

BID.T 7913

VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

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



"ANÁLISIS EN EL DOMINIO TEMPORAL Y FRECUENCIAL DE LA ACELERACIÓN EN LOS CUATRO ESTILOS DE COMPETICIÓN DE NATACIÓN"

TESIS DOCTORAL
PROGRAMA DE DOCTORADO 987-122A
DPTO. EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA

PRESENTADA POR:
Joaquín Madera Gil

DIRIGIDA POR:
Dr. D. Luis-Millán González Moreno
Dr. D. Víctor Tella Muñoz

Valencia, 2011

UMI Number: U607598

All rights reserved

INFORMATION TO ALL USERS

The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted.

In the unlikely event that the author did not send a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if material had to be removed, a note will indicate the deletion.



UMI U607598

Published by ProQuest LLC 2014. Copyright in the Dissertation held by the Author.
Microform Edition © ProQuest LLC.

All rights reserved. This work is protected against
unauthorized copying under Title 17, United States Code.



ProQuest LLC
789 East Eisenhower Parkway
P.O. Box 1346
Ann Arbor, MI 48106-1346

b 21930065

i 2321370X

CB 0002203447

BID. T 7813

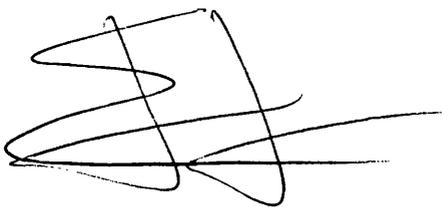
Dr. D. Luis-Millán González Moreno, Profesor Titular de la Universitat de València, adscrito al Departamento de Educación Física y Deportiva.

Dr. D. Víctor Tella Muñoz, Profesor Titular de la Universitat de València, adscrito al Departamento de Educación Física y Deportiva.

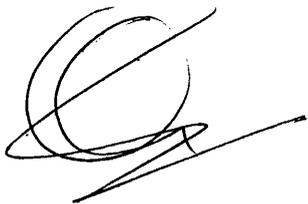
CERTIFICAN:

Que el presente trabajo, titulado "Análisis en el dominio temporal y frecuencial de la aceleración en los cuatro estilos de competición de natación", ha sido realizado bajo su dirección en el Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universitat de València, por Don. Joaquín Madera Gil, para optar al grado de Doctor en Ciencias de la Actividad Física y Deporte. 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 19 de diciembre de 2011.



Fdo: L-M. González Moreno



Fdo: V. Tella Muñoz

Creo oportuno mostrar mi agradecimiento a:

Los doctores D. Luis Millán González Moreno y D. Víctor Tella Muñoz porque su disponibilidad y apoyo han sido constantes durante el periodo de elaboración de este trabajo, y porque han sabido orientarme en las arduas labores de investigación, y es por ello que me siento privilegiado por haber compartido con ellos su tiempo y conocimiento.

Dr. Juan Benavent Mahiques por su desinteresada y extraordinaria colaboración en la recogida de datos para la confección de este trabajo.

D. Xavier García-Massó que me ha guiado por los complejos caminos de la estadística, y ha tenido a bien compartir conmigo sus conocimientos y experiencia.

Dr. Jose Enrique Gallach Lazcorreta por sus continuos ánimos para la realización de este proyecto, más allá de la mera relación profesional.

D. Javier de Aymerich de San Román por su ayuda, apoyo y amistad.

Los entrenadores y nadadores de los clubes y centros en los que se realizaron las pruebas (C.N. Ferca, C.N. Piscis, Club Valenciano de Natación, Centro de Tecnificación de la Federación de Natación de la Comunidad Valenciana y Centro de Tecnificación de la Federación Vasca de Natación). Y, en especial, a D. Manuel Barrachina Moreno "Barra" porque inició en mí el gusto y pasión por este deporte, y le considero una referencia como entrenador y persona.

Elena, que ha soportado este proceso conmigo, y me ha animado constantemente, entendiendo mis ausencias y apoyándome en los momentos difíciles.

Y, especialmente, a mis padres, Nieves y Joaquín, que me han dado todo, y que entendieron y me supieron transmitir que mi formación me acercaría a aquello a lo que intentara llegar.

Índice

PREÁMBULO.....	29
I. INTRODUCCIÓN.....	31
I.1. La técnica de los estilos de nado en natación.....	33
I.1.1. El reglamento FINA sobre los estilos en natación.....	35
I.1.2. Las fuerzas que actúan durante el nado.....	37
I.1.2.1. Fuerzas que determinan la flotabilidad.....	38
I.1.2.2. Fuerzas que determinan la capacidad de desplazamiento.....	40
I.1.2.2.1. Fuerzas de resistencia en el medio acuático.....	41
I.1.2.2.2. Fuerzas propulsivas en el medio acuático.....	46
I.1.3. Acciones propulsivas y su coordinación.....	48
I.1.3.1. <i>Front crawl</i> (crol).....	49
I.1.3.2. Mariposa.....	54
I.1.3.3. Espalda.....	58
I.1.3.4. Braza.....	61
I.2. El análisis de la técnica en natación.....	64
I.2.1. Análisis cinemático.....	66

Índice

I.2.1.1. Metodología.....	70
I.2.1.2. Frecuencia de ciclo.....	85
I.2.1.3. Longitud de ciclo.....	90
I.2.1.4. Índice de ciclo	94
I.2.1.5. Índice de coordinación.....	96
I.2.1.6. Velocidad intraciclo	100
I.2.1.7. Aceleración intraciclo.....	110
I.3. Objetivos e hipótesis	114
II. Material y métodos.....	117
II.1. Diseño	119
II.2. Sujetos	120
II.3. Procedimiento general.....	121
II.4. Aparataje empleado	122
II.5. Recogida de datos básicos y mediciones antropométricas	125
II.6. Protocolo de calentamiento.....	126
II.7. Procedimiento de toma de datos cinemáticos	126
II.8. Análisis de datos.....	129
II.8.1. Selección de la zona de interés.....	129
II.8.2. Filmación y frecuencia de ciclo.....	129
II.9. Análisis estadístico	131
III. Resultados.....	133
III.1. Diferentes tipos de espectro	135
III.2. Diferencias entre estilos	137

III.2.1. Variables dominio temporal	137
III.2.2. Variables dominio frecuencial	139
III.3. Diferencias en función del género, nivel y género x nivel en los diferentes estilos de nado	141
III.3.1. Diferencias entre géneros	141
III.3.1.1. Braza.....	141
III.3.1.1.1. Dominio temporal.....	141
III.3.1.1.2. Dominio frecuencial.....	141
III.3.1.2. Crol	142
III.3.1.2.1. Dominio temporal.....	142
III.3.1.2.2. Dominio frecuencial.....	143
III.3.1.3. Mariposa.....	143
III.3.1.3.1. Dominio temporal.....	143
III.3.1.3.2. Dominio frecuencial.....	143
III.3.1.4. Espalda.....	144
III.3.1.4.1. Dominio temporal.....	144
III.3.1.4.2. Dominio frecuencial.....	145
III.3.2. Diferencias entre niveles.....	145
III.3.2.1. Braza.....	145
III.3.2.1.1. Dominio temporal.....	145
III.3.2.1.2. Dominio frecuencial.....	146
III.3.2.2. Crol	146
III.3.2.2.1. Dominio temporal.....	146
III.3.2.2.2. Dominio frecuencial.....	147
III.3.2.3. Mariposa.....	147

Índice

III.3.2.3.1. Dominio temporal.....	147
III.3.2.3.2. Dominio frecuencial.....	148
III.3.2.4. Espalda.....	148
III.3.2.4.1. Dominio temporal.....	148
III.3.2.4.2. Dominio frecuencial.....	149
III.3.3. Diferencias en función de la interacción nivel x género	149
III.3.3.1. Braza.....	149
III.3.3.1.1. Dominio temporal.....	149
III.3.3.1.2. Dominio frecuencial.....	150
III.3.3.2. Crol	151
III.3.3.2.1. Dominio temporal.....	151
III.3.3.2.2. Dominio frecuencial.....	152
III.3.3.3. Mariposa.....	152
III.3.3.3.1. Dominio temporal.....	152
III.3.3.3.2. Dominio frecuencial.....	153
III.3.3.4. Espalda.....	153
III.3.3.4.1. Dominio temporal.....	153
III.3.3.4.2. Dominio frecuencial.....	154
III.4. Correlaciones de la velocidad con todas las demás variables por estilo.....	155
IV. Discusión	157
IV.1. Sobre la muestra.....	159
IV.2. Sobre el aparataje.....	163
IV.3. Sobre la reducción de datos	164

IV.4. Sobre los tipos de espectro frecuencial de la aceleración.....	165
IV.5. Sobre los valores y las diferencias encontradas en la variables cinemáticas en el dominio temporal	167
IV.6. Sobre la relación de la velocidad con las variables cinemáticas en el dominio temporal	172
IV.7. Sobre diferencias encontradas en la variables cinemáticas en el dominio frecuencial.....	174
IV.8. Sobre la relación de la velocidad con las variables cinemáticas en el dominio frecuencial.....	177
V. Limitaciones, prospectiva de investigación y aplicaciones prácticas.....	179
VI. Conclusiones	185
VI. Bibliografía.....	189

Índice de figuras

Figura I.1. Posición de <i>streamline</i> después del impulso de la pared	44
Figura I.2. Componentes técnicos del tiempo total de competición y las unidades de cada una de las variables traducido de Arellano (2004).....	65
Figura I.3. Diseño del sistema de registro de la velocidad intraciclo utilizado por Karpovich (1930) y Miyashita (1971)	73
Figura I.4. Variaciones de la velocidad intraciclo durante 3 ciclos de nado y aplicación de las fuerzas de ambos brazos en el estilo crol utilizado por Karpovich (1930) en Buckwitz, Bähr, y Ungerechts (2003).....	74
Figura I.5. Sistema de registro del desplazamiento del nadador en la piscina de corriente y muestra de la variación de la velocidad durante un ciclo de nado en el crol (Buckwitz et al., 2003)	76
Figura I.6. Colocación del acelerómetro y ejes de movimiento (Slawson, Justham, West, Conway, Caine, & Harrison, 2008)	82
Figura I.7. Ejemplo de análisis realizado con la señal de posición con respecto al tiempo (Tella, Toca-Herrera, Gallach, Benavent, Gonzalez, & Arellano, 2008).....	84
Figura I.8. Ejemplo de comportamiento técnico de la FC y LC en relación con la velocidad de nado en el test de 5x200 metros crol en un nadador (Navarro, 1996).....	88

Índice de figuras

Figura I.9. Variaciones de la velocidad de las manos (superior) y de la velocidad de desplazamiento del nadador (inferior) en un ciclo de nado de crol (E.W. Maglischo, 2003)	104
Figura I.10. Perfiles de velocidad en un ciclo del estilo mariposa en tres nadadores a la misma FC (Craig et al., 2006).....	104
Figura I.11. Variaciones de la velocidad durante un ciclo del estilo mariposa. Los picos corresponden a las diferentes fases durante el nado (E.W. Maglischo, 2003).....	105
Figura I.12. Variación intraciclo de la velocidad en dos ciclos de nado en el estilo braza (Buckwitz et al., 2003)	105
Figura I.13. Variación intraciclo de la velocidad en un ciclo completo en el estilo espalda (Buckwitz et al., 2003)	106
Figura I.14. Curvas de velocidad (arriba) y aceleración (abajo) de un nadador en braza y crol (Holmér, 1979).....	112
Figura I.15. Espectro frecuencial de la aceleración y la velocidad de un nadador durante el nado de crol (Holmér, 1979).....	114
Figura II.1. Transductor de posición SportMetrics®	123
Figura II.2. Cinturón MARES®	124
Figura II.3. Acondicionador de señales	124
Figura II.4. Esquema de situación del aparataje durante los tests	127
Figura II.5. Ejemplo del incremento de velocidad durante el impulso de la pared en el estilo braza	129

Índice de figuras

Figura III.1. Ejemplo de dos espectros de los tipos 1 y 2 en el estilo braza	136
Figura III.2. Ejemplo de dos espectros de los tipos 1 y 2 en el estilo crol	136
Figura III.3. Ejemplo de dos espectros de los tipos 1 y 2 en el estilo mariposa	136
Figura III.4. Ejemplo de dos espectros de los tipos 1 y 2 en el estilo espalda	137
Figura III.5. Gráfica de las diferencias entre los estilos de las variables FC, LC, Ic y Velocidad media	138
Figura III.6. Gráfica de las diferencias entre los estilos de las variables RMS Aceleración, Mínimo Aceleración y Máximo Aceleración	139
Figura III.7. Gráfica de las diferencias entre los estilos de las variables <i>Power Peak</i> , <i>Power Peak Frequency</i> y Área espectral	140

Índice de tablas

Tabla I.1. Eventos de las competiciones organizadas por la FINA (FINA, 2011)	34
Tabla I.2. Valores del IdC, sus correspondientes tipos de coordinación teórica en los estilos de movimientos alternados (crol y espalda) y efecto en la alternancia de los gestos propulsivos de los brazos (Chollet, Chabies, & Chatard, 2000)	51
Tabla I.3. Relación de los movimientos de los brazos y de las piernas en el estilo crol.....	54
Tabla I.4. Momentos propulsivos (T) y valores del IdC con el correspondiente efecto en la coordinación brazos-piernas en el estilo mariposa (Chollet, Seifert, Boulesteix, & Carter, 2006)	57
Tabla I.5. Relación de los movimientos de los brazos, de las piernas y del cuerpo en el estilo mariposa.....	58
Tabla I.6. Relación de los movimientos de los brazos y de las piernas en el estilo espalda.....	61
Tabla I.7. Momentos propulsivos (T) y valores del IdC con el correspondiente efecto en la coordinación brazos-piernas en el estilo braza (plana) (Chollet, Seifert, Leblanc, Boulesteix, & Carter, 2004).....	63
Tabla I.8. Relación de los movimientos de los brazos, de las piernas y del cuerpo en el estilo braza	64
Tabla I.9. Diferentes métodos de evaluación objetiva de la técnica (Sánchez-Molina & Maañón, 2007)	66

Índice de tablas

Tabla I.10. Puntos de referencia de los diferentes sistemas de medición de la velocidad intraciclo	72
Tabla I.11. Ventajas e inconvenientes de los sistemas de registro de la velocidad intraciclo (adaptado de Vilas-Boas, 1997).....	72
Tabla I.12. Principales trabajos sobre la velocidad intraciclo	80
Tabla I.13. Principales trabajos de análisis de la aceleración de desplazamiento del nadador.....	84
Tabla I.14. Valores medios de velocidad (v) en $m \cdot s^{-1}$ y frecuencia de ciclo (FC) en Hz de los 100 metros de los diferentes estilos en nadadores de alto nivel	86
Tabla I.15. Rangos de FC (Hz) para las distintas pruebas y distancias en ambos géneros (adaptado de E. W. Maglischo, 1982)	87
Tabla I.16. Valores de correlación parcial entre la velocidad de nado (v), la frecuencia de ciclo (FC) y la longitud de ciclo (LC) (T. M. Barbosa, Fernandes et al., 2008).....	88
Tabla I.17. Diferencias por género de la FC en las pruebas de 100 metros de cada estilo (Morales, 2006)	89
Tabla I.18. Valores medios de la LC de las pruebas de 50 metros en los cuatro estilos en los campeonatos de Fukuoka 2001, Berlín 2002 y Barcelona 2003 (Kilani & Zeidan, 2004).....	91
Tabla I.19. Valores de correlación parcial entre la velocidad de nado (v) y la longitud de ciclo (LC)	

Índice de tablas

controlando la frecuencia de ciclo (FC) (T. M. Barbosa, Fernandes et al., 2008)	92
Tabla 1.20. Valores medios de la LC en las pruebas de 200 metros femeninos en las semifinales de Atenas 2004 y el Campeonato nacional de Francia 2004 (Hellard, Dekerle, Avalos, Caudal, Knopp, & Hausswirth, 2008)	92
Tabla I.21. Evolución y diferencias porcentuales de la LC en nadadores masculinos en campeonatos nacionales separados por dos años (Tella, Llana, Madera, & Navarro, 2002).....	93
Tabla I.22. Valores medios de la LC de las pruebas de 50 en los cuatro estilos en los campeonatos de Fukuoka 2001, Berlín 2002 y Barcelona 2003 (Kilani & Zeidan, 2004).....	94
Tabla I.23. Valores medios y diferencias de la LC en la prueba de 100 libres en tres niveles (adaptado de Seifert, Chollet, & Chatard, 2007)	94
Tabla I.24. Valores medios de IdC (crol y espalda) y tiempos (braza y mariposa) en las pruebas de 50 metros (Chollet et al., 2000; Chollet et al., 2004; Chollet et al., 2006; Chollet et al., 2008).....	97
Tabla I.25. Términos utilizados para definir el concepto de la variación de la velocidad intraciclo	102
Tabla II.1. Características antropométricas básicas y puntuaciones por estilo de los participantes (n=51).....	121
Tabla II.2. Características antropométricas básicas y puntuaciones por estilo de los participantes del género femenino (n=21) y masculino (n=30).....	121

Índice de tablas

Tabla II.3. Especificaciones técnicas del transductor de posición SportMetrics®	123
Tabla III.1. Distribución de los diferentes tipos de espectro en los cuatro estilos, global, por género (♂ y ♀) y por nivel (N1 y N2)	135
Tabla III.2. Datos descriptivos de todas las variables en el dominio temporal de los cuatro estilos y comparación post-hoc de Bonferroni entre los estilos	138
Tabla III.3. Datos descriptivos de todas las variables en el dominio frecuencial de los cuatro estilos y comparación post-hoc de Bonferroni entre los estilos	140
Tabla III.4. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio temporal del estilo braza	141
Tabla III.5. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio frecuencial del estilo braza.....	142
Tabla III.6. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio temporal del estilo crol	142
Tabla III.7. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio frecuencial del estilo crol	143
Tabla III.8. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio temporal del estilo mariposa	143
Tabla III.9. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio frecuencial del estilo mariposa	144
Tabla III.10. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio temporal del estilo espalda	144
Tabla III.11. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio frecuencial del estilo espalda	145

Índice de tablas

Tabla III.12. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio temporal del estilo braza	145
Tabla III.13. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio frecuencial del estilo braza.....	146
Tabla III.14. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio temporal del estilo crol	147
Tabla III.15. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio frecuencial del estilo crol	147
Tabla III.16. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio temporal del estilo mariposa	148
Tabla III.17. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio frecuencial del estilo mariposa	148
Tabla III.18. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio temporal del estilo espalda	149
Tabla III.19. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio frecuencial del estilo espalda	149
Tabla III.20. Datos descriptivos de las variables en el dominio temporal en el estilo braza al comparar los géneros y niveles.....	150
Tabla III.21. Datos descriptivos de las variables en el dominio frecuencial en el estilo braza al comparar los géneros y niveles.....	150
Tabla III.22. Datos descriptivos de las variables en el dominio temporal en el estilo crol al comparar los géneros y niveles	151

Índice de tablas

Tabla III.23. Datos descriptivos de las variables en el dominio frecuencial en el estilo crol al comparar los géneros y niveles.....	152
Tabla III.24. Datos descriptivos de las variables en el dominio temporal en el estilo mariposa al comparar los géneros y niveles.....	152
Tabla III.25. Datos descriptivos de las variables en el dominio frecuencial en el estilo mariposa al comparar los géneros y niveles.....	153
Tabla III.26. Datos descriptivos de las variables en el dominio temporal en el estilo espalda al comparar los géneros y niveles.....	154
Tabla III.27. Datos descriptivos de las variables en el dominio frecuencial en el estilo espalda al comparar los géneros y niveles.....	154
Tabla III.28. Correlaciones de la velocidad media de cada uno de los estilos con las demás variables.....	155

Abreviaturas

FINA: Federación Internacional de Natación Amateur

FC: frecuencia de ciclo

LC: longitud de ciclo

Ic: índice de ciclo

IdC: índice de coordinación

VVI: variación de la velocidad intraciclo

CV: coeficiente de variación de la velocidad

TT: suma de los lapsos de tiempo entre las acciones de piernas y brazos (estilos braza y mariposa)

RMS: *root mean square* (valor cuadrático medio)

Min: valor mínimo de la aceleración

Max: valor máximo de la aceleración

PP: *power peak* o pico de potencia

PPF: *power peak frequency* o frecuencia del pico de potencia

AS: área espectral

MAD: *measurement of active drag* (medición de la resistencia activa)

2D: dos dimensiones

3D: tres dimensiones

0. PREÁMBULO

Preámbulo

El análisis técnico de la natación ha ido evolucionando en las últimas décadas. Desde los primeros análisis de la competición a las simulaciones por ordenador, se han intentado esclarecer los aspectos más importantes que inciden en el rendimiento de los nadadores.

