

# EVALUACIÓN DE LA FUERZA PRODUCIDA EN EL AGUA. SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO

Ruiz-Navarro, Jesús J<sup>1</sup>; Lorente-Ferrón, Francisco<sup>1</sup>; Bilbao-Lucuix, Pedro<sup>1</sup>; Cuenca-Fernández, Francisco<sup>1</sup>; Gay, Ana<sup>1</sup>; López-Contreras, Gracia<sup>1</sup>; Morales-Ortiz, Esther<sup>1</sup>; Arellano, Raúl<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Aquatics Lab (Laboratorio Piscina Facultad de Ciencias del Deporte de Granada), Departamento Educación Física y Deportiva, Universidad de Granada. Carretera de Alfacar S/N, 18071, Granada.

Los objetivos fueron 1) obtener el parámetro más fiable, a velocidad cero, con el rendimiento, 2) estudiar la asociación entre la variación de fuerza y velocidad intra-ciclo con el rendimiento 3) comparar las variables de nado atado y nado libre. Dieciséis nadadores ( $19,60 \pm 3,29$  años,  $176 \pm 4,52$  cm de altura,  $70,71 \pm 9,48$  kg de peso) realizaron 25m, 50m, 100m y 30-s de nado atado. La fuerza se registró con un dinamómetro y la velocidad instantánea con un velocímetro. La fuerza media y el impulso máximo estuvieron asociados con el rendimiento ( $p < 0,05$ ). Hubo asociación entre la variación de fuerza y velocidad intra-ciclo ( $p < 0,05$ ). No hubo diferencias entre el nado atado y 50m libres ( $p > 0,05$ ). La fuerza media y el impulso máximo están asociados con el rendimiento. La variación de la fuerza y velocidad intra-ciclo no están asociados con el rendimiento. El esfuerzo de 30-s de nado atado corresponde con el de 50m libre.

**Palabras clave:** nado atado, evaluación, entrenamiento, natación.

## INTRODUCCIÓN

El rendimiento en natación competitiva es medido a través del tiempo empleado en recorrer una distancia determinada. La fuerza muscular (Keskinen, Tilli y Komi, 1989), la técnica de nado (Barbosa et cols., 2010) y la producción aeróbica/anaeróbica (Narita, Nakashima y Takagi, 2017) son determinantes en el rendimiento. En pruebas de velocidad la fuerza producida debe ser elevada para superar la resistencia del agua (Dominguez-Castells, Izquierdo y Arellano, 2013). La evaluación de la fuerza producida en el agua es muy importante (Morouço, Marinho, Keskinen, Badillo y Marques, 2014), sin embargo, el medio acuático dificulta la medición directa de las fuerzas producidas (Akis y Orcan, 2004). Para ello el nado a velocidad cero o nado atado ha sido propuesto como una metodología válida y fiable (Akis y Orcan, 2004; Amaro, Marinho, Batalha, Marques y Morouço, 2014; Kjendlie y Thorsvald, 2006). A pesar de observarse diferencias cinemáticas durante la brazada en el nado atado (Maglischo, Maglischo, Sharp, Zier y Katz, 1984; Samson, Monnet, Bernard, Lacouture y David, 2018), no se han encontrado

diferencias fisiológicas significativas entre 30 segundos de nado atado y 50 metros libre (Morouço et cols., 2014).

El nado atado es una herramienta que permite medir la fuerza producida en el agua, evaluando la curva fuerza-tiempo producida durante el ejercicio (Amaro, Morouço, Marques, Fernandes y Marinho, 2017). Sin embargo, todavía no existe una evidencia clara de cuál es el parámetro más fiable, manifestando la necesidad de más estudios que permitan entender mejor este tema. Teniendo en cuenta que la propulsión ocurre durante toda la trayectoria propulsiva de la brazada (Neiva et cols., 2011), la relación entre fuerza y tiempo debe ser considerada como (Morouço et cols., 2014):

$$I = \int_{t1}^{t2} F \cdot dt$$

(Ecuación 1)

Donde  $I$  representa el impulso de la fuerza,  $F$  es la fuerza aplicada desde el  $t_1$  hasta el  $t_2$ . Por tanto, el impulso parece ser más preciso (Dopsaj, Matković y Zdravković, 2000), ya que depende de la magnitud, la duración y la dirección de la fuerza aplicada.

