at slow, free and fast speed. *Gait & Posture*, 33(1), 29-35. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.09.017
- Masumoto, K., Hamada, A., Tomonaga, H., Kodama, K., & Hotta, N. (2012). Physiological Responses, Rating of Perceived Exertion, and Stride Characteristics During Walking on Dry Land and Walking in Water, Both With and Without a Water Current. *Journal of Sport Rehabilitation*, 21(2), 175-181.
- Masumoto, K., Hamada, A., Tomonaga, H. O., Kodama, K., Amamoto, Y., Nishizaki, Y., & Hotta, N. (2009). Physiological and perceptual responses to backward and forward treadmill walking in water. *Gait & Posture*, 29(2), 199-203. doi: 10.1016/j.gaitpost.2008.08.008
- Masumoto, K., Shono, T., Hotta, N., & Fujishima, K. (2008). Muscle activation, cardiorespiratory response, and rating of perceived exertion in older subjects while walking in water and on dry land. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(4), 581-590. doi: 10.1016/j.jelekin.2006.12.009
- Masumoto, K., Shono, T., Takasugi, S. I., Hotta, N., Fujishima, K., & Iwamoto, Y. (2007). Age-related differences in muscle activity, stride frequency and heart rate response during walking in water. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17(5), 596-604. doi: 10.1016/j.jelekin.2006.06.006
- Miyoshi, T., Sasagawa, N., Yamamoto, S. I., Komeda, T., & Nakazawa, K. (2009). Effect of Viscoelastic Constraints to Kinematic Parameters during Human Gait. In J. VanderSloten, P. Verdonck, M. Nyssen & J. Hauelsen (Eds.), *4th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering* (Vol. 22, pp. 2061-2064). New York: Springer.
- Orendurff, M. S., Segal, A. D., Klute, G. K., Berge, J. S., Rohr, E. S., & Kadel, N. J. (2004). The effect of walking speed on center of mass displacement. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 41(6A), 829-834. doi: 10.1682/jrrd.2003.10.0150
- Orselli, M. I. V., & Duarte, M. (2011). Joint forces and torques when walking in shallow water. *Journal of Biomechanics*, 44(6), 1170-1175. doi: 10.1016/j.jbiomech.2011.01.017
- Patterson, K. K., Gage, W. H., Brooks, D., Black, S. E., & McIlroy, W. E. (2010). Evaluation of gait symmetry after stroke: A comparison of current methods and recommendations for standardization. *Gait & Posture*, 31(2), 241-246. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.10.014
- Patterson, K. K., Nadkarni, N. K., Black, S. E., & McIlroy, W. E. (2012). Gait symmetry and velocity differ in their relationship to age. *Gait & Posture*, 35(4), 590-594. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.11.030
- Pohl, M.B., & McNaughton, L.R. . (2003). The physiological responses to running and walking in water at different depths. *Research in Sports Medicine*, 11, 63-78.
- Prins, J., & Cutner, D. (1999). Aquatic therapy in the rehabilitation of athletic injuries. *Clinics in Sports Medicine*, 18(2), 447-461. doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0278-5919(05)70158-7
- Stevens, S., & Morgan, D. W. (2010). Underwater treadmill training in adults with incomplete spinal cord injuries. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 47(7), VII-X.
- Viladot, A. (2001). *Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor*. Nueva York: Springer.
- Yildiz, M. (2012). The impact of slower walking speed on activities of daily living in patients with multiple sclerosis. *International journal of clinical practice*, 66(11), 1088-1094. doi: 10.1111/ijcp.12003