En una primera etapa, la descripción de los sucesos cinemáticos que tienen lugar durante la competición ha servido para elaborar unos perfiles de nado que distinguían los diferentes patrones que los nadadores adoptaban en cada distancia y estilo. Con la evolución tecnológica de los 40 últimos años, los diversos autores han profundizado en ciertos aspectos que detallaban de mejor manera las acciones que los nadadores realizaban durante el nado. La coordinación en la aplicación de las fuerzas propulsivas ha dado pie a un gran número de artículos y publicaciones que, desde diferentes puntos de vista o metodologías, han intentado esclarecer los efectos o resultados de las diferentes posibilidades de coordinación.

Así, los diferentes enfoques de la valoración del rendimiento en natación han desarrollado diversas líneas de investigación que se han ocupado de, en primer lugar, dar validez al tipo de metodología de captación de datos utilizada, en segundo lugar de aportar información que describa los diferentes gestos analizados, y, en último lugar, aplicar los métodos estadísticos adecuados al tipo de estudio para poder dar una perspectiva general de las diferentes hipótesis planteadas.

El estudio de la aceleración en natación es un campo en el que todavía hay un gran espacio para investigar. La aceleración del nadador durante el nado, es el resultado directo de la aplicación de

Preámbulo

fuerzas en la dirección del nado y en la opuesta a este (propulsivas y de resistencia).

En el marco del reglamento de la Federación Internacional de Natación Amateur (FINA) y con los modelos técnicos que se han ido presentando a lo largo de la historia de la natación, las principales acciones que se desarrollan durante la competición son de carácter cíclico. Es ese atributo del nado, la periodicidad de las acciones durante el nado, lo que nos motiva a realizar un análisis de la frecuencia de la señal de la aceleración en los cuatro estilos de competición. Así, surge la posibilidad de realizar un análisis frecuencial de la aceleración del nadador, que trate de aportar más datos sobre su eficiencia mecánica.

I. INTRODUCCIÓN

I. Introducción

I.1. La técnica de los estilos de nado en natación

La técnica que se utiliza en natación viene determinada por las limitaciones y características que establece la FINA en su reglamento de competición sobre los diferentes estilos de nado. Ante estas normativas, nadadores, entrenadores y científicos buscan soluciones propulsivas para obtener el máximo rendimiento y en consecuencia establecer referencias o patrones técnicos de nado. Durante la realización de las pruebas o tests del presente trabajo, el reglamento vigente era el que estableció la FINA (Federación Internacional de Natación Amateur) desde el año 2005 hasta el 2009.

Los modelos técnicos que se aplican en natación están basados en la observación de las diferentes variaciones de gestos de los nadadores de élite (Reischle, 1993).

En natación, el movimiento coordinado de los segmentos interactúa con el agua no superficial y como reacción a esto el cuerpo se propulsa hacia delante (Ungerechts, 1992).

Es decir, que durante el nado están actuando fuerzas que tienen su origen en los movimientos del nadador y en las características y condiciones del agua como medio en el que se desplaza.

Las acciones técnicas que realizan los nadadores están condicionadas globalmente por aspectos genéticos, bioenergéticos, psicológicos, biomecánicos y fisiológicos (Morouço, Lima, & Vilas-Boas, 2005).

Además la técnica está sujeta a los cambios provocados por las exigencias en cada distancia de competición (ver tabla I.1). También otras variables como el entorno físico en el que se nade

I. Introducción

(piscina de 25, 50 metros o "aguas abiertas") influyen en el patrón de técnica utilizado.

Tabla I.1. Eventos de las competiciones organizadas por la FINA (FINA, 2011)

		Distancia	OLI	W.C. 50m	W.C. 25m
INDIVIDUAL	LIBRES	50	HM	HM	HM
		100	HM	HM	HM
		200	HM	HM	HM
		400	HM	HM	HM
		800	M	HM	M
		1.500	H	HM	H
	ESPALDA	50		HM	HM
		100	HM	HM	HM
		200	HM	HM	HM
	BRAZA	50		HM	HM
		100	HM	HM	HM
		200	HM	HM	HM
	MARIPOSA	50		HM	HM
		100	HM	HM	HM
		200	HM	HM	HM
	ESTILOS	100			HM
		200	HM	HM	HM
		400	HM	HM	HM
	RELEVOS	LIBRES	4x100	HM	HM
4x200			HM	HM	HM
ESTILOS		4x100	HM	HM	HM

La distancia está expresada en metros. OLI.: Olimpiadas; W.C. 50m; Campeonato del Mundo; W.C. 25m: Campeonato del Mundo en piscina corta; H: Hombres; M: Mujeres

El desplazamiento del nadador en las competiciones de natación depende de la distancia y estilo en la que se encuentre. Como se ha mencionado antes, los estilos que se utilizan en competición son cuatro: mariposa, espalda braza y libre. La descripción de los gestos de cada uno de estos estilos ha sido definida por diversos autores desde los sesenta, y ha venido presentando algunas variaciones para su mejora (sobre todo en el estilo braza).

Existen aspectos comunes a los cuatro estilos de natación como son el mantener una posición hidrodinámica durante la mayor

parte de la realización de las acciones propulsivas, el coordinar las acciones motrices para no perder velocidad durante los recobros, aprovechar las trayectorias o recorridos propulsivos de los segmentos, etc.

A pesar de ello los principales aspectos que definen una técnica son espacio-temporales. De esta manera son muchos autores que en función de las normativas vigentes en cada momento han descrito los gestos técnicos implicados en natación.

La técnica que define los estilos establece unos parámetros de ejecución para los brazos y las piernas, y un tipo o varios de coordinación de los diferentes segmentos implicados; así como la posición del cuerpo y sus variaciones además de la respiración y sus diferentes ritmos.

I.1.1. El reglamento FINA sobre los estilos en natación

El reglamento vigente en el momento de realizar este estudio es el Reglamento FINA con vigencia desde el año 2005 al año 2009 (FINA, 2011). En concreto estos son los artículos que delimitan las fases de nado de cada uno de los estilos:

[...] ESTILO LIBRE.

N.5.1. Estilo libre significa que, en una prueba así llamada, el nadador puede nadar cualquier estilo, excepto en las pruebas de estilos individual o por equipos, en las que estilo libre significa cualquier estilo que no sea espalda, braza o mariposa.

N.5.3. El nadador deberá romper la superficie del agua con alguna parte de su cuerpo a lo largo de la carrera, excepto en los virajes donde el nadador podrá permanecer completamente sumergido en una distancia de no más de 15 metros después de la salida y después de cada viraje. En este punto la cabeza debe haber roto la superficie.

ESTILO ESPALDA

N.6.2. A la señal de salida y después de los virajes, el nadador se impulsará y nadará sobre su espalda durante todo el recorrido, excepto cuando ejecuta un viraje según se determina en N.6.4. La

I. Introducción

posición normal de la espalda puede incluir un movimiento de balanceo del cuerpo hasta, sin llegar, a los 90 grados desde la horizontal. La posición de la cabeza es indiferente.

N.6.3. Cualquier parte del nadador debe romper la superficie del agua durante toda la carrera. Se le permitirá al nadador estar completamente sumergido durante el viraje, en la llegada y durante una distancia de no más de 15 metros después de la salida y de cada viraje. En ese punto la cabeza debe haber roto la superficie.

ESTILO BRAZA

N.7.1. Desde el comienzo de la primera brazada, después de la salida y después de cada viraje, el cuerpo se mantendrá sobre el pecho. No está permitido girar sobre la espalda en ningún momento. Durante toda la carrera el ciclo del estilo debe ser una brazada y una patada en ese orden.

N.7.2. Todos los movimientos de los brazos serán simultáneos y en el mismo plano horizontal, sin movimientos alternativos.

N.7.3. Las manos deberán ser impulsadas juntas hacia adelante, desde el pecho, ya sea por encima, por debajo o en la superficie del agua. Los codos deberán estar bajo el agua excepto en la brazada final antes del viraje, durante el viraje y la brazada final de la llegada. Las manos se llevarán hacia atrás, por encima o por debajo de la superficie del agua. Las manos no se llevarán más atrás de la línea de la cadera, excepto durante la primera brazada después de la salida y cada viraje.

N.7.4. Durante cada ciclo completo, alguna parte de la cabeza del nadador romperá la superficie del agua.

N.7.5. Los pies deberán girarse hacia afuera durante la parte propulsiva de la patada.

No estarán permitidos movimientos de "tijeras", "aleteo" o patada hacia abajo tipo delfín. Está permitido romper la superficie del agua con los pies, siempre que no venga seguido de una patada hacia abajo tipo delfín.

ESTILO MARIPOSA

N.8.1. Desde el comienzo de la primera brazada después de la salida y después de cada viraje el cuerpo deberá mantenerse sobre el pecho.

N.8.2. Ambos brazos deberán ser proyectados juntos a la vez hacia adelante, por encima de la superficie el agua, y llevarse hacia atrás simultáneamente durante toda la carrera.

I. Introducción

N.8.3. Todos los movimientos de las piernas hacia arriba y abajo serán simultáneos. Las piernas ó los pies no necesitan estar al mismo nivel, pero no podrán alternarse uno en relación con el otro. Un movimiento de patada de braza no está permitido.[...]

En resumen, el reglamento no requiere de ningún tipo de coordinación especial para los estilos libre y espalda, mientras que para los estilos braza y mariposa el reglamento precisa una serie de coordinaciones y movimientos de los brazos y de las piernas.

Para las pruebas en los estilos libres, la gran mayoría de los nadadores utilizan los estilos espalda y crol (*front crawl*) respectivamente. Estos dos estilos no requieren de ningún tipo de coordinación especial definida por el reglamento, pero numerosos autores desde las décadas de los 60 (Chollet, 2004; Costill, Maglischo, & Richardson, 1992; Counsilman, 1968; Counsilman, 1983; E. W. Maglischo, 1982; E. W. Maglischo, 1993; E. W. Maglischo, 2003; Schleihauf et al., 1988) han descrito gestos y coordinaciones (técnicas) para lograr un mayor rendimiento. Estas técnicas han sufrido ligeras variaciones a lo largo del tiempo, por las modificaciones reglamentarias y las aportaciones de autores que, mediante estudios biomecánicos han definido parámetros que mejoran la velocidad, y, en definitiva, el rendimiento en competición.

I.1.2. Las fuerzas que actúan durante el nado

El movimiento de los cuerpos viene determinado por el conjunto de fuerzas que actúan sobre ellos. Estas fuerzas y las interacciones del cuerpo con el medio o entorno cercano forman un conjunto denominado sistema mecánico (Gavilán, 2002).

En el sistema mecánico que forman el nadador y el agua existen dos tipos de fuerzas que definen el desplazamiento: fuerzas internas y fuerzas externas (Dapena, 1978).

I. Introducción

- Las fuerzas internas son las que se ejercen dentro del mismo sistema (nadador).
- Las fuerzas externas son todas que interactúan con el sistema al cual envuelven (gravedad y las que ejerce el fluido, en este caso el agua).

El sistema nadador se compone de todos los miembros articulados del cuerpo humano. Las fuerzas internas son parejas y su suma es igual a cero (Gavilán, 2002). La aplicación de las fuerzas internas sobre el agua es lo que hace que el nadador se desplace. La técnica de nado define los movimientos que se han de producir (dirección, continuidad, intensidad y coordinación) para que el desplazamiento sea eficiente.

Las fuerzas, con respecto a su efecto en el nadador, se dividen generalmente en a) componentes verticales (flotación y fuerzas gravitacionales) y b) propulsión (en la dirección y sentido del nado) y resistencia (en la dirección y sentido opuesto al nado) (Ungerechts, Buckwitz, & Bähr, 2003).

I.1.2.1. Fuerzas que determinan la flotabilidad

La flotación del nadador es el resultado de la aplicación de fuerzas verticales. Estas fuerzas son el peso (sentido descendente) y el empuje hidrostático (sentido ascendente). Para que un cuerpo se mantenga flotando sin movimiento, hace falta que el empuje hidrostático sea igual o mayor que el peso. El principio de Arquímedes (siglo III a.C.) determina la capacidad de flotación de un cuerpo sumergido en el medio acuático (*"todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y ascendente igual al peso del volumen de fluido desalojado"*). Cuando el peso sea menor o igual que el empuje hidrostático, el cuerpo flotará. Así, la capacidad de flotación de un cuerpo dependerá de su densidad y de la densidad del fluido donde se sumerja. Además, los puntos sobre los que se aplican ambas

I. Introducción

fuerzas (peso y empuje hidrostático) están separados; y esta separación de los vectores de las fuerzas provocan un desequilibrio que solo puede desaparecer mediante cambios de los segmentos corporales que modifiquen la ubicación de los puntos.

La densidad del agua dependerá de su temperatura y su osmolaridad (cantidad de solutos disueltos). En el caso de la natación, estas variables son estables (entre 25° y 28° y agua limpia) durante la competición (FINA, 2011).

La densidad del cuerpo humano no es totalmente homogénea por la complejidad de los principales tejidos que lo forman (Clauser, McConville, & Young, 1969). Las densidades de la mayoría de estos tejidos son superiores a las del agua (con la excepción del adiposo) y por lo tanto el ser humano no podría flotar en la mayoría de los casos. Pero es el aire (con muy poca densidad) ubicado en pulmones y vías respiratorias el que reduce la densidad del cuerpo humano, permitiendo la flotación pasiva (sin movimiento).

Ahora bien, la capacidad de flotación de cada nadador durante el nado estará determinada por un mayor o menor desequilibrio en la aplicación de las fuerzas resultantes. Por un lado, la densidad del agua permanece estable durante un tiempo determinado como puede ser el que transcurre durante una prueba de natación. Sin embargo la densidad del nadador debería ser constante si se toma como referencia la estabilidad de los diferentes tejidos que conforman al nadador. Pero los cambios de volumen de aire en los pulmones y en las vías respiratorias provocados por la respiración durante el nado tienen como resultado una densidad variable durante el desarrollo de una prueba en natación. Así, con respecto a la superficie del agua, esta variabilidad en la densidad del nadador durante el nado podría provocar cambios en la posición del cuerpo como consecuencia de los valores inestables de fuerza responsables de la flotación.

I. Introducción

Además del nivel de flotación determinado por la relación de densidades, hay que destacar el papel importante que juega la posición estable que puede mantener un nadador en relación al par de fuerzas que generan el peso y el empuje hidrostático.

Los puntos sobre los que se aplican ambas fuerzas (i.e. peso y empuje hidrostático) están separados y actúan provocando cambios en la posición del cuerpo hasta que ambas fuerzas actúan en la misma línea de acción.

Si se tiene en cuenta los cambios que se producen durante el nado a nivel segmentario es comprensible que este par de fuerzas actúe de manera cambiante provocando, de la misma forma que los cambios de densidad, una inestabilidad en las fuerzas que conforman el par de fuerzas en cada instante de un ciclo de nado.

En este sentido, la mayor concentración de tejido adiposo en las piernas de las nadadoras facilita el mantenimiento de la posición de nado y del uso de las piernas para la propulsión al necesitar menos esfuerzo para contrarrestar el par de fuerzas peso-empuje hidrostático (McLean & Hinrichs, 1998).

Otros estudios analizan el efecto de los bañadores de placas, tan polémicos en la primera década del siglo XXI, en la densidad del cuerpo y en el rendimiento. Ya los trabajos de Parsons y Day (1986) y Cordain y Kopriva (1991) mostraron que la disminución de la densidad por el uso de determinados bañadores mejoraba el rendimiento en natación.

I.1.2.2. Fuerzas que determinan la capacidad de desplazamiento

En natación, la mejora en el rendimiento se puede alcanzar mediante la reducción de las fuerzas de resistencia, con el aumento de las fuerzas propulsivas o con la combinación de ambos factores (Toussaint, 2002).

I.1.2.2.1. Fuerzas de resistencia en el medio acuático

Los primeros estudios sobre las fuerzas de resistencia en el medio acuático se realizaron sin que el nadador se desplazara en el agua de manera activa (Miyashita, 1999). Estos estudios se realizaron arrastrando nadadores con diferentes métodos de medición (Clarys & Jiskoot, 1975; Karpovich, 1933).

En la natación, el desplazamiento del nadador se produce por la interacción de este con el fluido que lo rodea (agua). En ciertas fases de este desplazamiento (salida y virajes) el nadador aplica fuerzas sobre puntos fijos y también sobre el agua. Sin embargo, durante el nado propiamente dicho el nadador avanza solamente mediante la aplicación de fuerzas sobre el agua.

La naturaleza de las fuerzas de resistencia del agua se explica por las propiedades físicas del medio: presión interna, densidad y viscosidad (Shahbazi, Mohammad, & Hojjat, 2008).

La presión interna es la magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie, se expresa en pascales (García López, 2008) y depende de la altura de la columna de agua (Reischle, 1993).

La densidad es la magnitud que expresa la relación entre el volumen y el peso y se expresa en Kg/m^3 (García López, 2008).

La viscosidad es una propiedad de los fluidos referida a las fuerzas de rozamiento interno que ocurre entre las partículas de los mismos (García López, 2008).

La estimación de las fuerzas durante el nado es problemática por el continuo cambio tanto del medio (agua y aire) como de las posiciones y de los segmentos corporales que adopta el nadador (Sanders, 1999).

I. Introducción

En función de las acciones que realiza el nadador, podemos diferenciar entre dos tipos de resistencia: pasiva y activa. La resistencia pasiva es la que soporta el nadador en fases concretas de la competición (salida y deslizamiento, viraje y deslizamiento y ciertos momentos del nado de braza y mariposa). La resistencia activa es la que experimenta el nadador durante la fase de nado (Gavilán, 2002).

La resistencia en los fluidos se caracteriza por la siguiente ecuación (Hochmuth, 1973):

$$D = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot v^2 \cdot S \quad (1)$$

Donde ρ es la densidad del fluido, v la velocidad relativa del cuerpo, S es el área máxima de sección transversal del cuerpo y C_D el coeficiente de resistencia.

Así, la resistencia durante el nado está relacionada con las características del nadador (Clarys, 1979), al coeficiente de resistencia (Clarys & Jiskoot, 1975; Clarys, 1978; Ungerechts, 1983) y sus resultados dependerán del método utilizado (indirecto, arrastre, semi-arrastre, MAD o *measuring active drag* y *swimming flume* o piscina de corriente) y sus resultados ofrecen datos muy dispares sobre ésta (Bixler, 2005; Di Prampero, Pendergast, Wilson, & Rennie, 1974; Kolmogorov & Duplishcheva, 1992; Toussaint, Hollander et al., 1988; Toussaint, 2002; Wilson & Thorp, 2003).

Bixler (2005) añade como factores que afectan a la resistencia, la velocidad de los segmentos del nadador, la aceleración del nadador o de sus segmentos y la profundidad a la que se encuentra el nadador o sus segmentos.

Otros autores establecen que las fuerzas de resistencia (F_r) que se oponen al avance del nadador son la resistencia de fricción (R_f), resistencia de presión o de forma (R_p) y la resistencia de oleaje (R_o) (Cureton, 1971; Fish, 1994; Karpovich, 1933; Sanders, Rushall, Toussaint, Stager, & Takagi, 2001; Toussaint, Hollander, Van den Berg, & Vorontsov, 2000; Toussaint et al., 2002; Toussaint, van Stralen, & Stevens, 2002).

$$F_r = R_f + R_p + R_o$$

(2)

La resistencia de fricción proviene del proceso de disipación de la energía durante el transcurso del paso del agua entre las varias capas de fluido donde el desplazamiento se procesa a velocidades diferentes (Alves, 1995). Algunos estudios (Sharp, Troup, & Costill, 1982; Sharp, Hackney, Cain, & Ness, 1988) muestran una clara mejora en la eficiencia del nado de crol y braza causada por la depilación del vello corporal y la consecuente reducción de la resistencia de fricción, aunque otros trabajos (Vilas-Boas, 2001) interpretan la eliminación del vello como una de las causas de la mejora en el rendimiento como consecuencia de otros factores, como los psicológicos o cinestésicos, que legitiman esta práctica. Sin embargo, algunos estudios realizados sobre el efecto de los bañadores, posteriormente prohibidos (FINA, 2011), en la resistencia tanto activa (Roberts, Kamel, Hedrick, McLean, & Sharp, 2003; Toussaint et al., 2002) como pasiva (Llana, Pérez, & Tella, 2004) no muestran diferencias significativas en los resultados obtenidos con y sin el uso de trajes.