La variación de la fuerza intra-ciclo ( $dF$ ) se ha propuesto recientemente como un parámetro relacionado con el rendimiento, que permite evaluar la habilidad del nadador para aplicar fuerza en el agua (Morouço, Barbosa, Arellano y Vilas-Boas, 2017). La variación de la velocidad intra-ciclo ( $dv$ ) ha sido empleado para evaluar la eficiencia de los nadadores. Sin embargo, a pesar de su uso, no está clara su relación con el rendimiento (Vilas-Boas, Fernandes y Barbosa, 2011). Los resultados mostrados por Leblanc, Seifert, Tourny-Chollet y Chollet (2007) señalaron que los mejores nadadores eran aquellos que poseían una mayor  $dv$ . Por otro lado, Takagi, Sugimoto, Nishijima y Wilson (2004) mostró resultados opuestos, comparando a bracistas participantes en los 9os campeonatos del mundo. Aquellos que pasaron a las semifinales tenían menor  $dv$  que los que no pasaron las eliminatorias.

Para clarificar esta controversia y superar las limitaciones se establecieron los siguientes objetivos: 1) obtener el parámetro más fiable medido a velocidad cero, 2) estudiar la asociación entre la  $dF$ ,  $dv$  y el rendimiento, y 4) comparar las variables obtenidas en 30s de nado atado y 25, 50 y 100 metros de nado libre.

## MÉTODO

### Muestra

Dieciséis nadadores masculinos participaron en el estudio ( $19,60 \pm 3,29$  años,  $176 \pm 4,52$  cm de altura,  $70,71 \pm 9,48$  kg de masa corporal,  $58,24 \pm 2,27$  segundos de mejor marca personal en 100 metros libre en piscina de 50m, representando un  $76 \pm 5\%$  del Récord Mundial). Para ser incluidos en el estudio los nadadores debían tener al menos 5 años de experiencia competitiva. El protocolo fue explicado a los participantes antes de que dieran su consentimiento escrito. El estudio fue llevado a cabo según el código de ética de la Asociación Médica Mundial (Declaración de Helsinki) y el protocolo fue aprobado por el comité de ética de la Universidad.

### Diseño

Se llevó a cabo un estudio cross-seccional. Las pruebas de nado libre se llevaron a cabo en una piscina de 25m ( $25m \times 16,5m$ ) (temperatura del agua =  $27^\circ$ , humedad =  $65\%$ ) y el nado atado en una piscina contracorriente (Endless Poo Elite Techno Jet Swim 7,5, HP, Aston PA, EEUU) (temperatura del agua =  $26^\circ$ , humedad =  $52\%$ ), ambas localizadas en el edificio Piscina de la Facultad de Ciencias del Deporte, de la Universidad de Granada. Los nadadores fueron evaluados en dos días consecutivos en las mismas condiciones. Para mejorar la fiabilidad de la muestra, se les pidió a los sujetos que se abstuvieran de ingerir cualquier tipo de bebida estimulante. Las evaluaciones fueron precedidas por un calentamiento estandarizado, 1000-m a baja-moderada intensidad

(400-m nado, 100-m pull, 100-m piernas, 4x50-m incrementando la velocidad, 200-m nado suave) (Morouço et cols., 2017). El orden de ejecución de los diferentes test fue aleatorizado.