La resistencia de presión, forma o arrastre, es una fuerza de resistencia que se opone al avance del nadador y es debida a la diferencia de presiones entre la parte que se enfrenta al avance y la posterior (García López, 2008). En inglés se utiliza el término *drag force* para definir este tipo de resistencia. Está producida por

I. Introducción

la separación de capa divisoria (Bixler, 2005) y responde a la siguiente fórmula:

$$R_p = P_{dif} \cdot S \quad (3)$$

Donde R_p es la resistencia de presión, P_{dif} es la diferencia de presiones entre la parte anterior y posterior del nadador y S es la superficie del área corporal que se enfrenta al avance del nadador (Toussaint & Truijens, 2005).

Uno de los objetivos en las técnicas de nado es coordinar las acciones propulsivas con posiciones del cuerpo en las que el corte de área corporal que se opone al avance del nadador sea lo más reducido posible.

La posición que ofrece el menor corte transversal al avance del nadador es la posición que en inglés se denomina *streamlining* o *streamline* y se consigue mediante la extensión y aducción de los brazos hasta que las manos se encuentran (juntan) por delante de la cabeza, manteniendo el resto del cuerpo en la misma línea y en dirección horizontal en el sentido del avance (hasta que el final de la fase hace que se realice un cambio de dirección hacia arriba para llegar a la superficie).



Figura I.1. Posición de *streamline* después del impulso de la pared

Sin embargo esta posición de mínima resistencia al avance solo se puede mantener fases del nado de algunos de los cuatro estilos de competición.

La Resistencia de oleaje solamente se hace efectiva cuando el nadador se desplaza cerca de la superficie e interactúa con ella (Toussaint, 2002): la presión que rodea al nadador que se desplaza crea un sistema de olas por delante que se mueven hacia delante en busca de un nivel estable (García López, 2008). El tamaño y anchura de la ola que produce el nadador se incrementa con el aumento de la velocidad (Toussaint, 2002). A cierta velocidad (velocidad crucero en términos náuticos) la longitud de la ola será igual a la longitud de la línea de agua del nadador, que es presumiblemente proporcional a la altura del mismo (Toussaint, 2002).

El número de Froude (Toussaint, Knops, De Groot, & Hollander, 1990) es el parámetro adimensional que representa la relación entre las fuerzas inerciales y gravitatorias, y que condiciona la resistencia de oleaje (de las olas superficiales) y se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{(g \cdot L)}} \quad (4)$$

Donde Fr es el número de Froude, v es la velocidad del nadador, g es la aceleración de la gravedad y L es la longitud del nadador (García López, 2008).

La resistencia de oleaje ha sido estudiada en situaciones de resistencia pasiva (Vennell, Pease, & Wilson, 2006), en situaciones de nado (Toussaint, 2002), para averiguar la velocidad máxima de desplazamiento en función de la altura del nadador (Takamoto, Ohmichi, & Miyashita, 1985; Vorontsov & Rumyantsev, 2000), para mostrar sus cambios en estudios longitudinales a nadadores en fase de crecimiento (Alves, Machado, Botelho, Rama, & Martins-Silva, 2005; Toussaint et al., 1990).

I. Introducción

I.1.2.2.2. Fuerzas propulsivas en el medio acuático

Diferentes modelos han analizado la propulsión del nadador a lo largo del siglo XX e inicios del XXI. Estos modelos han pasado de basar la propulsión en la tercera ley de Newton (Counsilman, 1968), en el Teorema de Bernoulli (Brown & Counsilman, 1971), en una combinación de ambas (Schleihauf, 1979), en la hipótesis propulsiva de los vórtices (Bixler & Riewald, 2002) y de nuevo en la tercera ley de Newton (Bixler, 2005).

Así, la estimación de la fuerzas propulsivas (Bixler, 2005) responderá:

-Al carácter tridimensional del desplazamiento de sus segmentos propulsivos como resultado de la aplicación de la ecuación que caracteriza la resistencia en los fluidos (Hochmuth, 1973) en sus tres direcciones de desplazamiento.

-A las aceleraciones de sus segmentos propulsivos que provoca que el agua circule a velocidad variable y que Bixler y Riewald (2002) cuantifican como un factor corrector adimensional que corrige la ecuación de resistencia en los fluidos:

$$\text{Número de aceleración} = a \cdot L / v^2 \quad (5)$$

Donde a es aceleración (m/s^2), L la longitud (m) y v^2 la velocidad al cuadrado (m/s)

-Al agua desplazada en el movimiento de los segmentos propulsivos. Para calcularla se utiliza otro factor adimensional (K o "masa añadida"), que se calcula al dividir la masa añadida por la masa total de agua desplazada por el segmento propulsivo y que corrige la ecuación de resistencia en los fluidos:

$$K = \frac{\text{Masa añadida}}{p} \cdot \psi \cdot a \quad (6)$$

Donde K es el coeficiente de masa, ρ es la densidad del agua (kg/m^3), V el volumen de la superficie propulsora y a la aceleración (m/s^2).

Una vez conocida la cinética de la brazada, parece interesante rescatar la metodología utilizada por Schleihauf (1979) para conocer el momento de fuerza, y que aplicó a las articulaciones de la muñeca, codo y hombro, para establecer que el momento de fuerza en la articulación del hombro en los nadadores de élite es el doble que en el codo y el triple con respecto a la muñeca. De esta manera estaríamos cerrando los principios que intervienen en la generación de fuerzas propulsivas y en la transmisión de estas a diferentes articulaciones e incluso al centro de masas como referente de los cambios de posición durante el nado.

No obstante los trabajos experimentales que han tenido como objeto de estudio cuantificar las fuerzas propulsivas han utilizado metodologías diferentes. Pérez-Soriano y Llana (2007) realizan una revisión histórica y diferencian:

- Metodologías basadas en la medición de la fuerza en situación de natación atada (Adams, Martin, Yeater, & Gilson, 1983; Arellano & Pardillo, 1992; A. C. Barbosa, Dopsaj, Okičić, & Andries, 2010; Christensen & Smith, 1987; Dopsaj, Matković, Thanopoulos, & Okičić, 2003; Kjendlie & Thorsvald, 2006; Magel, 1970; C. W. Maglischo, Maglischo, Sharp, Zier, & Katz, 1984; Morouço, 2009; Morouço, Keskinen, Vilas-Boas, & Fernandes, 2011; Peyrebrune, Robinson, Lakomy, & Nevell, 2003; Yeater, Martin, White, & Gilson, 1981).
- Metodologías basadas en la utilización de transductores de presión en segmentos propulsivos (Loetz, Reischle, & Schmitt, 1988; Takagi & Wilson, 1999).
- Metodologías basadas en el cálculo de la fuerza a través de datos cinemáticos del nado (Schleihauf et al., 1988).

I. Introducción

- Metodologías que calculan la fuerza con réplicas de la mano en canales de agua y túneles de viento (Berger, de Groot, & Hollander, 1995; Schleihauf, 1979).
- Metodologías basadas en la visualización de los vórtices que originan los movimientos propulsivos (Arellano, Pardillo, & García, 1999; Colwin, 1984; Hay & Thayer, 1989; Persyn & Colman, 1997).
- Metodología basada en la dinámica de fluidos computacional (Bixler & Riewald, 2002; Bixler, Pease, & Fairhurst, 2007)
- Metodología basada en la velocimetría de partículas por imagen (Kamata, Miwa, Matsuuchi, Shintani, & Nomura, 2006; Miwa, Matsuuchi, Shintani, Kamata, & Nomura, 2006).

Sin embargo, todavía en la actualidad resulta complicado determinar las fuerzas propulsivas durante el nado.

I.1.3. Acciones propulsivas y su coordinación

Numerosos autores desde la década de los 60 del siglo XX (Costill et al., 1992; Counsilman, 1968; Counsilman, 1983; E. W. Maglischo, 1982; E. W. Maglischo, 1993; E. W. Maglischo, 2003) han descrito acciones propulsivas y sus coordinaciones para lograr un mejor rendimiento en cada uno de los estilos de nado. Generalmente se ha hecho referencia a la:

- Acción de los brazos y su coordinación
- Acción de piernas y su coordinación
- Posición del cuerpo y su coordinación

A continuación se describen tanto las acciones propulsivas como las coordinaciones tomando como referencia a los principales autores que han estudiado las técnicas de nado. Para definir los movimientos de los brazos se han utilizado diferentes términos. Así, E.W. Maglischo (2003) utiliza el término *sweep*, mientras que

Colwin (1992) usa el vocablo *sculling* para detallar el movimiento de los brazos.

1.1.3.1. *Front crawl* (crol)

Los brazos en crol se mueven de manera alterna y en cada uno de ellos se distinguen dos grandes fases, una aérea o recobro y otra acuática o propulsiva (C. W. Maglischo et al., 1984). Mientras un ciclo completo de brazos se considera desde el inicio de la fase propulsiva de un brazo hasta el final de la fase de recobro del mismo brazo, una brazada se considera desde el inicio de la fase propulsiva cuando la mano entra en el agua hasta que termina la fase propulsiva cuando la mano sale del agua.

Los principales autores distinguen 3 movimientos propulsivos durante la trayectoria de la mano en el agua o fase acuática. E.W. Maglischo (2003) las denomina movimiento hacia abajo, movimiento hacia dentro y movimiento hacia arriba, mientras que Chollet (2004) las denomina agarre, tirón y empuje. Además, es común diferenciar momentos de transición entre la fase aérea y la fase propulsiva. En concreto E.W. Maglischo (2003) describe el momento en el que se produce la entrada de la mano, la extensión y deslizamiento posterior del brazo y una fase de liberación (*release*) del brazo una vez se ha terminado el movimiento hacia arriba. Ambos momentos no son propulsivos y disponen al brazo para iniciar la fase propulsiva o la fase aérea con la menor resistencia posible.

En cada uno de los movimientos propulsivos de brazos la acción de la mano irá acelerando al principio y decelerando al final para preparar el siguiente movimiento propulsivo (E. W. Maglischo, 2003) y de esta forma optimizar las fuerzas propulsivas que puedan generarse en función de la velocidad, posición y tiempo en que actúan en cada uno de los movimientos propulsivos (Bixler, 2005). En caso contrario, el número de acciones propulsivas podría

I. Introducción

no corresponder con el número de fuerzas generadas por los brazos.

También la coordinación entre las diferentes acciones de los brazos puede delimitar un número mayor o menor de fuerzas propulsivas en la medida de cómo coinciden en el tiempo las diferentes fases y sus movimientos propulsivos. De manera cualitativa, la descripción de estas coordinaciones ha sido descrita tomando referencias distintas.

Una de ellas (Counsilman, 1983) toma como referencia las diferentes posiciones de un brazo en función de que el otro brazo este en la fase de entrada/deslizamiento. Las posibilidades de coordinación son:

- En ángulo agudo, cuando un brazo se encuentra en el momento de la entrada/deslizamiento y el otro se encuentra al inicio del movimiento hacia dentro.
- En ángulo recto, cuando un brazo se encuentra en el momento de la entrada/deslizamiento y el otro se encuentra al inicio del movimiento hacia arriba.
- En ángulo obtuso, cuando un brazo se encuentra en el momento de la entrada/deslizamiento y el otro se encuentra al final del movimiento hacia dentro.

E.W. Maglischo (2003) y Costill et al. (1992) indican que existen tres tipos de coordinación: a) en recuperación o con "tiempo muerto" en un brazo en la fase de agarre y en la propulsiva del otro, b) en oposición en la que los brazos se "relevar" en las funciones propulsivas y c) en solapamiento o cuando las acciones finales de la propulsión de un brazo coinciden con el inicio de las del otro (*opposition, catch-up* y *superposition*).

En otro trabajo, Chollet, Chabies y Chatard (2000) cuantifican la coordinación brazo/brazo en crol calculando el tiempo medio

transcurrido entre el inicio del movimiento hacia abajo de un brazo y la finalización del movimiento hacia arriba del otro y viceversa. De esta manera obtienen un tiempo mayor o menor, calculando el porcentaje sobre el tiempo total invertido en el ciclo completo de nado. Si el índice de coordinación (IdC) es igual al 0% existe una coordinación coincidente, si el IdC es menor al 0% la coordinación es en oposición y si el IdC es mayor al 0% la coordinación es de superposición de las acciones propulsivas de brazos (ver tabla I.2).

Tabla I.2. Valores del IdC, sus correspondientes tipos de coordinación teórica en los estilos de movimientos alternados (crol y espalda) y efecto en la alternancia de los gestos propulsivos de los brazos (Chollet et al., 2000)

IdC	COORDINACIÓN	DESCRIPCIÓN	
IdC=0	Oposición*	Las acciones propulsivas de un brazo terminan cuando empiezan las del otro	
IdC>0	Superposición*	Las acciones propulsivas de un brazo terminan cuando las del otro ya han comenzado	
IdC<0	Catch-up o punto muerto	Las acciones propulsivas de un brazo terminan sin que las del otro hayan comenzado (time-lag)	

*Solo crol

Las acciones de piernas por ciclo completo de nado como su coordinación con respecto a las acciones propulsivas de los brazos también han sido motivo de estudio por diferentes autores. Las piernas realizan batidos alternados en los que mientras una se mueve hacia abajo la otra realiza un movimiento hacia arriba. Las direcciones de estos batidos son en principio hacia arriba y hacia abajo (E. W. Maglischo, 2003) o ascendente y descendente (Chollet, 2004). Por cada ciclo de nado los nadadores realizan seis,

I. Introducción

cuatro o dos batidos hacia abajo con las piernas por cada ciclo de brazos completo, en función de sus características antropométricas y fisiológicas, la distancia de la prueba, el nivel de cansancio, etc. E.W. Maglischo (2003) recomienda la coordinación de seis batidos porque de esta manera coinciden los movimientos (3 de cada brazo) con los batidos. Aún así, se considera que la aportación del tren superior en el crol es superior a la de las piernas (Adrian, Singh, & Karpovich, 1966); entre un 70 a un 85% de la propulsión total (Faulkner, 1968).

Los cambios de posición del cuerpo así como los movimientos de la cabeza para realizar la respiración no se consideran movimientos propulsivos.

Las diferentes acciones propulsivas van acompañadas de giros (rolidos) sobre el eje longitudinal del cuerpo hacia ambos lados. Estos rolidos, que implican un giro tanto de hombros como de caderas, facilitan tanto la acción acuática como la aérea de los brazos, permitiendo al nadador no perder la alineación lateral (Chollet, 2004), y evitando así movimientos que aumenten la resistencia de forma. La amplitud de los movimientos de rolido a partir de la posición ventral está relacionada con las posibilidades de movimiento articular de los brazos en la parte posterior, con la aplicación de fuerzas en la parte anterior (Chollet, 2004), la realización de batidos laterales que estabilizan el cuerpo y con la reducción de oscilaciones laterales del cuerpo (E. W. Maglischo, 2003).

A pesar de existir multitud de posibilidades, E.W. Maglischo (2003) destaca que el inicio del rolido se produce hacia el lado y en el momento en el que se realiza la entrada de un brazo. El rolido cambia de sentido cuando el brazo finaliza el movimiento hacia dentro.

I. Introducción

Sin embargo, existe alguna controversia sobre si la correcta posición hidrodinámica durante las acciones propulsivas de brazos y de piernas, así como un adecuado rolido facilita la correcta aplicación de fuerzas propulsivas. Mientras los trabajos de Hay et al. (1993), Payton et al. (1997) y Liu et al. (1993) muestran una influencia significativa del rolido sobre el movimiento de la mano en crol, posteriores estudios (Payton, Bartlett, & Baltzopoulos, 1999) concluyeron que la inclinación de del cuerpo en el rolido no contribuye a la producción de la velocidad de la mano durante el movimiento hacia dentro del crol, sino que se reduce la velocidad relativa de la mano en esta fase alrededor del 46%.

Para respirar la cabeza realiza movimientos de rotación hacia cualquiera de los lados acompañando a movimiento del rolido y de los brazos. El ritmo respiratorio más básico es respirar cada ciclo completo. Existe también la posibilidad de respirar cada 1,5, 2 o 2,5 ciclos. La inspiración comienza durante el movimiento hacia arriba del brazo del lado por el cual se realiza la respiración y la entrada de la mano opuesta en el agua (Chollet, 2004). La rotación de la cabeza ha de ser la suficiente para que la boca salga fuera del agua (E. W. Maglischo, 2003). La vuelta al agua de la cara estará coordinada con la acción de rolido del cuerpo y la segunda parte del recobro del brazo. El efecto de girar la cabeza para respirar aumenta el rolido entre 9° (Payton, Bartlett, Baltzopoulos, & Coombs, 1999) y 10° (López, Gutiérrez, & Arellano, 2002).

Así pues, tanto las acciones de brazos, de piernas, los cambios de posición del cuerpo y sus diferentes coordinaciones darán como resultado un número mayor o menor de movimientos propulsivos así como una desigual coordinación temporal entre ellos.

En la tabla I.3 se describe una posible coordinación temporal entre las acciones propulsivas de brazos y piernas en crol que conllevaría 3 momentos propulsivos por brazada

I. Introducción

Así, estos 3 momentos propulsivos serían

- El primer momento que correspondería con la simultaneidad de la acción propulsiva del movimiento arriba del brazo izquierdo con el batido abajo de la pierna derecha y con una posición de escasa resistencia durante la fase de entrada y deslizamiento.
- El segundo momento correspondería al movimiento abajo de la mano derecha con el batido debajo de la pierna izquierda mientras que el brazo izquierdo está en la fase de descarga (*release*) e inicio del recobro.
- El tercer momento propulsivo correspondería al movimiento adentro del brazo derecho con el batido debajo de la pierna derecha mientras que el brazo izquierdo realiza su recobro.

El total de momentos propulsivos durante un ciclo completo sería de 6 al completarse la secuencia con los momentos en los que se coordinan las acciones inversas entre brazos y piernas.

Tabla I.3. Relación de los movimientos de los brazos y de las piernas en el estilo crol

Brazo derecho	Brazo izquierdo	Pierna derecha	Pierna izquierda
Entrada y estiramiento	Movimiento hacia arriba	Batido abajo	Batido arriba
Movimiento hacia abajo	Inicio recobro	Batido arriba	Batido abajo
Movimiento hacia dentro	Recobro	Batido abajo	Batido arriba

I.1.3.2. Mariposa

Un ciclo completo de brazos en mariposa comienza cuando ambas manos entran en el agua y finaliza en el momento en que van a entrar de nuevo. La acción de los brazos en el estilo mariposa consta de entrada, agarre, tracción, empuje, salida y recobro (Chollet, 2004). E.W. Maglischo (2003) establece las fases de:

I. Introducción

a) entrada y estiramiento, b) movimiento hacia fuera, c) movimiento hacia dentro, d) movimiento hacia arriba y e) relajación y recobro.

Los cambios de velocidad de las manos coinciden con el inicio y fin de las fases o trayectorias (movimientos hacia fuera, dentro y arriba) (Chollet, 2004; E. W. Maglischo, 2003). Es decir, a partir del inicio de cada fase se produce una aceleración de las manos para al final decelerar justo antes del inicio de la siguiente fase. De las tres fases propulsivas de los brazos, el movimiento hacia fuera se considera el movimiento menos propulsivo (Schleihauf, 1979; Schleihauf et al., 1988).

Por cada ciclo de brazos, las piernas realizan dos batidos hacia abajo (o patadas tipo delfín), con sus correspondientes acciones de recobro de piernas (batido hacia arriba). El movimiento de las piernas más efectivo para la obtención de velocidad (propulsión) es el batido hacia abajo, mientras que el batido hacia arriba apenas muestra signos de contribuir a la propulsión (Jensen & McIlwain, 1979; E. W. Maglischo, 1982).

La posición del cuerpo se modifica durante cada ciclo de brazos. Estos cambios suponen dos ondulaciones con sus correspondientes dos fases: una ascendente y otra descendente (Chollet, 2004; Chollet, Seifert, Boulesteix, & Carter, 2006).

La posición del cuerpo durante cada ciclo de nado varía en función de las acciones de los segmentos. Esta variación se produce por un movimiento ondulatorio en cabeza, hombros y cadera (Sanders, Cappaert, & Devlin, 1995) que el nadador realiza para aprovechar al máximo las acciones propulsivas de piernas y brazos. La coordinación de los movimientos de brazos y piernas es de un ciclo de brazos por cada dos acciones de las piernas (1:2) lo que lleva a un movimiento ondulante (Sanders et al., 1995). Es importante que durante las fases de mayor propulsión de los brazos el cuerpo

I. Introducción

se encuentre en la posición más horizontal posible (E. W. Maglischo, 2003).

Sobre el grado de ondulación durante el nado de mariposa, algunos estudios indican que la mayor amplitud en la ondulación favorece propulsiones más largas que nados más planos (Persyn, Colman, & Ungerechts, 2000).

En este sentido, la coordinación de los diferentes gestos durante el nado cobran una gran importancia (Chollet et al., 2006). Estos autores plantean para su cuantificación 4 tiempos (valores porcentuales de éstos con respecto al tiempo total de un ciclo) que delimitan acciones propulsivas de brazos y piernas (tabla I.4.)

Según este mismo autor (Chollet et al., 2006), los cuatro momentos propulsivos claves en la coordinación brazos piernas serían:

- El primer batido hacia abajo de las piernas y la entrada de los brazos en el agua y posterior fase de agarre.
- Batido hacia arriba y movimiento hacia dentro.
- Segundo batido hacia abajo y movimiento hacia arriba y relajación.
- Batido hacia arriba y recobro de brazos.

Durante estas fases descritas, la posición del tronco es horizontal (primera y tercera) para aprovechar el impulso obtenido al máximo y ligeramente inclinada hacia arriba (segunda y cuarta) como consecuencia de la acción de recobro de las piernas. El ritmo de la respiración en este estilo dependerá de las características del nadador, de la distancia de la prueba, etc. Cuanto menor sea la distancia a recorrer, mayor será en número de ciclos que se realizan sin respirar. El movimiento de la cabeza fuera y dentro del agua aumenta el recorrido de la ondulación, y, por lo tanto, puede reducir la velocidad del nadador (Mason, Tong, & Richards, 1992).

I. Introducción

Durante la competición se recomienda no respirar cada ciclo. Básicamente nos encontramos con dos tipos de respiración: frontal y lateral. En ambas opciones la coordinación con los brazos es la siguiente: la cabeza comienza a salir fuera del agua al comenzar el movimiento hacia arriba y con el batido descendente de la segunda patada. La cabeza vuelve a sumergirse antes de que los brazos entren en el agua y antes de la fase descendente del primer batido.

Tabla I.4. Momentos propulsivos (T) y valores del IdC con el correspondiente efecto en la coordinación brazos-piernas en el estilo mariposa (Chollet et al., 2006)

TIEMPO	%	DESCRIPCIÓN
T1 (Entrada de los brazos en el agua y punto más alto del 1 ^{er} batido hacia arriba)	=0	Continuidad entre la entrada de los brazos en el agua y el inicio de la acción propulsiva de las piernas
	<0	La propulsión de piernas comienza antes del final del recobro de brazos: superposición negativa de dos acciones contrarias
	>0	La propulsión de piernas comienza después del recobro de brazos: deslizamiento en posición de deslizamiento
T2 (Inicio del movimiento hacia atrás de los brazos y el punto más bajo del 1 ^{er} batido hacia abajo)	=0	Continuidad mecánica de la acción de brazos y piernas
	<0	Lapso en posición de deslizamiento: brazos hacia delante mientras se completa o termina el batido arriba
	>0	Superposición de las acciones propulsivas de brazos y piernas
T3 (Manos en el plano vertical de los hombros y punto más alto del 2 ^o batido hacia arriba)	=0	Sincronización entre la posición de manos en la vertical de los hombros y el punto más alto del batido arriba
	<0	Las manos pasan por la vertical de los hombros después del comienzo de la ondulación hacia abajo
	>0	La ondulación hacia abajo empieza después de que las manos pasen por la vertical de los hombros
T4 (Salida de las manos fuera del agua y punto más bajo del 2 ^o batido hacia abajo)	=0	El punto más bajo del 2 ^o batido hacia abajo coincide con la salida de las manos fuera del agua
	<0	Lapso entre la salida de las manos y el final del 2 ^o batido hacia abajo
	>0	Las manos salen fuera del agua después del punto más bajo del 2 ^o batido hacia abajo

En función de la eficacia propulsiva de cada nadador, las acciones de brazos, de piernas, los cambios de posición del cuerpo y sus diferentes coordinaciones permitirán obtener un número mayor o menor de movimientos propulsivos y una desigual coordinación temporal entre ellos.

I. Introducción

En la tabla I.5 se describe una posible coordinación temporal entre las acciones propulsivas de brazos y piernas en mariposa que conllevaría 4 momentos propulsivos por ciclo completo.

Tabla I.5. Relación de los movimientos de los brazos, de las piernas y del cuerpo en el estilo mariposa

Brazos	Piernas	Cuerpo
Entrada y estiramiento Movimiento hacia fuera y agarre	1ª Patada abajo	Ligera flexión caderas
Movimiento hacia dentro	1ª Patada arriba	Deslizamiento
Movimiento hacia arriba	2ª Patada abajo	Extensión tronco/cabeza
Relajación y recobro	2ª Patada arriba	Inicio flexión tronco/caderas

I.1.3.3. Espalda

Cada ciclo de nado en la espalda se compone de dos movimientos completos (desde la entrada en el agua de un brazo hasta la entrada del mismo brazo) de los brazos y seis movimientos ascendentes de las piernas.

Los brazos se mueven de manera alternativa, distinguiéndose dos grandes fases o momentos: acuático o propulsivo y aéreo o de recobro. Los movimientos de la acción de brazos son: entrada de la mano, primer movimiento hacia abajo, primer movimiento hacia arriba, segundo movimiento hacia abajo, segundo movimiento hacia arriba (este último movimiento es una opción entre las posibilidades propulsivas de este estilo) y recobro.

Para su cuantificación, algunos autores (Chollet, 2004; Chollet, Seifert, & Carter, 2008; Seifert, Chollet, & Rouard, 2007; Seifert, Delignieres, Boulesteix, & Chollet, 2007) se rigen por establecer un porcentaje de tiempo entre las acciones propulsivas de brazos con

I. Introducción

respecto al tiempo total del ciclo de nado. Las posibilidades de coordinación dependen exclusivamente de la limitación que supone la posición supina del cuerpo y la movilidad articular de los hombros (Richardson, Jobe, & Collins, 1980; Richardson, 1986) y el movimiento de rolido alternativo (Colwin, 2002; E. W. Maglischo, 2003; Richardson et al., 1980). Parece pues, por los motivos anteriormente expuestos, que el tipo de coordinación brazo-brazo en este estilo es el de 'catch-up', que significa que existe una separación temporal (*lag*) entre las acciones propulsivas de ambos brazos (Chollet et al., 2008) (ver tabla I.2).

La función principal de las piernas en el estilo espalda es la de estabilizar, aunque también tienen efectos en la propulsión. En cada ciclo de nado, el nadador realiza seis batidos ascendentes y seis descendentes. Las piernas realizan batidos alternativos en los que mientras una se mueve hacia abajo la otra realiza un movimiento hacia arriba. La dirección de los movimientos no es totalmente vertical: el rolido del cuerpo para facilitar la acción de los brazos hace que la dirección sea diagonal hacia ambos lados. Los batidos ascendentes son los que más aportan al desplazamiento del nadador. Los pies se mantienen en flexión plantar durante todos los batidos. Ambos batidos se solapan: cuando la pierna está finalizando el batido ascendente mediante la extensión de la rodilla, la misma pierna se está extendiendo para iniciar el batido descendente.

En cada ciclo de nado, se realizan seis batidos (ascendentes) con las piernas. Tres corresponden a la acción de un brazo y otros tres a la del brazo contrario. Durante la entrada de un brazo y el primer movimiento hacia abajo, la pierna del mismo lado bate hacia arriba. Durante el primer movimiento hacia arriba del brazo, la pierna contraria realiza un batido hacia arriba. En el segundo movimiento hacia abajo, la pierna del mismo lado realiza un batido ascendente.

I. Introducción

La posición del cuerpo está definida por las alineaciones tanto horizontal (hombros más elevados que caderas, y caderas más que los pies) y lateral (caderas y piernas dentro de la anchura de los hombros) (E. W. Maglischo, 2003).

Además, la alternancia de los movimientos de los brazos necesita (por motivos anatómicos ya mencionados) de rotaciones sobre el eje longitudinal (rolido) de aproximadamente 45° (E. W. Maglischo, 2003).

La respiración en espalda no está marcada por la entrada o salida de la cabeza en el agua, y, por lo tanto, se realiza libremente. Pero es recomendable llevar un ritmo respiratorio que permita al nadador retrasar la fatiga.

Los momentos propulsivos principales en el estilo espalda son (E. W. Maglischo, 2003):

- Entrada y primer movimiento hacia debajo de un brazo y batido hacia arriba de la pierna del lado contrario.
- Movimiento hacia arriba de un brazo y batido hacia arriba de la pierna del mismo lado.
- Segundo movimiento hacia debajo de un brazo y batido hacia arriba de la pierna del lado contrario.

Así pues, tanto las acciones de brazos, de piernas, los cambios de posición del cuerpo y sus diferentes coordinaciones darán como resultado un número mayor o menor de movimientos propulsivos en función de la capacidad del nadador de ajustarse a los diferentes patrones técnicos descritos anteriormente.

En la tabla I.6 se describe una posible coordinación temporal entre las acciones propulsivas de brazos y piernas en el estilo espalda que conllevaría 3 momentos propulsivos por brazada.

Tabla I.6. Relación de los movimientos de los brazos y de las piernas en el estilo espalda

Brazo derecho	Brazo izquierdo	Pierna derecha	Pierna izquierda
2ª Parte Recobro	2º Movimiento hacia abajo	Batido abajo	Batido arriba
Entrada y 1 ^{er} Movimiento hacia abajo	Liberación e Inicio recobro	Batido arriba	Batido abajo
Movimiento hacia arriba	1ª Parte Recobro	Batido abajo	Batido arriba
2º Movimiento hacia abajo	2ª Parte Recobro	Batido arriba	Batido abajo

1.1.3.4. Braza

Comparando el recorrido de los brazos braza con los otros tres estilos, el de la braza es el más reducido. La acción de brazos se compone de movimiento hacia fuera, movimiento hacia dentro y recobro (E. W. Maglischo, 2003). Chollet (2004) añade una posición de agarre entre los dos movimientos mencionados, y desglosa el gesto hacia dentro en dos movimientos: uno hacia abajo y otro hacia dentro.

La acción de las piernas se compone de: recobro, batido hacia fuera, batido hacia dentro y elevación y deslizamiento (E. W. Maglischo, 2003).

Durante los movimientos de brazos, las piernas permanecen extendidas. Es al final del movimiento hacia dentro de los brazos cuando se flexionan las caderas y rodillas (recobro) que preparan el consiguiente gesto propulsivo de las piernas. Mientras las piernas se encuentran realizando el gesto propulsivo, los brazos completan el recobro, de manera que al final de la patada el

I. Introducción

cuerpo se encuentra en una posición hidrodinámica que facilita el máximo aprovechamiento del impulso generado por las piernas.

Las acciones que aportan propulsión (que aceleran) al nadador son el movimiento hacia fuera y hacia dentro de los brazos y los batidos hacia fuera y dentro de las piernas, mientras que el recobro y deslizamiento de brazos y piernas producen deceleración (D'Acquisto, Costill, Gehlsen, Young, & Lee, 1988; Tourny, Chollet, Micallef, & Macabies, 1992).

La posición del cuerpo varía dentro de cada ciclo de nado. Así, durante el movimiento propulsivo de las piernas, el tronco y los brazos permanecen alineados en posición de *streamline*, y durante los movimientos de brazos: a) se produce una elevación de la cabeza para realizar la inspiración y b) se flexionan las caderas para realizar el recobro de piernas. La segunda de las fases será más o menos pronunciada en función del tipo de braza que utilice el nadador (plana u ondulante) (E. W. Maglischo, 2003).

En este sentido, la coordinación de los diferentes gestos durante el nado cobran una gran importancia (Chollet, Seifert, Leblanc, Boulesteix, & Carter, 2004). Estos autores plantean para su cuantificación 4 tiempos (valores porcentuales de éstos con respecto al tiempo total de un ciclo) que delimitan acciones propulsivas de brazos y piernas (tabla I.7).

I. Introducción

Tabla I.7. Momentos propulsivos (T) y valores del IdC con el correspondiente efecto en la coordinación brazos-piernas en el estilo braza (plana) (Chollet et al., 2004)

TIEMPO	%	DESCRIPCIÓN
T1a (Final de la propulsión de piernas e inicio de la de brazos)	=0	Continuidad mecánica entre brazos y piernas
	<0	Deslizamiento de brazos y piernas (además de batido hacia dentro) al mismo tiempo
	>0	Acciones propulsivas de brazos y piernas superpuestas
T1b (Final del batido hacia dentro e inicio de la propulsión de brazos)	=0	Continuidad mecánica entre brazos y piernas
	<0	Deslizamiento de brazos y piernas simultaneo
	>0	La misma situación que T1a>0 o T1a<0
T2 (Inicio del recobro de brazos y del recobro de piernas) T3 (Final del recobro de brazos y recobro de piernas)	=0	Continuidad mecánica entre la propulsión de piernas y brazos
	<0	Una acción propulsiva coincide con otra negativa
	>0	Deslizamiento de brazos coincide con recobro de piernas o viceversa
T4 (Posición de 90° en el recobro de brazos y 90° en el de piernas)	=0	La posición de 90° en recobro de brazos y piernas coincide en el tiempo
	≠0	Falta de coordinación entre los recobros de brazos y piernas

Así, las principales acciones que definen el desplazamiento del nadador son (Chollet et al., 2004):

- Movimiento hacia fuera de los brazos mientras las piernas están extendidas.
- Movimiento hacia dentro de los brazos, y recobro de piernas al final del movimiento.
- Patada hacia fuera y hacia dentro, mientras los brazos recobran.

Así pues, las acciones de brazos, de piernas, los cambios de posición del cuerpo cómo sus diferentes coordinaciones crearán un número mayor o menor de movimientos propulsivos dependiendo

I. Introducción

de la eficacia de cada nadador para realizar éstas y de su coordinación temporal.

En la tabla I.8 se describe una posible coordinación temporal entre las acciones propulsivas de brazos y piernas en el estilo braza que conllevaría 3 momentos propulsivos por ciclo completo

Tabla I.8. Relación de los movimientos de los brazos, de las piernas y del cuerpo en el estilo braza

Brazos	Piernas	Cuerpo
Recobro y deslizamiento	Batido hacia fuera y Batido hacia dentro	<i>Streamline</i>
Movimiento hacia fuera	Elevación y deslizamiento	<i>Streamline</i>
Movimiento hacia dentro	Recobro	Cabeza fuera y flexión y descenso de cadera

I.2. El análisis de la técnica en natación

La competición se puede considerar como un terreno ideal para la observación e investigación de los factores que inciden en el rendimiento (Stefani, 2006). Así, el análisis de la competición puede mostrar el resultado de cada uno de los aspectos técnicos implicados durante una prueba en natación.

Ya en la década de 1980 Hay, Guimaraes y Grimston (1983) analizan el resultado final como la suma de diferentes fases que se suceden y que pueden contribuir de manera desigual en el resultado final. En la actualidad las fases que dividen una prueba para su análisis técnico en competición delimitan las acciones cíclicas de las acíclicas. La salida y el viraje son acciones acíclicas y el nado responde a acciones cíclicas.

Para su análisis se establecen zonas o espacios que delimitan la intervención principal de estas acciones y se registran los tiempos

de intervención en cada una de ellas o el número de acciones o frecuencia con la que se realizan.

En la figura I.2 se muestran las diferentes fases que componen el tiempo total de competición y las unidades de medición de cada una de las variables que se pueden analizar.

La importancia relativa de cada una de estas acciones en el resultado de la prueba depende de la distancia cubierta en cada prueba (Thayer & Hay, 1984) y del estilo, además de la longitud de la piscina en la que se compita (25m o 50m) (Sánchez-Molina, 1999). En todas estas situaciones, numerosos estudios dejan constancia de la importancia relativa de la fase de nado (Marques, Ribeiro-Martins, Moreira, & Silva, 2006; Morales, 2006; Thayer & Hay, 1984; Thompson & Haljand, 1997; Thompson, Haljand, & MacLaren, 2000), siendo ésta del 60-70% en función de la duración total de la prueba.

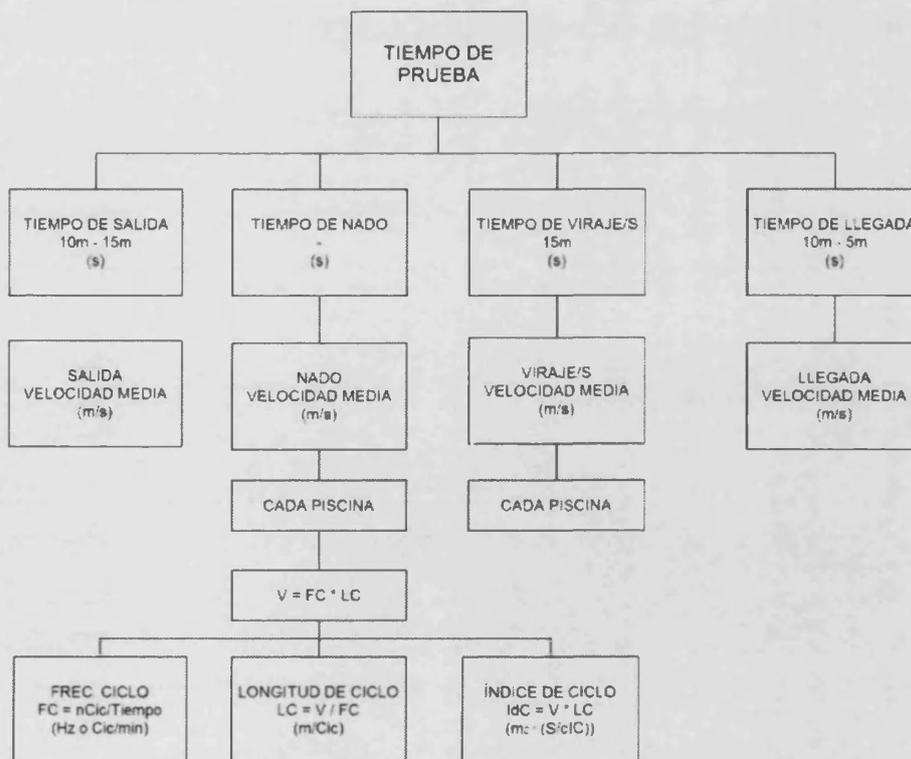


Figura I.2. Componentes técnicos del tiempo total de competición y las unidades de cada una de las variables traducido de Arellano (2004)

I. Introducción

Pero para el análisis de la técnica no es suficiente el análisis de la competición. El contexto de la competición tiene sus limitaciones físicas y reglamentarias para una intervención más exhaustiva en el análisis de la técnica de nado, por lo que su análisis debe completarse en contextos de laboratorio. Sánchez-Molina y Maañón (2007) muestran en la tabla I.9 diferentes análisis de la técnica de nado en función del contexto y de las variables analizadas.

Así el análisis de la técnica de nado, también, puede realizarse desde la perspectiva cinemática y dinámica. A continuación se va a realizar una revisión bibliográfica de la perspectiva cinemática.