### Registro de la fuerza

Los nadadores ejecutaron 30 segundos de nado atado. A pesar de estar familiarizados con la metodología, llevaron a cabo una familiarización previa con el protocolo. Los nadadores se encontraban unidos a la célula de carga mediante un cable de acero de 2 metros. El registro de fuerza fue sincronizado con 3 videocámaras mediante una mezcladora (Roland Corporation, Roland Pro A/V V-1HD, Osaka, Japón) (figura 1). Para señalar el inicio y final de los 30 segundos se empleó una señal visual-sonora. Pevio a los 30 segundos los nadadores realizaron 5 segundos a baja intensidad, para evitar el efecto inercial, adaptado de Barbosa, de Souza Castro, Dopsaj, Cunha y Júnior (2013). Los nadadores usaron snorkel para evitar el efecto de la respiración en los registros de fuerza. Los pies se fijaron y se excluyó la acción de piernas para evitar que los pies tocaran el cable e interfirieran con el registro (Dominguez-Castells et cols., 2013). Al finalizar el test se les preguntó por el esfuerzo percibido (RPE) (Borg, 1982).

La fuerza se registró empleando una célula de carga (HBM, RSCC S-Type, Darmstadt, Germany), registrando a 200 hz, con una capacidad de 4905N. Los datos fueron registrados, convertidos (Remberg, Force Isoflex, celula 1..4, Spain) y exportados al software de la célula de carga (acquisitions, Granada, Spain) a través de USB (National instruments, NI USB 600, Austin, USA). La frecuencia de ciclo se registró mediante ASPA (Análisis Automático de la Competición) (Ref.: IE\_57161).

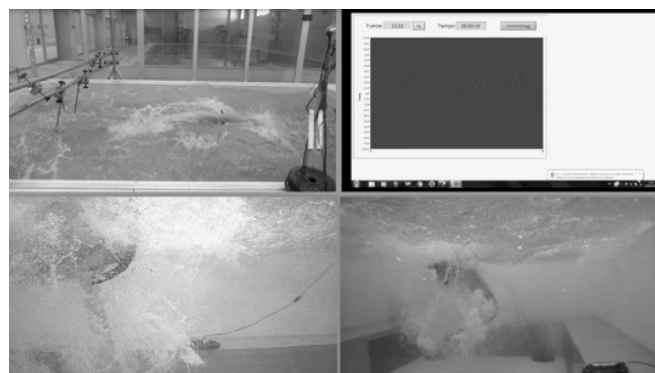


Figura 1: Registro de la fuerza y sincronización con videocámaras. 2 cámaras subacuáticas, 1 cámara lateral fuera del agua.

### Test de nado libre

Los participantes realizaron 25-m, 50-m y 100-m crol, con salida desde el agua. Durante la realización de los 25-m los nadadores se encontraban conectados a un velocímetro (lineal transducer, Heidenhain, D83301, Traunreu, Germany) con un registro de 200hz. Los datos fueron registrados, convertidos, (Signal Frame MF020, Sportmetrics, Spain) y exportados a su software (Signalframe an v.2.00). Tiempo total, velocidad media, tiempo parcial, velocidad

parcial, frecuencia y longitud de ciclo fueron registrados usando ASPA.

### Análisis de los datos

Las curvas de fuerza-tiempo y velocidad-tiempo fueron suavizadas usando un filtro de 4º orden, con una frecuencia de 100hz. Los siguientes parámetros fueron estimados (Morouço et al., 2014):

- Fuerza máxima (Fmax): valor máximo obtenido de la curva fuerza-tiempo.
- Fuerza promedio (Faver): media de los valores de fuerza registrados durante los 30 segundos.
- Impulso máximo (Imax): valor máximo obtenido del impulso de la fuerza (ecuación 1) en una única brazada.
- Impulso promedio (Iaver): cociente de la suma de los impulsos y el número de brazadas realizadas durante los 30 segundos de nado atado.

Ambas curvas fueron examinadas y 5 ciclos consecutivos fueron elegidos para los análisis. Los ciclos elegidos ocurrieron durante la mitad del test.  $dv$  y  $dF$  fueron analizados como Morouço et cols., (2017) describió:

$$dv = \frac{\sqrt{\frac{\sum_i (v_i - v)^2 \cdot F_i}{n}}}{\frac{\sum_i v_i \cdot F_i}{n}} \cdot 100$$

(Ecuación 2)

Donde  $dv$  representa la variación de la velocidad intra-ciclo de la cadera,  $v$  la velocidad media,  $v_i$  la velocidad instantánea,  $F_i$  la frecuencia de adquisición, y  $n$  es el número de brazadas medidas. Para el cálculo de  $dF$  se adaptó la misma ecuación usando los parámetros de fuerza obtenidos en el nado atado.