Tabla I.9. Diferentes métodos de evaluación objetiva de la técnica (Sánchez-Molina & Maañón, 2007)

EVALUACIÓN	SITUACIÓN	VARIABLES ANALIZADAS
CINEMÁTICA GLOBAL	COMPETICIÓN	FC, LC, VM, VS, VV, VLL
CINEMÁTICA CORPORAL	LABORATORIO	VELOCIDAD Y ACELERACIÓN INTRACICLO DEL CENTRO DE MASAS
CINEMÁTICA SEGMENTARIA	LABORATORIO	DETERMINACIÓN 2D O 3D DE LA TRAYECTORIA MOTRIZ
DINÁMICA SEGMENTARIA INTRACÍCLICA	LABORATORIO	DETERMINACIÓN DE FUERZA PROPULSORAS CON SENSORES DE PRESIÓN
DINÁMICA GLOBAL DEL NADO	LABORATORIO	REGISTRO DE LA FUERZA PROPULSORA ATADO O SEMIATADO
BIOENERGÉTICA DE LA TÉCNICA	LABORATORIO	EFICIENCIA MECÁNICA O ECONOMÍA DE NADO DIRECTA O INDIRECTA

VM: velocidad media; VS: velocidad de salida; VV: velocidad de viraje; VLL: velocidad de llegada

I.2.1. Análisis cinemático

Los primeros estudios cinemáticos se centraron en la valoración de la frecuencia, de la longitud de ciclo y de las velocidades medias de nado (J. C. Chatard, Collomp, Maglischo, & Maglischo, 1990; Chollet, Pelayo, Tourny, & Sidney, 1996; Craig JR & Pendergast, 1979; Craig, Skehan, Pawelczyk, & Boomer, 1985; Dekerle, Sidney, Hespel, & Pelayo, 2002; East, 1971; Hellard et al., 2008; Kilani & Zeidan, 2004; Kjendlie, Haljand, Fjortoft, & Stallman, 2006;

I. Introducción

Letzelter & Freitag, 1983; Nomura & Shimoyama, 2003; Potdevin et al., 2003; Sidney, Delhay, Baillon, & Pelayo, 1999; J. Silva, 1999; Tella, Llana, Madera, & Navarro, 2002; Tella, Llana, Madera, & Navarro, 2003; Termin & Pendergast, 2000; Vorontsov & Bevevsky, 2003; Wakayoshi, Nomura, Takahashi, Mutoh, & Miyashita, 1992; Wakayoshi, Yoshida, Ikuta, Mutoh, & Miyashita, 1993; Wirtz, Wilke, & Zimmermann, 1992). Como ya se ha citado, estos análisis tienen la gran ventaja de poder realizarse en situaciones de máximo rendimiento sin interferir en las condiciones de nado durante la competición.

La velocidad ($m \cdot s^{-1}$) del nadador durante las fases cíclicas de la prueba es el producto de la frecuencia por la longitud de ciclo (Craig JR & Pendergast, 1979; Craig et al., 1985; Dekerle et al., 2005; Hellard et al., 2008; Navarro, 1996; Pai, Hay, Wilson, & Thayer, 1984).

$$v = FC \cdot LC \quad (7)$$

Se puede definir la longitud de ciclo (LC) como la distancia horizontal que recorre un nadador por cada movimiento completo de los brazos y se mide en metros (Craig JR & Pendergast, 1979).

La frecuencia de ciclo (FC) es el número de acciones propulsivas completas de los brazos (fase propulsiva y de recobro) por cada unidad de tiempo, y se mide en ciclos por minuto (c/min) o en hertzios (ciclos por segundo, c/s o Hz).

Para completar el análisis cinemático, Costill et al. (1985) establecieron el índice de ciclo (IC) como el producto de la velocidad media por la longitud de ciclo:

$$IC = v \cdot LC \quad (8)$$

I. Introducción

Este índice ha sido considerado como un indicador válido de la eficiencia de nado (Lavoie, Leger, Leone, & Provencher, 1985; McMurray, DeSelm, & Johnston, 1990; Pelarigo, Figueira, Perandini, Denadai, & Greco, 2007; Sánchez-Molina & Arellano, 2002).

Chollet et al. (Chollet et al., 2000) crearon un nuevo índice cuya función básica es la de establecer los lapsos entre las diferentes acciones de brazos (crol y espalda) y brazos-piernas (braza y mariposa) durante el nado. Este índice se denomina Índice de Coordinación (IdC).

El IdC se expresa en los estilos alternos como un porcentaje, y muestra la proporción del tiempo o lapso entre acciones propulsivas (*lag time*) sobre la duración total del ciclo (Chollet et al., 2000; Chollet, Millet, Lerda, Hue, & Chatard, 2003; Chollet et al., 2008). Para estos autores el inicio de la acción propulsiva de un brazo corresponde a la finalización del movimiento hacia abajo o posición de agarre, mientras que la finalización de la acción propulsiva corresponde con la finalización del movimiento hacia arriba.

Los resultados que muestra este índice son:

- Igual a 0: cuanto acaba una acción propulsiva, comienza la siguiente.
- Menor que 0 o negativo: las acciones propulsivas se alternan, y entre el final de una y el comienzo de la siguiente, hay un periodo sin gestos propulsivos.
- Mayor que 0: cuando no se ha acabado un gesto propulsivo, ya está comenzando el siguiente.

En el caso de los estilos de coordinación simultánea de miembros inferiores y superiores, este índice se divide en los periodos propulsivos y no propulsivos del gesto técnico. En este caso, los

tiempos (T_n^o) definen la alternancia en las diferentes acciones propias de cada estilo, y su suma o tiempo total (TT) indican la coordinación entre los gestos propulsivos de brazos y piernas (Chollet, Leblanc, Brabant, & Pedroletti, 2002; Chollet et al., 2004; Chollet et al., 2006).

Además de estos parámetros cinemáticos que describen y valoran el comportamiento de un ciclo completo de nado, desde Karpovich (1930) y posteriormente Miyashita (1971) y Kent y Atha (1975), algunos estudios han tenido como objeto conocer que variaciones se producían dentro de un ciclo para describir, explicar y valorar su rendimiento en base a un análisis cinemático.

Unos de los primeros autores en cuantificarla (Kornecki & Bober, 1978) sugirió que la desviación entre el valor máximo y mínimo de la velocidad y la velocidad media podría ser una medida útil de la eficiencia de nado (*Economy Index* o EI). Éste índice responde a la siguiente fórmula:

$$EI = \frac{\frac{V_{max\ c} - 1}{V_{media\ c}}}{V_{media\ d}} \times 100 (\rightarrow \min) \quad (9)$$

Donde:

EI = índice de economía o ratio de las desviaciones relativas entre V_{max} y V_{media} de un ciclo con la V_{media} en una distancia dada

$V_{max\ c}$ = velocidad máxima en un ciclo

$V_{media\ c} = \frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} v\ dt$ = velocidad media de un ciclo

t_c = duración de un ciclo

$V_{media\ d}$ = velocidad media de una distancia

I. Introducción

Mientras que T.M. Barbosa et al. (2010) indican que la variación de la velocidad intraciclo puede ser calculada mediante la fórmula:

$$dV = \frac{\sqrt{\sum_i (v_i - \bar{v})^2 \frac{F_i}{n}}}{\sum_i v_i \frac{F_i}{n}} 100 \quad (10)$$

Donde dV representa la variación de la velocidad horizontal intraciclo del centro de masas, \bar{v} es la velocidad media de nado, v_i es la velocidad instantánea, F la frecuencia absoluta y n es el número de observaciones realizadas.

Además, las variaciones de la velocidad han sido estudiadas en función de las velocidades medias obtenidas en diferentes fases del ciclo de nado, de los picos de velocidad máxima y mínima de cada ciclo, de sus perfiles de velocidad instantánea, y de la cuantificación de su fluctuación.

Así, todos ellos y desde un análisis cinemático pueden destacar ciertos aspectos del nado que influyen en el rendimiento.

En general estos parámetros cinemáticos pueden depender de una serie de variables como son el estilo de nado, la distancia de nado, los cambios de velocidad, la fatiga, la edad, el nivel de rendimiento y del género y la antropometría.

I.2.1.1. Metodología

En función del tipo de análisis a realizar (competición o laboratorio) y del nivel del estudio a confeccionar, los medios que se requieren para recoger datos del comportamiento cinemático del nadador serán más o menos complejos. Además, Reischle (1993) indica que existen una serie de normas ideales y estadísticas y diversos tipos de métodos de observación que condicionan la calidad de la valoración.

I. Introducción

Los métodos utilizados para la obtención de las variables cinemáticas de FC y LC son (Arellano, 1994):

- Observación directa y utilización de cronómetro en la prueba.
- Registro de imágenes con cámaras independientes.
- Registro conjunto de imágenes y visualización consecutiva en un solo archivo o soporte físico, y posterior recogida de datos mediante anotación manual.
- Registro y visualización conjunta de imágenes y posterior recogida de datos mediante procesos semiautomatizados o automatizados.

La velocidad media del nadador y la relación de esta con la FC y la LC durante la fase de nado en la competición ofrece información importante sobre la técnica del nadador. Pero la velocidad de desplazamiento del nadador no es constante, sino que varía en función de: acciones propulsivas, acciones no propulsivas y posición del cuerpo.

Los estudios de la velocidad del nadador durante cada ciclo de nado ofrecen una información más completa que la velocidad media de nado durante una prueba.

Para el análisis intraciclo es común el uso de cámaras subacuáticas (Alves, Costa, & Gomes-Pereira, 1998), velocímetros (Tourny et al., 1992), acelerómetros (Buchner & Reischle, 2003) tanto en el centro de gravedad (E. W. Maglischo, 2003) como en los segmentos propulsores del cuerpo (Ichikawa, Ohgi, & Miyaji, 1999; Ichikawa, Yuji, Miyaji, & Nomura, 2003).

En estos trabajos, se toma como referencia el centro de gravedad del nadador o un punto del cuerpo cercano (cadera) en función del sistema utilizado. Los diferentes puntos de referencia en el

I. Introducción

nadador para el estudio de la variación de la velocidad intraciclo son nombrados en la tabla I.10.

Tabla I.10. Puntos de referencia de los diferentes sistemas de medición de la velocidad intraciclo

SISTEMA	PUNTO DE REFERENCIA
FILMACIÓN	Centro de masas (CM), o centro de gravedad (CG)
VELOCÍMETRO	Cadera o parte baja de la espalda (<i>low back</i>): punto de unión entre el cable y el cinturón del nadador.

Los datos de la velocidad se obtienen básicamente mediante dos formas de registro: captación de imágenes en video y uso de velocímetro. La calidad de los datos registrados va a estar en función de la frecuencia: de filmación o captación de imágenes por segundo o de los hercios del velocímetro. Las ventajas e inconvenientes del uso de uno u otro sistema están en la tabla I.11.

Tabla I.11. Ventajas e inconvenientes de los sistemas de registro de la velocidad intraciclo (adaptado de Vilas-Boas, 1997)

SISTEMA	VENTAJAS	INCONVENIENTES
FILMACIÓN	<ul style="list-style-type: none">• Permite la libertad total de movimientos del nadador.• Puede realizarse durante la competición.• Las salidas y los virajes pueden ser analizadas.• La referencia es el C.G. del nadador.• Es posible el registro en 3D.	<ul style="list-style-type: none">• Se trata de un proceso costoso y difícil de instalar.• Es necesaria la digitalización y posterior análisis de las imágenes.• El sistema de cámaras ha de ser calibrado previamente.
VELOCÍMETRO	<ul style="list-style-type: none">• Registra los datos de manera instantánea.• Se puede coordinar con la filmación.• Los datos se obtienen con una alta frecuencia (en función del aparato utilizado).	<ul style="list-style-type: none">• Ejerce una ligera resistencia en el nadador (en algunos aparatos).• El nadador no puede realizar virajes.• La cadera o el punto de conexión con el cable no corresponde al C.G. del nadador.• Sólo se puede registrar en 2D (cuando no se filma 3D).

El uso del velocímetro tiene su origen en los estudios de Karpovich (1930), quien desarrolló un sistema de medición de la velocidad al que llamó "Natograph". El nadador iba sujeto a una cuerda que formaba parte del mecanismo de medición. Dicho mecanismo tenía dos poleas que permitía cuantificar el desplazamiento del nadador

con respecto al tiempo. Al pasar la cuerda por una de las poleas se captaba la velocidad de la cuerda y, por tanto, la del nadador. Este autor ya estableció que la velocidad intraciclo del nadador en crol en dos ritmos de nado (lento y rápido) variaba en cada ciclo, siendo menores las variaciones en altos ritmos de nado.

Como ya se ha mencionado, Karpovich (1930) inició el estudio y registro de las variaciones de la velocidad intraciclo, y fue el estilo crol el objetivo de esa primera aproximación. Miyashita (Miyashita, 1971), que utilizó el mismo aparato que diseñó Karpovich (1930) en su momento, no pudo establecer relaciones entre los movimientos de los brazos en este estilo y las velocidades más altas (o picos de velocidad) durante cada ciclo, aunque concluyó que la velocidad de nado varía periódicamente de acuerdo con las acciones de los brazos (figura I.3).

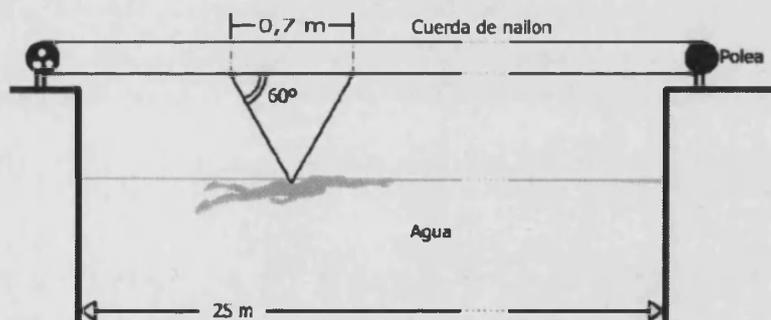


Figura I.3. Diseño del sistema de registro de la velocidad intraciclo utilizado por Karpovich (1930) y Miyashita (1971) (adaptado de Miyashita, 1971)

Aunque el sistema de registro empleado en ese trabajo proporcionaba escasa información (este sistema de resistencias señalaba y registraba los cambios de intensidad cada 5 centímetros del desplazamiento del nadador durante los 25 metros de nado) fue combinado con un medidor de presión en las palmas de las manos de los nadadores para establecer la relación entre la velocidad de nado y la acción propulsiva de los brazos. En la figura I.4 se muestra el resultado de la variación de velocidad y los

I. Introducción

momentos de aplicación de fuerza de ambos brazos registrados por este autor en varios ciclos de nado.

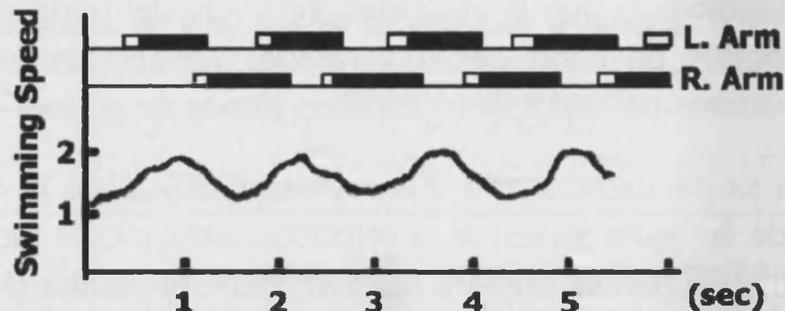


Figura I.4. Variaciones de la velocidad intraciclo durante 3 ciclos de nado y aplicación de las fuerzas de ambos brazos en el estilo crol utilizado por Karpovich (1930) en Buckwitz, Bähr, y Ungerechts (2003)

Conforme la tecnología ha ido progresando y los sistemas informáticos se han incorporado al estudio de la actividad física y el deporte, los trabajos sobre la velocidad intraciclo han aumentado en número y mejorado la información sobre las características del ciclo de nado. Así, con la aparición de velocímetros y transductores de posición, y las mejoras en los sistemas de filmación numerosos autores han definido perfiles de la velocidad del estilo crol.

Otro método utilizado para registrar la velocidad intraciclo del nadador ha sido la colocación de electrodos (uno en el borde de la piscina y otro en el nadador) que mediante las variaciones en la resistencia eléctrica permite conocer la distancia recorrida por el nadador mientras este se desplaza (Loetz et al., 1988)

Es a partir de la década de los 70 cuando los estudios con velocímetro se extendieron, basando la construcción y diseño de los aparatos de medición en el creado por Karpovich (1930).

De forma paralela, la filmación como método de análisis de la velocidad intraciclo ha ido evolucionando con la mejora del material de captación, es decir, con el aumento de la frecuencia con que se registran las imágenes.

I. Introducción

Los trabajos de Kent y Atha (1973; 1975) suponen un adelanto en los métodos de estudio de las variaciones de velocidad de los diferentes estilos. En éste analizaron en el estilo braza, los cambios espaciales y biomecánicos del ciclo de nado. Para la obtención del gesto utilizaban cámaras de filmación cuya imagen digitalizaban. A estos estudios les siguieron otros, datados en 1981 por Reischle, Gaisser y Vollers (1981), en donde se observó las modificaciones de la velocidad intraciclo gracias a la utilización de un aparato en donde aparecía las graficas de velocidad en función del tiempo, y los realizados por E.W. Maglischo (1993).

Todos estos estudios tenían en común la utilización en sus protocolos de cámaras de filmación del gesto y que en sus conclusiones cuantificaban la eficiencia de los movimientos de los segmentos propulsivos en relación a las fluctuaciones de velocidad del centro de gravedad del nadador.

Keskinen y Komi (1993a) filmaron a 12 nadadores con una cámara subacuática y concluyeron que los perfiles de las fluctuaciones intraciclo aportaban información sobre las diferentes fases del ciclo de nado.

Una de las primeras referencias sobre estudios relacionados con velocímetros, datan en 1987 Costill, Lee y D'Acquisto (1987). Este velocímetro fue diseñado por Costill y Gary Lee del laboratorio de *Human Performance* de Ball State University de Indiana, fruto de la evolución del prototipo creado por el Dr. Craig de la Universidad de Rochester (E. W. Maglischo, 1993).

En esta línea cabe destacar la aportación de Buckwitz, Bähr y Ungerechts (2003) que muestran los resultados de la fluctuación de la velocidad intraciclo en piscina de corriente (*swimming flume*). Estos resultados para el estilo crol y el sistema utilizado (tres cuerdas conectadas a la cintura del nadador que miden el

I. Introducción

desplazamiento del nadador en la piscina) se pueden observar en la figura I.5.



Figura I.5. Sistema de registro del desplazamiento del nadador en la piscina de corriente y muestra de la variación de la velocidad durante un ciclo de nado en el crol (Buckwitz et al., 2003).

Los intentos por cuantificar las variaciones de velocidad intraciclo favorecieron la aparición de diferentes métodos basados en la filmación del nadador (Dal Monte, 1971; DeVries, 1959; Miyashita, 1974).

Así, gracias a la combinación y coordinación de los velocímetros y las cámaras, la velocidad intraciclo y la filmación de la cámara subacuática se solapaban, pudiendo atribuir las modificaciones de la velocidad de la cadera a los gestos específicos realizados por el nadador. Este método ha supuesto un avance muy significativo en el tratamiento de los datos. Los velocímetros aportan la información de la velocidad de la cadera inmediatamente después de ejecutar el nado.

Otros métodos como las vistas tridimensionales en donde se emplean 3 cámaras submarinas para filmar el gesto del nadador y marcas fijas submarinas para combinar los datos filmados, requerían de un análisis de 30 minutos que, 7 años antes, con la ausencia de la informática, suponía un trabajo de 30 horas (Schleihauf, 1982).

Los protocolos empleados para el registro de la velocidad utilizando el velocímetro se han caracterizado por la similitud de estos (Costill et al., 1987). En ellos, se ataba a la cintura del

nadador el cable que iba conectado a un generador que proporcionaba la velocidad del nadador, cuya información se sincronizaba con las imágenes captadas por la cámara subacuática.