La RPE fue evaluada verbalmente después de cada test, usando la escala adaptada de Borg con descriptores incrementales de la percepción del esfuerzo, en un rango de 1 (nada de esfuerzo) a 10 (máximo esfuerzo) (Borg, 1982)

### Análisis estadístico

La normalidad de la muestra se verificó usando Shapiro-wilk. Los coeficientes de correlación de Pearson ( $r$ ) entre los parámetros de nado atado y nado libre fueron determinados. La magnitud de las diferencias en frecuencia de ciclo y RPE entre 25-m, 50-m y 100-m con los obtenidos en los 30 segundos de nado atado fueron analizados mediante T de student para muestras apareadas. Se calculó y categorizó el tamaño del efecto ( $d$ ) (pequeño si  $0 < |d| < 0,5$ , mediano si  $0,5 < |d| < 0,8$ , y grande si  $|d| > 0,8$ ) (Cohen, 1988). Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo usando SPSS 23.0 (Chicago, IL, EEUU). El nivel de significancia se estableció a  $p < 0,05$ .

### RESULTADOS

En la Tabla 1 muestra la correlación de Pearson obtenida entre los test de nado libre y las variables de nado atado.

**Tabla 1:** Correlación de Pearson entre las variables de nado atado y nado libre

		Faver (N)	Fmax (N)	Iaver (N*s)	Imax (N*s)	DF	DV
V_25m	r	<b>0,435*</b>	0,271	0,196	<b>0,455*</b>	-0,299	0,103
	p	<b>0,046</b>	0,155	0,233	<b>0,038</b>	0,13	0,352
V_50m	r	0,268	0,138	0,083	0,38	-0,29	-0,111
	p	0,158	0,306	0,38	0,073	0,138	0,341
V_100m	r	0,351	0,187	0,172	<b>0,442*</b>	-0,216	-0,027
	p	0,092	0,244	0,262	<b>0,043</b>	0,211	0,46

Faver: fuerza promedio; Fmax: fuerza pico; Iaver: impulso medio; Imax: impulso máximo; DF: variación de la fuerza intra-ciclo; DV: variación de la velocidad intra-ciclo; p: nivel de significación; r: nivel de asociación.  
\* $P < 0,05$ .

De a velocidad cero presentó valores muy superiores a los de  $dv$  ( $p < 0,001$ ;  $d = 4,27$ ). No hubo diferencias significativas en la frecuencia de ciclo entre los 30 segundos de nado atado y los 50-m, tampoco hubo diferencias significativas en el RPE obtenido post 30

segundos de nado atado y los post 50-m (tabla 2).

Tabla 2: diferencias en frecuencia de ciclo y percepción del esfuerzo percibido entre nado libre y nado atado

	SR		RPE	
	p	d	P	d
25m	0,001	0,99	0,014	0,69
50m	0,794	0,06	0,13	0,4
100m	<0,001	1,17	<0,001	1,07

SR: frecuencia de ciclo; RPE: rango de esfuerzo percibido; p: nivel de significación; d: tamaño del efecto.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos en nuestro estudio están en línea con otros estudios previos. La fuerza promedio es un parámetro fiable, tal y como Taylor, Lees, Stratton, y MacLaren (2001) señalaron. Sin embargo estos autores afirmaron que este era el único parámetro fiable. Nuestros resultados muestran una mayor correlación con el impulso máximo, de acuerdo a estudios más recientes, los cuáles destacan el impulso máximo como el parámetro más preciso (Amaro et cols., 2014; Morouço et cols., 2014).