Para el análisis cinemático del nadador, se han utilizado de forma variada las velocidades de la cadera y del centro de gravedad de los nadadores. Como recogen C.W. Maglischo, E.W. Maglischo y Santos (1987), la velocidad lineal medida a la altura de la cadera no difiere significativamente con respecto a la velocidad del centro de masas especialmente en la forma de las curvas. Varios estudios comparativos (Costill et al., 1987; C. W. Maglischo et al., 1987) entre el centro de masas o centro de gravedad y la cadera, indican que las fluctuaciones de la velocidad intraciclo son más extremas para este último punto (cadera) que para el centro de masas. En el estilo braza, la velocidad registrada en el punto de la cadera al final de la fase de recobro de piernas es de 0,4 m/s mientras que los valores de velocidad registrados para el centro de gravedad en el mismo instante ronda los 0,6 m/s. Cuando se ha estudiado en el estilo mariposa aparecen diversas conclusiones. Mason, Tong y Richard (1992) analizando el estilo mariposa, establecen que la velocidad de la cadera no puede ser sustituta de la del centro de gravedad, en tanto que la correlación establecida en su estudio era de 0,84. En numerosos estudios se aceptó que para que pudieran correlacionar centro de masas y cadera debía de darse un coeficiente de 0,95. Contrariamente a los resultados que Mason et al. (1992) habían obtenido, Martins-Silva, Alves y Gomes-Pereira (1997) encuentran una alta correlación ($r=0,97$) entre la velocidad del centro de gravedad y la cadera para el estilo mariposa. Otro estudio realizado (T. M. Barbosa, Santos Silva, Sousa, & Vilas-Boas, 2003) también encuentra una correlación alta entre la velocidad horizontal del centro de gravedad con la de la cadera.

Ferrer, Borrás, Turró, Balius i Matas y Roig (2000) realizan un estudio comparativo de la fiabilidad de la medida de la velocidad

I. Introducción

entre videografía y velocímetro. Concluyen que el velocímetro es un instrumento válido, ya que se encontró un coeficiente de correlación R^2 de 0,99, por lo que valora realmente la velocidad al compararlos con los de la videografía durante un ciclo de nado.

Estudios más recientes realizados por Tella, Jordá, Madera, Saavedra, Benavent y Llana (2006) suponen una reducción del material utilizado para el estudio de la velocidad intraciclo.

Entre los objetivos de los trabajos que analizan las variaciones intraciclo de la velocidad se encuentra:

- comparar los diferentes sistemas de obtención de datos del desplazamiento del nadador (T. M. Barbosa et al., 2003; Callaway, Cobb, & Jones, 2009; Capitão et al., 2006; Craig, Termin, & Pendergast, 2006; Morouço et al., 2006),
- analizar el efecto de la fatiga sobre las diferentes variables cinemáticas (Alberty et al., 2002; Alberty, Sidney, Huot-Marchand, Hespel, & Pelayo, 2005; Santos, 2009; Tella et al., 2006; Tella, Llop, Jordá, Madera, & Benavent, 2006; Tella et al., 2008),
- estudiar la incidencia de implementos aplicados por el nadador (Llop, Arellano, González, Navarro, & García, 2002; Llop, Tella, Colado, Diaz, & Navarro, 2006; Sidney, Paillette, Hespel, Chollet, & Pelayo, 2001),
- analizar los patrones de nado de un estilo determinado (Craig, Boomer, & Skehan, 1988; D'Acquisto et al., 1988; Ichikawa et al., 1999; Ichikawa et al., 2003; Kent & Atha, 1973; Manley & Atha, 1992; McElroy & Blanksby, 1976; Morouço et al., 2005; Ohgi, Yasumura, Ichikawa, & Miyaji, 2000; Psycharakis, Naemi, Connaboy, McCabe, & Sanders, 2010; Tourny et al., 1992),
- estudiar los cambios de velocidad intraciclo a diferentes ritmos de nado (D'Acquisto et al., 1988; Manley & Atha, 1992; Mercadé, Arellano, & Soto, 2002),

I. Introducción

- analizar las variaciones de la velocidad en nadadores con discapacidad (Payton & Wilcox, 2006),
- comparar los resultados de nadadores de diferentes niveles (Leblanc, Seifert, Tourny-Chollet, & Chollet, 2007; Takagi, Sugimoto, Nishijima, & Wilson, 2004; Tella et al., 2010),
- establecer relación con las fuerzas propulsivas (Alves, Santos, Veloso, Pinto, & Gomes-Pereira, 1994; Alves, Santos, Veloso, Correia, & Gomes-Pereira, 1994; Schnitzler, Ernwein, Seifert, & Chollet, 2006a), buscar la correspondencia con el gasto energético (T. M. Barbosa, Keskinen, Fernandes, Colaço, Lima et al., 2005; T. M. Barbosa et al., 2006),
- establecer los cambios producidos por la aplicación de ejercicios de técnica (Arellano, Domínguez-Castells, Pérez-Infantes, & Sánchez, 2010)
- y analizar las variaciones de velocidad en piscina de corriente (Buckwitz et al., 2003).

En la tabla I.12 se pueden ver los principales estudios sobre velocidad intraciclo, mostrando el material y la referencia anatómica utilizada, el estilo objeto de estudio, la muestra, el nivel y el contexto de análisis.

I. Introducción

Tabla I.12. Principales trabajos sobre la velocidad intraciclo

AUTOR	MÉTODO	REFERENCIA	ESTILOS	N	NIVEL	CONTEXTO
Karpovich (1930)	VELOCÍMETRO POLEAS	CINTURA	C	-	-	LAB
Miyashita (1971)	VELOCÍMETRO POLEAS	CINTURA	C	9	N	LAB
Mason et al. (1992)	FILMACIÓN 2D	CENTRO DE GRAVEDAD	M	11	N	LAB
Manley y Atha (1992)	VELOCÍMETRO + FILMACIÓN 2D	PARTE BAJA ABDOMEN	B	8	N R	LAB
Tourmy et al. (1992)	VELOCÍMETRO + FILMACIÓN 2D	CINTURA	B	-	I	LAB
Alves, Santos, Velooso, Correia et al. (1994)	VELOCÍMETRO + FILMACIÓN 2D	CINTURA	E	-	-	LAB
Sanders (1996)	FILMACIÓN	CENTRO DE MASAS	M	7	I	LAB
Colman, Persyn, Daly, y Stijnen (1998)	FILMACIÓN 2D	CENTRO DE MASAS	BO VS BP	45	I	LAB
Alves et al. (1998)	FILMACIÓN 3D (APAS)	CINTURA Y CENTRO DE MASAS	E	7	BE	LAB
Martins-Silva y Alves (2000)	FILMACIÓN (APAS)	CENTRO DE MASAS	M	-	N	LAB
Alberty et al. (2002)	TACÓMETRO (VELOCÍMETRO)	CINTURA	C	17	N	LAB SIM COMP
T.M. Barbosa et al. (2003)	FILMACIÓN 3D (APAS)	CINTURA Y CENTRO DE MASAS	M	7	N I	LAB
Takagi et al. (2004)	FILMACIÓN 3D (DLT)	CENTRO ARTICULACI ÓN CINTURA	B	81	M	COMP
Alberty et al. (2005)	TACÓMETRO (VELOCÍMETRO)	CINTURA	C	17	BE	LAB

I. Introducción

Tabla I.12. Continuación...

AUTOR	MÉTODO	REFERENCIA	ESTILOS	N	NIVEL	CONTEXTO
T.M. Barbosa, Keskinen, Fernandes, Colaço et al. (2005)	FILMACIÓN 2D	CENTRO DE MASAS	M	5	N	LAB
Craig et al. (2006)	VELOCÍMETRO + FILMACIÓN (COORDINADA)	CINTURA	M E B C EP	-	-	LAB
Capitão et al. (2006)	VELOCÍMETRO + FILMACIÓN (COORDINADA)	CINTURA Y CENTRO DE MASAS	B	10	E	LAB
Payton y Wilcox (2006)	VELOCÍMETRO + FILMACIÓN (COORDINADA)	-	bC	8	D	LAB
Tella et al. (2006)	VELOCÍMETRO	CINTURA	C	17	N	LAB
Seifert, Chollet, y Rouard et al. (2007)	VELOCÍMETRO + FILMACIÓN (COORDINADA)	CINTURA	M	30	E NE J	LAB
Leblanc et al. (2007)	FILMACIÓN + VELOCÍMETRO	CINTURA	B	18	E NE	LAB
Schnitzler, Seifert, Ernwein, y Chollet (2008)	FILMACIÓN + VELOCÍMETRO	-	C	12	E N	LAB
Figuereido et al. (2008)	FILMACIÓN 3D (APAS)	CENTRO DE MASAS	C	1	BE	LAB
T.M. Barbosa, Fernandes, Morouco, y Vilas-Boas (2008)	FILMACIÓN 3D (DLT)	CENTRO DE MASAS	M	4	N I	LAB
Psycharakis y Sanders (2009)	FILMACIÓN 3D (APAS)	CINTURA Y CENTRO DE MASAS	C	10	N I	LAB

Métodos: APAS: Ariel Performance Analysis System; DLT: Direct Linear Transform
Estilos: M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; BO: braza ondulante; BP: braza plana; EP: empuje de pared; bC: brazos crol
Niveles: R: regional; N: nacional; I: internacional; M: mundial; E: élite; NE: no élite; J: jóvenes; D: discapacitados; E: entrenados; BE: bien entrenados; V: variado
Contexto: LAB: laboratorio; COMP: competición; SIM COMP: simulación de la competición

I. Introducción

La obtención de los datos de la aceleración durante el nado se puede realizar con diferentes métodos y aparatos.

Uno de ellos, el acelerómetro consiste en un dispositivo en el que una masa conocida, que se encuentra pegada a un elemento piezoeléctrico, aplica una fuerza con el movimiento del aparato que genera una carga cuyo voltaje es proporcional a la fuerza y a la aceleración (Sánchez-Molina & Maañón, 2007). Éste se encuentra acoplado en un punto de anatómico del nadador (cabeza, zona lumbar, antebrazo, etc), en función del segmento que se pretende evaluar. De los posibles puntos de colocación del acelerómetro, el conjunto de datos más completo se obtiene con el aparato en la espalda del nadador (Holmér, 1979).

Existe también la posibilidad de recoger las aceleraciones mediante la derivación de los datos de velocidad obtenidos con filmación o velocímetro (Leblanc et al., 2007; Madera et al., 2010; Tella et al., 2008), aunque Cavanagh (1976) cuestionó la exactitud de los datos de los datos de aceleración obtenidos con este método.

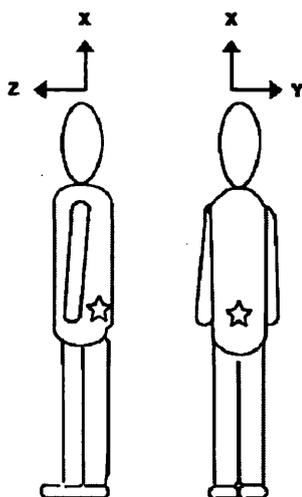


Figura I.6. Colocación del acelerómetro y ejes de movimiento de Slawson et al. (2008).

I. Introducción

Algunos de los trabajos sobre aceleración que han estado enfocados a la valoración de los gestos propulsivos de los segmentos del nadador se han enfocado en analizar los miembros superiores (Ichikawa et al., 2003; Ohgi & Ichikawa, 2002; Ohgi, 2002; Ohgi, Yasumura, Ichikawa, & Miyaji, 2002; Rouboa, Silva, Leal, Rocha, & Alves, 2006), aunque también encontramos los que han valorado tanto los superiores como los inferiores (Wright, Hinman, & Stager, 2010) durante el nado mediante el uso de acelerómetros ubicados en los miembros a analizar.

El otro enfoque, el que tiene en cuenta la aceleración del nadador durante el desplazamiento, fue iniciado por Holmér (1979). La obtención de datos sobre la aceleración se puede llevar a cabo de dos formas:

- Mediante la derivación de los datos de la velocidad instantánea del nadador, independientemente del sistema de registro utilizado (velocímetro, transductor de posición o digitalización de la filmación).
- A través de acelerómetro (uno o tres ejes) o giroscopio (aceleración angular).

Los avances técnicos, la extensión del uso de aparataje más complejo y su aplicación en el análisis de la actividad física (Mathie, Coster, Lovell, & Celler, 2004; Menz, Lord, & Fitzpatrick, 2003; Pelham, Robinson, & Holt, 2006), han ampliado las posibilidades de análisis en natación. Así, podemos ver trabajos que analizan la aceleración del nadador en la dirección del desplazamiento (Buchner & Reischle, 2003; Madera et al., 2010; Tella et al., 2008; Ungerechts, 1988) y otros que tienen en cuenta los tres ejes de movimiento (Slawson et al., 2008; Tella et al., 2010; Vannozzi, Donati, Gatta, & Cappozzo, 2010).

I. Introducción

Tabla I.13. Principales trabajos de análisis de la aceleración de desplazamiento del nadador

AUTOR	MÉTODO	REFERENCIA	ESTILO(S)	N	NIVEL	CONTEXTO
(Holmér, 1979)	ACELERÓMETRO	ZONA LUMBAR	CROL BRAZA	3	E NE	FLUME
(Mason et al., 1992)	FILMACIÓN	CENTRO DE MASAS	MARIPOSA	11	-	LAB
(Buchner & Reischle, 2003)	ACELERÓMETRO + VIDEO	ESPINA LUMBAR	BRAZA MARIPOSA	1	-	LAB

Niveles: E: élite; NE: no élite

Contexto: FLUME: piscina de corriente; LAB: laboratorio

Uno de los primeros ejemplos de análisis en el dominio frecuencial de la aceleración se puede ver en la Figura I.7.

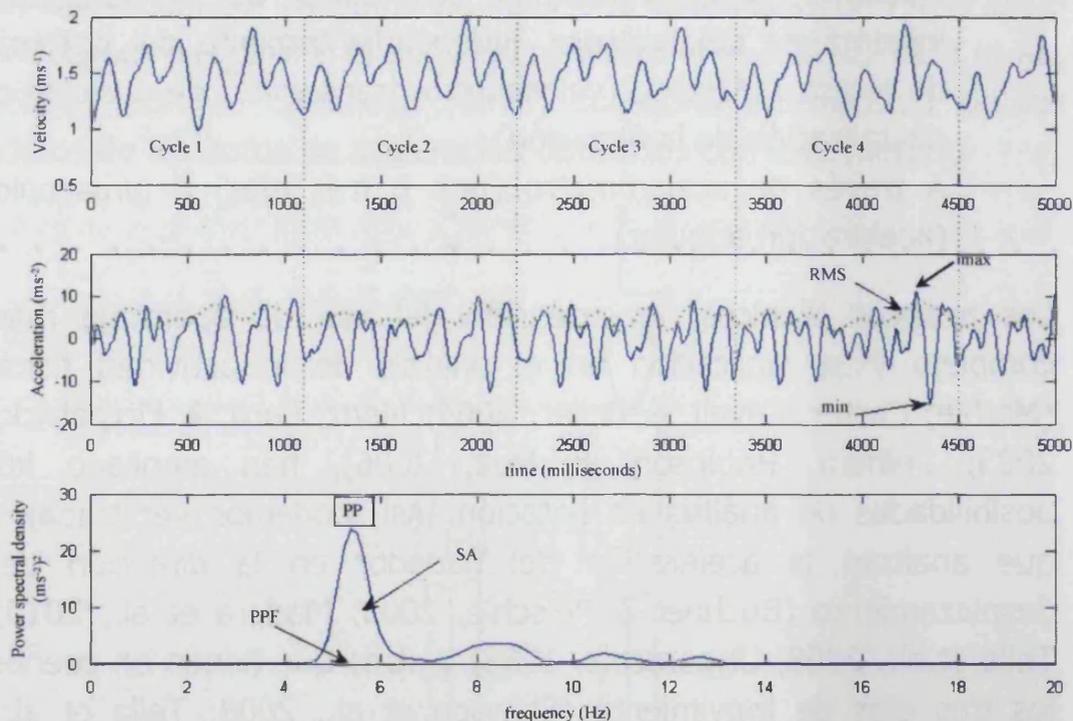


Figura I.7. Ejemplo de análisis realizado con la señal de posición con respecto al tiempo. El panel superior es una representación de la velocidad intraciclo. El panel central muestra una propuesta de cambios intraciclo en relación a la aceleración. Se muestra la señal de la aceleración de un sujeto, así como la RMS y los valores Max y Min de dicha señal. En el panel inferior, se observa el análisis frecuencial de la señal de aceleración. Ejemplo de pico de potencia (PP), frecuencia del pico de potencia (PPF) y área bajo la curva del espectro o área espectral (AS) (Tella et al., 2008).

I. Introducción

Los principales parámetros obtenidos en los diferentes estudios que han analizado la aceleración del desplazamiento del nadador son:

- RMS (*root mean square* o valor eficaz). Holmér (1979) lo considera un indicador de la economía de nado en un test progresivo.
- El valor máximo y mínimo de la aceleración (Max y Min).
- El pico de potencia (PP) o valor más alto del espectro de potencia.
- La frecuencia del PP (PPF) o frecuencia asociada con el PP.
- La potencia contenida en el área espectral (SA), que es la potencia total del espectro total.

I.2.1.2. Frecuencia de ciclo

Cada uno de los estilos posee un patrón de movimiento diferente. Cada ciclo de cada uno de los estilos requiere de ciertos movimientos tanto acuáticos como aéreos específicos, atendiendo al reglamento y a la técnica. Por este motivo las FC no son comparables entre sí en las diferentes pruebas que componen el calendario FINA. Aun así, los diferentes estudios muestran:

-Diferencias entre estilos. Cuando se comparan sus valores entre estilos estos son diferentes (Hellard et al., 2008) y mayores en el estilo mariposa, seguido del crol, la braza y la espalda (Morales, 2006). Tomando como referencia la prueba de 100 metros de cada uno de los estilos, en la tabla I.14 se pueden ver los valores medios de la FC según diferentes estudios (Arellano, Brown, Cappaert, & Nelson, 1994; Chollet et al., 1996; Craig et al., 1985; Pai et al., 1984; Pendergast, Di Prampero, Craig JR, Wilson, & Rennie, 1977) y resultados (Haljand, 2011), con nadadores de nivel internacional desde el año 1976 al 2008.

I. Introducción

Tabla I.14. Valores medios de velocidad (v) en m's-1 y frecuencia de ciclo (FC) en Hz de los 100 metros de los diferentes estilos en nadadores de alto nivel

Competición	Fuente	MARIPOSA		ESPALDA		BRAZA		CROL		ORDEN
		v	FC	v	FC	v	FC	v	FC	
Trials U.S.A. 1976	Pendergast et al. (1977)	1,78	0,89	1,71	0,76	1,48	1,02	1,92	0,95	BCME*
J.J. Commonwealth 1982	Pai et al. (1984)	1,78	0,90	1,70	0,79	1,51	1,03	1,92	0,94	BCME*
Trials U.S.A. 1984	Craig et al. (1985)	1,78	0,90	1,70	0,79	1,51	0,95	1,93	0,90	BCME*
J.J. O.O. Barcelona 1992	Arellano et al. (1994)	1,72	0,90	1,64	0,78	1,49	0,87	1,89	0,89	MCBE
Alto nivel	Chollet et al. (1996)	1,78	0,91	1,72	0,76	1,53	0,81	1,95	0,87	MCBE
European C. Helsinki 2000	Hajland (2011)	1,79	0,92	1,71	0,76	1,53	0,85	1,93	0,84	MCBE
World C. Barcelona 2003	Hajland (2011)	1,83	0,92	1,74	0,82	1,55	0,82	1,95	0,84	MCBE
European C. Eindhoven 2008	Hajland (2011)	1,83	0,93	1,72	0,80	1,54	0,84	1,95	0,85	MCBE

v: velocidad media (m/s); FC: frecuencia de ciclo (Hz) ; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; Orden: de mayor a menor FC

*Antes del cambio de reglamento de la braza

Las tres competiciones en las que los resultados no coinciden con el resto son las más antiguas (1976, 1982 y 1984). En estas, la braza es el estilo con más FC, seguido del crol y la mariposa. Esto puede deberse al cambio de reglamento realizado por la FINA en 1987 con respecto al estilo braza.

-Diferencias en función de la distancia de nado. Existe una relación directa entre ésta y la disminución de la FC, es decir, conforme la distancia a recorrer es mayor (de 50 a 1.500 metros), la FC es menor (Craig JR & Pendergast, 1979; Craig et al., 1985; Leblanc et al., 2007; Seifert, Boulesteix, Chollet, & Vilas-Boas, 2008). E.W. Maglischo (1982) estableció unos rangos de FC (Hz) para las

I. Introducción

distintas pruebas del calendario basándose en los datos obtenidos en competición (ver tabla I.15).