La literatura ha presentado diferentes resultados relacionados con la  $dv$ . Ninguna asociación lineal con el rendimiento (Psycharakis, Naemi, Connaboy, McCabe, & Sanders, 2010), existe asociación polinomial (Barbosa et cols., 2006) y más recientemente Morouço et cols., (2017) señalaron que la mejor asociación se establece con una relación polinomial de segundo orden. Nuestros resultados no presentan asociación lineal de  $dv$  con el rendimiento. Además, se han encontrado mayores asociaciones del rendimiento con la  $dF$  que con la  $dv$ , tal y como señalaron Morouço et cols., (2017). Sin embargo, ninguna de ellas fue significativa. Esta diferencia se puede deber a la metodología empleada, ya que tuvimos que restringir la acción de piernas. La contribución relativa de los brazos en hombres es del 70,3% (Morouço, Marinho, Izquierdo, Neiva y Marques, 2015), mostrando un porcentaje de diferencia entre nado atado completo y solo brazos.

La frecuencia de ciclo y RPE no fueron significativamente diferentes en los 30-s de nado atado y los 50-m nado libre, confirmando que los 30-s son capaces de replicar el esfuerzo en 50-m (Morouço et cols., 2014). Por el contrario, existen diferencias con las otras dos distancias, por tanto, podemos asumir que los 30-s no replican el esfuerzo en 25-m ni 100-m. El esfuerzo llevado a cabo en esas distancias se puede replicar mediante otras duraciones, como pueden ser 15-s o 60-s (Kalva-Filho et cols., 2015)

Es necesario mencionar dos limitaciones: 1) exclusión de la acción de piernas, para evitar tocar el cable y que interfiriera en el registro 2) no fuimos capaces de medir variables fisiológicas como la frecuencia

cardiaca y el lactato. Por otro lado en el futuro emplearemos un nuevo sistema que nos permita analizar sin restringir las piernas. En conclusión nuestro estudio confirma que la fuerza media y el impulso máximo están asociados con el rendimiento. La variación de fuerza y velocidad intra-ciclo no están asociadas con el rendimiento. El esfuerzo producido en 30 segundos de nado atado corresponden con el de 50 metros nado libre.

## Financiación

Este estudio fue financiado por el proyecto DEP2014-59707-P "SWIM: Specific Water Innovative Measurements applied to the development of International Swimmers in Short Swimming Events (50 and 100 m), por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (Agencia Española de Investigación) y la European Regional Development Fund (ERDF) y por la beca pre-doctoral [FPU17/02761] del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España. Forma parte de la tesis internacional desarrollada en el programa de doctorado en Biomedicina (B11.56.1), de la Universidad de Granada, Granada, (España).

## BIBLIOGRAFÍA

- Akis, T., & Orcan, Y. (2004). Experimental and analytical investigation of the mechanics of crawl stroke swimming. *Mechanics Research Communications*, 31(2), 243–261. <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2003.07.001>
- Amaro, N. M., Morouço, P. G., Marques, M. C., Fernandes, R. J., & Marinho, D. A. (2017). Biomechanical and bioenergetical evaluation of swimmers using fully-tethered swimming: A qualitative review. *Journal of Human Sport and Exercise*, 12(4), 1346–1360. <https://doi.org/10.14198/jhse.2017.124.20>
- Amaro, N., Marinho, D. A., Batalha, N., Marques, M. C., & Morouço, P. (2014). Reliability of tethered swimming evaluation in age group swimmers. *Journal of Human Kinetics*, 41(1), 155–162. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0043>