Tabla I.15. Rangos de FC (Hz) para las distintas pruebas y distancias en ambos géneros (adaptado de E. W. Maglischo, 1982)

Prueba	Masculino	Femenino
50L	1-1,07	1,12-1,17
100L	0,88-0,93	0,83-0,9
200L	0,8-0,87	0,8-0,83
400L	0,75-0,87	0,7-0,75
800L	-	0,68-0,73
1.500L	0,83-0,88	0,67-0,72
100E	0,73-0,82	0,8-0,85
200E	0,67-0,72	0,7-0,82
100B	0,73-0,88	0,83-0,92
200B	0,7-0,73	0,67-0,75
100M	0,9-0,95	0,83-0,92
200M	0,83-0,9	0,83-0,92

Valores expresados en Hz

-La relación con la velocidad. El incremento de la velocidad también muestra modificaciones en la FC. Así el aumento de la FC y la disminución de la LC en los cuatro estilos de competición está asociado a éste (Craig JR & Pendergast, 1979; Seifert, Chollet, & Bardy, 2004).

Los gráficos de la figura I.8.ponen de manifiesto la relación no lineal velocidad y la FC. En bajas intensidades el aumento de la velocidad se produce por el incremento de la FC y la estabilización de la LC.

Sin embargo el incremento de la FC se estabiliza a partir de que se alcanzan velocidades máximas (T. M. Barbosa, Fernandes, Keskinen, & Vilas-Boas, 2008).

I. Introducción

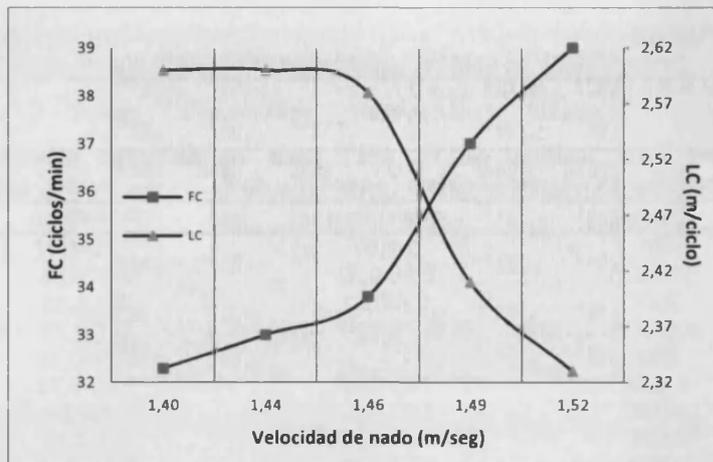


Figura I.8. Ejemplo de comportamiento técnico de la FC y LC en relación con la velocidad de nado en el test de 5x200 metros crol en un nadador (Navarro, 1996)

Trabajos experimentales han reportado relaciones polinómicas entre la velocidad y la FC (T. M. Barbosa, Fernandes et al., 2008; Craig JR & Pendergast, 1979; Craig et al., 1985; Seifert et al., 2008). Existen correlaciones parciales entre la velocidad y FC controlando el efecto de la LC significativas (tabla I.16) en todos los estilos (T. M. Barbosa, Fernandes et al., 2008).

Tabla I.16. Valores de correlación parcial entre la velocidad de nado (v), la frecuencia de ciclo (FC) y la longitud de ciclo (LC) (T. M. Barbosa, Fernandes et al., 2008)

Estilo	Correlación entre v y FC controlando LC
Crol	$R = 0,82$ ($p < 0,01$)
Espalda	$R = 0,64$ ($p < 0,01$)
Braza	$R = 0,93$ ($p < 0,01$)
Mariposa	$R = 0,90$ ($p < 0,01$)

-Cambios producidos por la fatiga. Durante el desarrollo de una prueba, si la velocidad disminuye conforme el nadador avanza por motivos relacionados con la fatiga, la FC se mantiene, e incluso aumenta ligeramente al final de la prueba (Chollet, Pelayo, Delaplace, Tourny, & Sydney, 1997; Craig JR & Pendergast, 1979; Hay et al., 1983; Keskinen & Komi, 1988; Letzelter & Freitag, 1983; McGrain, Rose, & Davison, 1984; Sidney et al., 1999; Sánchez-Molina & Arellano, 2002). También, cuando el

I. Introducción

planteamiento de nado permite al nadador incrementar la velocidad en determinados parciales se observa que está asociado a incrementos de la FC (T. M. Barbosa, Fernandes et al., 2008).

-Diferencias en función del género y de la antropometría. En general, los nadadores obtienen FC más altas que las nadadoras aunque sus diferencias no sean siempre significativas (Takagi et al., 2004; Zamparo, 2006). En un estudio realizado con nadadores y nadadoras de 100 metros (Morales, 2006) sólo se muestran diferencias significativas en los estilos de espalda y braza (tabla I.17).

Tabla I.17. Diferencias por género de la FC en las pruebas de 100 metros de cada estilo (Morales, 2006)

Estilo	Género	FC (cic · min ⁻¹)	Diferencia	P
Mariposa	Mas.	51,1756	0,09	0,94
	Fem.	51,0769		
Espalda	Mas.	42,1276	2,84	0,01**
	Fem.	39,2819		
Braza	Mas.	50,1953	3,77	0,01**
	Fem.	46,4185		
Crol	Mas.	50,0355	1,55	0,08
	Fem.	48,4793		

Algunos estudios han mostrado que las diferencias de la FC entre géneros pueden deberse a las diferencias antropométricas (J. C. Chatard, Lavoie, & Lacour, 1991; Grimston & Hay, 1986; Pelayo, Sidney, Kherif, Chollet, & Tourny, 1996).

-Diferencias en función de la edad. Parece ser que el incremento de la edad no supone modificaciones estadísticamente significativas en la FC en todos los estilos a pesar de que la mayoría de las variables antropométricas estudiadas aumentan significativamente (Tella et al., 2003). Si bien otros estudios longitudinales han observado una disminución de la FC que justifican por un aumento en la envergadura (J. Chatard, 1986; Lavoie & Montpetit, 1986; Pelayo, Sidney, Weissland, Carpentier, & Kherif, 1995; Reischle, 1993; Tella et al., 2002) o por una mejor

I. Introducción

eficiencia propulsiva (Toussaint, Janssen, & Klufft, 1991; Zamparo, 2006; Zamparo et al., 2008).

Otros estudios transversales (Chollet, Tourny-Chollet, & Gleizes, 1999; Zamparo, 2006) muestran que los nadadores de mayor edad son capaces de nadar a más velocidad con una FC menor durante las pruebas de 50 metros crol.

Morales (2006) correlacionó la FC con la edad y sus resultados muestran una relación débil tanto para el género masculino ($R^2=0,106$) como para el femenino ($R^2=0,014$)

-Diferencias en función del nivel de rendimiento. Para ello, se han realizado estudios en los que se comparan sus valores medios, se ha calculado la relación de esta variable con la velocidad de nado e incluso se ha comparado la variabilidad de la FC en el transcurso de una prueba.

Con respecto a los valores medios de FC, los nadadores de mayor nivel o más rápidos realizan FC mayores (Craig JR & Pendergast, 1979; Seifert et al., 2004).

Sobre la relación entre velocidad y FC los nadadores más rápidos tienden a mostrar una mayor FC (T. M. Barbosa, Fernandes et al., 2008; Craig JR & Pendergast, 1979; Craig et al., 1985), si bien en nadadores jóvenes (Arellano, López-Contreras, & Sánchez-Molina, 2003) apenas se muestran correlaciones entre el tiempo total de la prueba de 100 metros de cada estilo y la FC.

Por otro lado, los nadadores crolistas de mayor nivel presentan menor variabilidad de la FC (Craig et al., 1985).

I.2.1.3. Longitud de ciclo

La importancia de esta variable en el resultado de las pruebas de 100 metros ha sido estudiada en diferentes competiciones (Cappaert, Pease, & Troup, 1995; Kennedy, Brown, Chengalur, &

Nelson, 1990) y se ha considerado como un importante indicador del rendimiento del nadador. Aun así, los diferentes estudios muestran:

-Diferencias entre estilos. Los valores de la LC son diferentes en los cuatro estilos (Hellard et al., 2008; Kilani & Zeidan, 2004). A modo descriptivo en la tabla I.18 se muestra los valores medios en la distancia de 50 metros.

Tabla I.18. Valores medios de la LC de las pruebas de 50 metros en los cuatro estilos en los campeonatos de Fukuoka 2001, Berlín 2002 y Barcelona 2003 (Kilani & Zeidan, 2004)

CROL	MARIPOSA	ESPALDA	BRAZA
2,05	1,77	1,88	1,55

Valores expresados en metros

-Diferencias en función de la distancia de nado. El aumento de la distancia de nado (o de la prueba) produce un incremento de la LC en todos los estilos (Pai et al., 1984).

-La relación con la velocidad. Los aumentos de la velocidad durante una prueba o distancia de nado se consiguen mediante el aumento de la FC y el descenso de la LC (Craig JR & Pendergast, 1979). Las regresiones polinómicas encontradas por T.M. Barbosa et al. (2008) entre la velocidad y la LC en crol y mariposa fueron de $R^2=0,49$ ($P<0,01$) y de $R^2=0,45$ ($P<0,03$) respectivamente.

En braza y espalda, los valores de dicha correlación no fueron significativos. En este mismo trabajo, las correlaciones parciales entre la velocidad y la LC controlando el efecto de la frecuencia FC fueron positivas y significativas (tabla I.19).

I. Introducción

Tabla I.19. Valores de correlación parcial entre la velocidad de nado (v) y la longitud de ciclo (LC) controlando la frecuencia de ciclo (FC) (T. M. Barbosa, Fernandes et al., 2008)

Estilo	Correlación
Crol	R = 0,65 (p < 0,01)
Espalda	R = 0,50 (p < 0,01)
Braza	R = 0,91 (p < 0,01)
Mariposa	R = 0,88 (p < 0,01)

-Cambios producidos por la fatiga. Durante las pruebas de natación se produce un descenso de la velocidad y de la LC por motivos que tienen relación con la fatiga (Chollet et al., 1997; Craig JR & Pendergast, 1979; Craig et al., 1985; Hay et al., 1983; Keskinen & Komi, 1988; Letzelter & Freitag, 1983; Sidney et al., 1999; Sánchez-Molina & Arellano, 2002). En concreto, durante la evolución por parciales en las pruebas de 200 metros (tabla 1.20), la LC sufre un descenso en todos los estilos (Hellard et al., 2008).

Tabla 1.20. Valores medios de la LC en las pruebas de 200 metros femeninos en las semifinales de Atenas 2004 y el Campeonato nacional de Francia 2004 (Hellard et al., 2008)

MARIPOSA		ESPALDA		BRAZA		CROL	
LC1	LC2	LC1	LC2	LC1	LC2	LC1	LC2
1,83	1,73	2,19	2,13	2,15	1,98	2,21	2,15
(0,13)	(0,12)	(0,14)	(0,15)	(0,21)	(0,21)	(0,17)	(0,15)

Valores expresados en metros (DE). LC1: longitud de ciclo media del primer parcial; LC2: longitud de ciclo media del segundo parcial

También, las variaciones en la LC se pueden describir en tres fases en una prueba de 100 metros crol: (a) longitud máxima en el primer parcial y descenso significativo en el segundo, (b) longitud constante en el segundo y tercer parcial, y (c) mínima longitud en el último parcial por un segundo descenso significativo (Letzelter & Freitag, 1983).

I. Introducción

-Diferencias en función del género y de la antropometría. Los valores de la LC son mayores en las pruebas masculinas que en las femeninas en los cuatro estilos de nado, (Arellano et al., 1994; Chengalur & Brown, 1992; Chollet et al., 2000; Kennedy et al., 1990; Letzelter & Freitag, 1983; Pai et al., 1984; Pelayo et al., 1996; Seifert, Boulesteix, & Chollet, 2004; Seifert, Chollet, & Chatard, 2007; Sánchez-Molina & Arellano, 2002). Para el estilo crol esta diferencia puede ser de hasta el 12% (Arellano et al., 1994; Sánchez-Molina & Arellano, 2002).

La LC se correlaciona de manera significativa con la altura ($R=0,385$), envergadura ($R=0,366$), longitud del pie ($R=0,507$), y longitud de la mano ($R=0,378$) ($P<0,05$) (Seifert, Chollet, & Chatard, 2007)(Seifert, Delignieres et al., 2007).

-Diferencias en función de la edad. En un estudio transversal, Tella et al. (2002) observaron incrementos en la LC en las pruebas de 100 y 200 del crol y espalda, 100 mariposa y en los 200 braza en los nadadores del género masculino, y en las pruebas de 100 y 200 espalda en el femenino (tabla I.21).

Tabla I.21. Evolución y diferencias porcentuales de la LC en nadadores masculinos en campeonatos nacionales separados por dos años (Tella et al., 2002)

	LIBRES		MARIPOSA		ESPALDA		BRAZA	
	100 (n=17)	200 (n=6)	100 (n=14)	200 (n=1)	100 (n=17)	200 (n=14)	100 (n=16)	200 (n=7)
94	2,01 (0,22)	2,05 (0,25)	1,69 (0,10)	1,62	2,09 (0,20)	2,40 (0,25)	1,63 (0,16)	1,67 (0,13)
96	2,14 (0,19)	2,27 (0,17)	1,80 (0,06)	1,79	2,22 (0,23)	2,53 (0,21)	1,64 (0,14)	1,95 (0,15)
$\Delta\%$	6,47	10,73	6,50		6,22	5,42	0,61	16,77

94: campeonato celebrado en 1994; 96: campeonato celebrado en 1996; $\Delta\%$: incremento porcentual entre los campeonatos (94 y 96)

Valores expresados en metros (SD) y porcentaje. En negrita las LC que mostraron diferencias significativas ($p<0,01$)

Morales (2006) establece una correlación media entre la edad y la LC para el género masculino ($R^2=0,480$) y para el género femenino ($R^2=0,542$).

I. Introducción

-Diferencias en función del nivel de rendimiento. Los nadadores crolistas que presentan mayor nivel muestran mayores valores y menos variaciones de la longitud de ciclo (Craig et al., 1985).

Estas diferencias han sido estudiadas entre finalistas y semifinalistas (tabla I.22) en el trabajo de Kilani y Zeidan (2004) y entre diferentes niveles porcentuales de rendimiento con respecto al record del mundo (tabla I.23) en el trabajo de Seifert et al. (2007)

Tabla I.22. Valores medios de la LC de las pruebas de 50 metros en los cuatro estilos en los campeonatos de Fukuoka 2001, Berlín 2002 y Barcelona 2003 (Kilani & Zeidan, 2004)

CROL		MARIPOSA		ESPALDA		BRAZA	
SF	F	SF	F	SF	F	SF	F
2,10	2,05	1,80	1,77	1,94	1,88	1,62	1,55

Valores expresados en metros. SF: semifinales; F: finales

Tabla I.23. Valores medios y diferencias de la LC en la prueba de 100 metros libres en tres niveles (adaptado de Seifert, Chollet, & Chatard, 2007)

NIVEL	G1 (90%)	G2 (80%)	G3 (70%)
LC	2,16 (0,18) ^{b,c}	1,96 (0,17) ^{a,c}	1,89 (0,19) ^{a,b}

Valores expresados en metros (SD)

Entre paréntesis porcentaje de la mejor marca sobre el record del mundo en el momento del estudio

^a significativamente diferente del G1; ^b significativamente diferente de G2; ^c significativamente diferente de G3

P<0,05

I.2.1.4. Índice de ciclo

Es conocido como índice de eficiencia (Invernizzi, Scurati, Michielon, & Pizzini, 2006; Mason & Cossor, 2000; Smith, Norris, & Hogg, 2002; Xu-Hong & Hong-Hui, 2006). Este índice ha sido utilizado como un parámetro de valoración de la eficiencia en todos los estilos.

El uso inicial de este índice fue aplicado a una prueba de 400 yardas (365,8 metros) para determinar la validez del cálculo de

I. Introducción

consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$) de muestras de gas tomadas inmediatamente después de la actividad (Costill et al., 1985). Este índice (como ya se ha señalado) ha sido considerado como un indicador válido de la eficiencia de nado, e incluso ha sido considerado como un índice que podría predecir la potencia aeróbica máxima en natación (McMurray et al., 1990). Para nadadores entrenados, el I_c se correlaciona positivamente ($R=0,97$) con el $\dot{V}O_{2max}$ en el estilo crol (Costill et al., 1985).

Los principales estudios muestran:

-Diferencias entre estilos. Algunos trabajos (Costill et al., 1992; Pelayo, Wille, Sidney, Berthoin, & Lavoie, 1997; Sánchez-Molina & Arellano, 2002; Wakayoshi et al., 1993) encontraron, al comparar los valores de I_c entre los diferentes estilos, que el crol era el estilo con mayor I_c , seguido de la espalda, la mariposa y, por último, la braza.

-Diferencias en función de la distancia de nado. El I_c desciende en función de la reducción de la distancia de nado en todos los estilos (Sánchez-Molina & Arellano, 2002).

-Cambios producidos por la fatiga. Smith et al. (2002) sugieren que la evolución del I_c durante una prueba podría ser un indicador de la efectividad del entrenamiento llevado a cabo por los nadadores dada su relación con el descenso de la LC por la fatiga acumulada en el esfuerzo (Chollet et al., 1997; Craig JR & Pendergast, 1979; Craig et al., 1985; Hay et al., 1983; Keskinen & Komi, 1988; Letzelter & Freitag, 1983; Sidney et al., 1999; Sánchez-Molina & Arellano, 2002).

-Diferencias en función del género y de la antropometría. Sánchez-Molina y Arellano (2002) encontraron valores de I_c más altos en todas las pruebas analizadas en los hombres que en las mujeres. Probablemente las diferencias antropométricas (i.e. altura,

I. Introducción

envergadura) que diferencian la LC entre géneros (9-11%) en las pruebas de 100 metros (Kennedy et al., 1990; Sánchez-Molina & Arellano, 2002), además de otras causas de origen fisiológico que intervienen en la velocidad de nado, provoquen diferencias en el Ic entre géneros.

-Diferencias en función de la edad. Los resultados obtenidos en algunos trabajos (Tella et al., 2002; Tella et al., 2003) confirman que a mayor edad mayor Ic. También, para este índice (Morales, 2006; Morales, Arellano, Femia, & Mercadé, 2010) se establecen buenas correlaciones con la edad tanto en el género masculino ($R=0,646$) como en el femenino ($R=0,648$).

-Diferencias en función del nivel de rendimiento. Sánchez-Molina y Arellano (2002) encontraron diferencias significativas en el Ic durante el análisis de dos campeonatos (internacional y nacional). En los resultados de dicho estudio los competidores internacionales obtienen valores más altos que los de nivel nacional.

I.2.1.5. Índice de coordinación

Los principales estudios con el objetivo medir la coordinación de las acciones de los brazos en los estilos alternativos (crol y espalda), con cuantificación precisa del tiempo entre el inicio de la propulsión de un brazo y el final de la propulsión del otro, y para medir la coordinación entre las acciones de brazos y de piernas para los estilos simultáneos (braza y mariposa), con cuantificación precisa del tiempo transcurrido entre el inicio de las acciones de los brazos y la finalización de las acciones de piernas, muestran:

-Diferencias entre estilos. Como ya se ha descrito anteriormente, cada uno de los estilos está sujeto a unos criterios o índices de coordinación.

Si tomamos como referencia los índices descritos por Chollet et al. (2000; 2008) tanto el crol como la espalda cuantifican su

I. Introducción

coordinación atendiendo a un porcentaje de tiempo entre el inicio y la finalización de las acciones propulsivas de brazos.

Los resultados de IdC que se muestran en los estudios consultados muestran valores negativos de ambos estilos en las distancia de 50 metros, siendo superiores en crol. Chollet, Challies y Chatard (2000) reflejan un valor medio de $-0,9 \pm 5,6$ para el crol en dicha distancia, mientras que en otro trabajo, Chollet, Seifert y Carter (2008) muestran un valor de IdC para la espalda en 50 metros de $-9,9 \pm 4$.

Los índices de coordinación establecidos por Chollet et al. (2004; 2006) en braza y mariposa, toman como referencia momentos diferentes para su valoración por lo que su comparación no aporta ninguna información relevante en cuanto a la posibilidad de establecer referencias entre ellos.