- Barbosa, A. C., de Souza Castro, F., Dopsaj, M., Cunha, S. A., & Júnior, O. A. (2013). Acute responses of biomechanical parameters to different sizes of hand paddles in front-crawl stroke. *Journal of Sports Sciences*, 31(9), 1015–1023. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.762597>
- Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C., & Silva, A. J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: Updating the state of the art. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 262–269. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.01.003>
- Barbosa, T. M., Lima, F., Portela, A., Novais, D., Machado, L., Colaço, P., ... Vilas-Boas, J. P. (2006). Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation in competitive swimming strokes. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6(2), 192–194.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 14(5), 377–381. <https://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioural sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Dominguez-Castells, R., Izquierdo, M., & Arellano, R. (2013). An updated protocol to assess arm swimming power in front crawl. *International Journal of Sports Medicine*, 34(4), 324–329. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1323721>
- Dopsaj, M., Matković, I., & Zdravković, I. (2000). The relationship between 50m—Freestyle results and characteristics of tethered forces in male sprinters: A new approach to tethered swimming test. *Phys Educ Sport*, 1, 15–22.
- Kalva-Filho, C. A., Zagatto, A. M., Araújo, M. I. C., Santiago, P. R. P., Da Silva, A. S. R., Gobatto, C. A., & Papoti, M. (2015). Relationship Between Aerobic and Anaerobic Parameters From 3-Minute All-Out Tethered Swimming and 400-m Maximal Front Crawl Effort. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(1), 238–245.
- Keskinen, K. L., Tilli, L. J., & Komi, P. V. (1989). Maximum velocity swimming: Interrelationships of stroking characteristics, force production and anthropometric variables. *Scand J Sport Sci*, 11, 87–92.
- Kjendlie, P. L., & Thorsvald, K. (2006). A tethered swimming power test is highly reliable. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6(2), 231–233.
- Leblanc, H., Seifert, L., Tourny-Chollet, C., & Chollet, D. (2007). Intra-cyclic distance per stroke phase, velocity fluctuations and acceleration time ratio of a breaststroker's hip: A comparison between elite and nonelite swimmers at different race paces. *International Journal of Sports Medicine*, 28(2), 140–147. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924205>
- Maglischo, C. W., Maglischo, E. W., Sharp, R. L., Zier, D. J., & Katz, A. (1984). Tethered and nontethered crawl swimming. *Sports Biomechanics*, 163–176.
- Morouço, P. G., Barbosa, T., Arellano, R., & Vilas-Boas, J. P. (2017). Intra-Cyclic Variation of Force and Swimming Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 0(0), 1–20. <https://doi.org/Doi: 10.1123/ijsp.2017-0223>
- Morouço, P. G., Marinho, D. A., Izquierdo, M., Neiva, H., & Marques, M. C. (2015). Relative Contribution of Arms and Legs in 30 s Fully Tethered Front Crawl Swimming. *BioMed Research International*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/563206>
- Morouço, P. G., Marinho, D. A., Keskinen, K. L., Badillo, J. J., & Marques, M. C. (2014). Tethered Swimming Can Be Used to Evaluate Force Contribution for Short-Distance Swimming Performance. *Journal of Human Kinetics*, 28(11), 3093–3099.
- Narita, K., Nakashima, M., & Takagi, H. (2017). Developing a methodology for estimating the drag in front-crawl swimming at various velocities. *Journal of Biomechanics*, 54, 123–128. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2017.01.037>
- Neiva, H., Marques, M. C., Marinho, D. A., Silva, A. J., Morouço, P., Neiva, H., ... Marinho, D. A. (2011). The Effect Of Warm-up on Tethered Front Crawl Swimming Forces. *Journal of Human Kinetics*, (Special Issue), 113–119. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0066-1>
- Psycharakis, S. G., Naemi, R., Connaboy, C., McCabe, C., & Sanders, R. H. (2010). Three-dimensional analysis of intracycle velocity fluctuations in frontcrawl swimming. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(1), 128–135. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00891.x>
- Samson, M., Monnet, T., Bernard, A., Lacouture, P., & David, L. (2018). Comparative study between fully tethered and free swimming at different paces of swimming in front crawl. *Sports Biomechanics*, (June), 1–16. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1443492>
- Takagi, H., Sugimoto, S., Nishijima, N., & Wilson, B. D. (2004). Differences in Stroke Phases, Arm-Leg Coordination and Velocity Fluctuation due to Event, Gender and Performance Level in Breaststroke. *Sports Biomechanics*, 3, 15–27.
- Taylor, S., Lees, A., Stratton, G., & MacLaren, D. (2001). Reliability of force production in tethered freestyle swimming among competitive age-group swimmers. *Journal of Sport Sciences*, 19, 12–13.
- Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R. J., & Barbosa, T. M. (2011). Intra-cycle velocity variations, swimming economy, performance and training in swimming. In *The world book of swimming: from science to performance* (pp. 119–134). New York: Nova Science Publishers.