En la tabla I.24 se pueden apreciar diferentes valores de los IdC o tiempos para cada estilo.

Tabla I.24. Valores medios de IdC (crol y espalda) y tiempos (braza y mariposa) en las pruebas de 50 metros (Chollet et al., 2000; Chollet et al., 2004; Chollet et al., 2006; Chollet et al., 2008)

	CROL	ESPALDA	MARIPOSA				BRAZA				
			T1	T2	T3	T4	T1 _a	T1 _b	T2	T3	T4
IdC	-0,9	-9,9	2,3	-11,2	-3,9	-2,1	-19,18	-9,11	1,51	-4,40	0,04

Tn°: tiempo entre fases

-Diferencias en función de la distancia de nado. Chollet et al. (2000) encontraron coordinaciones en punto muerto ($IdC > 0$) para las pruebas de 800 metros (media distancia), mientras que para los 100 y 50 metros la coordinación utilizada por los nadadores era la de oposición ($IdC = 0$). Similares resultados se obtuvieron en el trabajo de Schnitzler et al. (2008) que analizan el comportamiento del IdC en velocidades obtenidas en distancias comprendidas entre 3.000 y 50 metros para el estilo crol, se observan diferencias entre

I. Introducción

la $V_{3.000}$ y las V_{100} y V_{50} aumentando el valor del IdC (acercándose a 0) conforme se reduce la distancia de nado.

En la espalda, el IdC se muestra substancialmente negativo en diferentes distancias (400 a 50 metros) indicando que los nadadores de este estilo utilizan una coordinación en punto muerto o *catch up* (Chollet et al., 2008; Schnitzler, Seifert, Alberty, & Chollet, 2010) ($\text{IdC} < 0$) que oscila de -25 a -5% (Seifert & Chollet, 2008), es decir, aumenta progresivamente su valor y se encuentran diferencias significativas entre el IdC_{400} y IdC_{100} y IdC_{50} (Chollet et al., 2008).

En el estilo braza (plana), Chollet et al. (2004) observaron descensos significativos en T1a y T1b conforme la distancia de nado se reducía de 200 a 50 metros.

En el estilo mariposa, tan solo T2 se reduce significativamente en distancias de 400 y 200 metros con el valor en los 50 metros (Chollet, Carter, & Seifert, 2006).

En resumen, con la disminución de la distancia de la prueba se produce un incremento en el IdC y el TT disminuye (Chollet et al., 2004; Schnitzler et al., 2008; Seifert et al., 2008).

-Diferencias en función de la velocidad. En general, con la disminución de la velocidad los nadadores tienden a mostrar menores valores en IdC, mostrando una coordinación en punto muerto o *catch-up* (Schnitzler et al., 2008; Seifert, Chollet, & Chatard, 2007) o un aumento en los valores de T_n^0 , aumentando el lapso entre acciones propulsivas (Chollet et al., 2004; Kennedy et al., 1990; Seifert, Chollet, & Chatard, 2007; Seifert et al., 2008; Seifert et al., 2008; Vannozzi et al., 2010).

-Cambios producidos por la fatiga. En el estilo crol, se encontraron diferencias en los valores del primer 100 y el segundo de una prueba de 200 metros. En concreto, el IdC ($\% \pm \text{DS}$) se redujo de –

11,43% \pm 3,87 durante el primer 50 a -7,64% \pm 3,72 en el último (Alberty et al., 2005).

Durante un test de 100 metros, los nadadores de élite (crol) disminuyeron de manera significativa el IdC entre el primer y segundo parcial, y se mantuvo constante en el tercero y cuarto (Seifert, Chollet, & Chatard, 2007). En ese mismo trabajo, los nadadores de menor nivel mantuvieron el IdC entre el primer y tercer parcial, y lo incrementaron significativamente en el cuarto llegando a una coordinación en superposición.

-Diferencias en función del género y de la antropometría. A pesar de las diferencias en la velocidad, en el estilo crol, los valores y variaciones de IdC comparando nadadores y nadadoras de élite son similares, aunque en velocidades bajas, el IdC de las nadadoras es superior (superposición) al de los nadadores (oposición) (Seifert, Chollet, & Chatard, 2007). La menor LC de las nadadoras hace que adopten una coordinación diferente (Seifert, Chollet, & Chatard, 2007). Sin embargo, a diferentes ritmos de nado (velocidad lenta o de 3.000 metros, y en velocidades de distancias de 1.500, 800, 400, 200, 100 y 50 metros), los hombres muestran mayores valores de IdC que las mujeres (Seifert et al., 2004; Seifert, Chollet, & Rouard et al., 2007).

No obstante, desplazándose a una misma velocidad las nadadoras obtienen valores más altos de IdC que los nadadores (Seifert, Chollet, & Rouard et al., 2007; Seifert, Delignieres et al., 2007). No se encontró una regresión significativa entre el IdC y la altura y la envergadura (Seifert, Chollet, & Rouard et al., 2007).

En el estilo braza ambos géneros muestran incrementos proporcionales en la propulsión de brazos y piernas en ritmos de 200 a 50 metros (Seifert & Chollet, 2005). En ese mismo trabajo, las nadadoras mostraron mayor reducción en la duración de los

I. Introducción

deslizamientos (de brazos y piernas) que los hombres, conforme aumentaba la velocidad de nado.

En el estilo mariposa, cuando se comparan géneros en niveles medios (77-78% del record del mundo) existen diferencias en T1 por la mayor capacidad de los nadadores de colocarse en una mejor posición del tronco, cabeza y miembros superiores (*streamline*) durante las acciones propulsivas de las piernas, de adoptar un menor deslizamiento y mayor FC para contrarrestar la resistencia y de generar mayores fuerzas y usar mejor técnica durante el movimiento hacia dentro (Seifert et al., 2008).

- Diferencias en función del nivel de rendimiento. Los valores de IdC en el crol de los nadadores de élite se aproximan a 0 (-1,6% en el ritmo de 100, 0,8% en el de 50 y 2,8% a máxima velocidad), lo que indica relativa oposición o superposición de los gestos propulsivos de los brazos, mientras que los nadadores de peor nivel mostraron IdC negativo o coordinación en punto muerto de las acciones en todos los ritmos desarrollados (Chollet et al., 2003; Seifert, Chollet, & Rouard et al., 2007).

Las diferencias del TT entre niveles en el estilo mariposa se producen por menores valores en T2 y T3 en los nadadores y nadadoras de élite que en los de no élite (Seifert et al., 2008).

En la braza, las diferencias entre nadadores expertos y no expertos están relacionadas con la capacidad de los primeros de optimizar las fases propulsivas, aplicándolas durante mayor tiempo y con la reducción de las fases de deslizamiento y recobro (Chollet et al., 2002).

I.2.1.6. Velocidad intraciclo

El rendimiento en natación depende de la interacción mecánica entre el agua y las acciones dinámicas realizadas por el cuerpo del nadador. De esta interacción surge una relación de fuerzas (i.e.

I. Introducción

propulsivas y resistivas), que son las causantes de la velocidad de nado (Kornecki & Bober, 1978). Todo ello provoca una serie de fluctuaciones de la velocidad durante cada ciclo de nado (Miller, 1975).

Estas variaciones en la velocidad intraciclo han sido estudiadas para caracterizar la técnica de natación teniendo en cuenta parámetros espacio-temporales (Alves, Santos, Veloso, Correia et al., 1994; Holmér, 1979; Miyashita, 1971; Vilas-Boas, 1992).

Asimismo las variables cinemáticas obtenidas durante un ciclo, se han empleado para estudiar la coordinación, la duración o cambios de velocidad de las diferentes fases (Chollet et al., 2000; Chollet et al., 2004; Chollet et al., 2006; Chollet et al., 2008). Así, Seifert et al. (2004) sugieren que la metodología para el estudio de la velocidad intraciclo permite reflejar la eficacia en coordinar las fuerzas que se aplican durante el nado y ofrece una retroalimentación (*feedback*) que puede ser interpretada por el entrenador experimentado (Leblanc et al., 2007).

Así, no sólo el conocimiento de los parámetros analizados en los apartados anteriores ha sido objeto de estudio para comprender las diferentes técnicas de nado asociadas a cada estilo de nado. Ungerechts (1988) sugiere utilizar este análisis para explicar cómo las variaciones de velocidad están afectadas por el elemento que las produce y su valoración puede optimizar la coordinación de movimientos de un nadador durante el entrenamiento técnico (T. M. Barbosa et al., 2008; Fujishima & Miyashita, 1999; Hahn & Krug, 1992; Holmér, 1979; Miyashita, 1997; A. Silva, Colman, Soons, Alves, & Persyn, 2003; Toussaint et al., 1983).

Por ello, la fluctuación de la velocidad intraciclo en los cuatro estilos representa el efecto de todas las fuerzas aplicadas durante el nado en cada uno de ellos (Buckwitz et al., 2003). Se ha sugerido que las fluctuaciones de la velocidad instantánea reflejan

I. Introducción

la capacidad del nadador para coordinar las fuerzas propulsivas que se suceden durante el nado (Vilas-Boas, 1992).

Además, estos cambios de la velocidad intraciclo han sido estudiados por diferentes autores como medida de eficiencia propulsiva (tabla I.25). Las variaciones de velocidad en un ciclo de nado se conocen como "fluctuaciones de velocidad intraciclo" o "variaciones de la velocidad intraciclo" (VVI) (Holmér, 1979).

Tabla I.25. Términos utilizados para definir el concepto de la variación de la velocidad intraciclo

Autor(es)	Nombre (<i>original</i>)	Abreviatura	Medida
Miyashita (1971)	Fluctuaciones de la velocidad de nado (<i>fluctuations of swimming speed</i>)		$m \cdot s^{-1}$
McElroy y Blanksby (1976)	Fluctuaciones de la velocidad intraciclo (<i>intra-cycle velocity fluctuations</i>)		
Kornecki y Bober (1978)	Índice de economía (<i>Economy Index</i>)	<i>EI</i>	
Craig JR y Pendergast (1979)	Fluctuaciones de la velocidad (<i>Fluctuations of velocity</i>)		%
Chollet, Madani, y Micallef (1992)	Variaciones de la velocidad (<i>speed variations</i>)	<i>S</i>	
Tourny et al. (1992)			%
Togashi y Nomura (1992)	Fluctuación de la velocidad horizontal (<i>fluctuation of horizontal velocity</i>)		
Alves et al. (1998)	-	<i>VSD</i>	$VSD_{media}^{-1} \cdot 100$
Martins-Silva, Alves, y Gomes-Pereira (1999)	Fluctuación en la velocidad horizontal del centro de gravedad (<i>fluctuation in horizontal velocity of the body centre of gravity</i>)	<i>BCGVF</i>	$m \cdot s^{-1}$
Kjendlie, Ingjer, Stallman, y Stray-Gundersen (2004)	Fluctuación de la velocidad intraciclo (<i>intracycle velocity fluctuation</i>)	<i>IVF</i>	
Toussaint y Truijens (2005)		<i>dV</i>	

Tabla I.25. Continuación...

Autor(es)	Nombre (<i>original</i>)	Abreviatura	Medida
Capitão et al. (2006)	Coeficiente de variación de la velocidad horizontal (<i>variation coefficient of the velocity distribution</i>)	ViV	
Schnitzler, Ernwein, Seifert y Chollet (2006b)	Variaciones intraciclo de la velocidad (<i>intra-cyclic variations of velocity</i>) Variabilidad de la velocidad intraciclo (<i>intra-cyclic speed variability</i>)	IVV	

Estos índices han sido objeto de estudio para:

- Valorar la eficiencia del nado a diferentes ritmos de nado (Schnitzler et al., 2008).
- Valorar el nivel técnico de nado (Persyn, Vervaecke, & Verhetsel, 1983).
- Relacionar el rendimiento del nadador con el nivel técnico (Alves, Santos, Veloso, Pinto et al., 1994; Toussaint, 1992).

Tanto la información de los diferentes picos de velocidad que se producen durante un ciclo de nado como la mayor o menor variabilidad en cada uno de los estilos puede aportar información sobre cómo los nadadores gestionan sus fuerzas durante el nado.

Los principales estudios muestran:

-Diferencias entre estilos. Con respecto a los picos de velocidad en cada uno de los estilos, C.W. Maglischo et al. (1987) y Schleihauf et al. (1988) muestran que en el estilo crol se producen varios picos de velocidad máxima y mínima por ciclo de nado. El mayor o menor número de estos picos responderá a la amplitud y eficacia de los movimientos realizados por los brazos. En la figura I.9. se muestra el patrón de dos picos de velocidad durante un ciclo

I. Introducción

completo de nado. Otros nadadores responden a un patrón de dos picos por cada brazo.

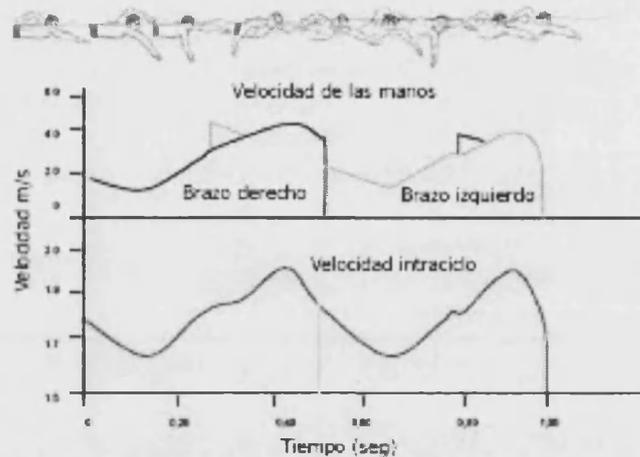


Figura I.9. Variaciones de la velocidad de las manos (superior) y de la velocidad de desplazamiento del nadador (inferior) en un ciclo de nado de crol (E. W. Maglischo, 2003)

Schleihauf et al. (1988) presentan patrones de 4 picos de velocidad máxima y mínima para el estilo mariposa (figura I.10). Craig et al. (2006) indican que existen variaciones en el patrón de nado de mariposa, incluso en diferentes ciclos de un mismo nadador.

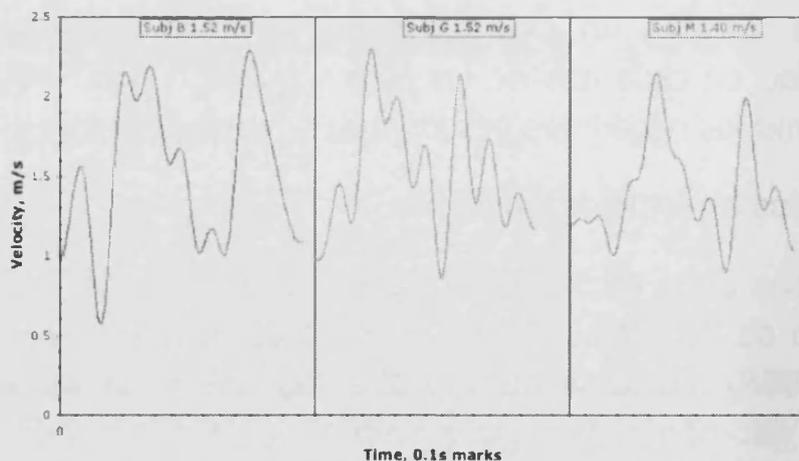


Figura I.10. Perfiles de velocidad en un ciclo del estilo mariposa en tres nadadores a la misma FC (Craig et al., 2006)

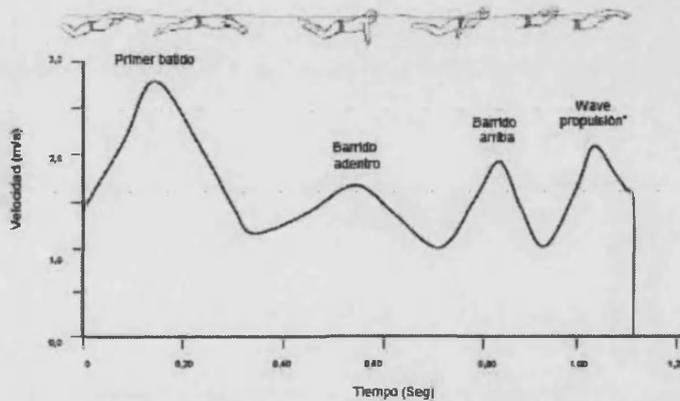


Figura I.11. Variaciones de la velocidad durante un ciclo del estilo mariposa. Los picos corresponden a las diferentes fases durante el nado (E. W. Maglischo, 2003)

El ciclo de nado en braza se caracteriza por dos picos de velocidad máxima y mínima de brazos y piernas (Capitão et al., 2006; Craig et al., 1988). En la figura I.12 se observa como durante dos ciclos completos se repite este patrón

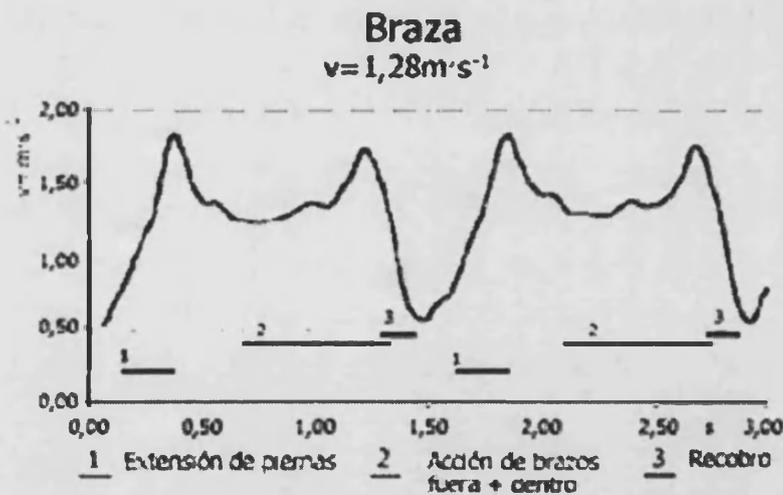


Figura I.12. Variación intraciclo de la velocidad en dos ciclos de nado en el estilo braza (Buckwitz et al., 2003)

El estilo espalda presenta una mayor variabilidad en el número de picos de velocidad durante un ciclo completo de nado (E. W. Maglischo, 2003). En la figura I.13 se observa un ciclo con dos

I. Introducción

picos de velocidad máxima y mínima por brazada, mientras que también existen patrones de uno o tres picos por brazada.

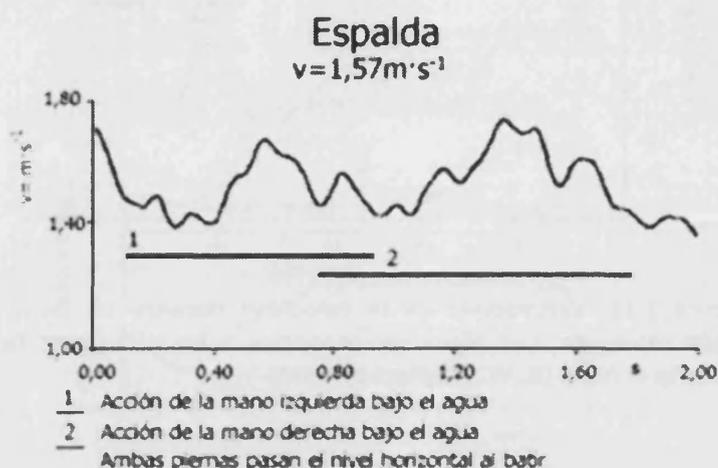


Figura I.13. Variación intraciclo de la velocidad en un ciclo completo en el estilo espalda (Buckwitz et al., 2003)

Con respecto a las fluctuaciones de velocidad en cada uno de los estilos:

Las fluctuaciones van a depender en primer lugar del estilo (Alves et al., 1998; Craig JR & Pendergast, 1979). El crol y la espalda son los estilos que presentan menores variaciones de CV ($\pm 15\text{-}20\%$) y la mariposa y la braza los que mayor variación muestran ($\pm 45\text{-}50\%$) (Craig JR & Pendergast, 1979) producido en parte por la mayor variación del impulso del nadador a lo largo del ciclo de brazada (T. M. Barbosa et al., 2010) y las diferencias propias de los estilos de movimientos alternados y continuos (crol y espalda) y los de simultáneos y discontinuos (braza y mariposa) (Hopper, Hadley, Piva, & Bambauer, 1983). En la misma línea, es decir, agrupando los estilos en función de la alternancia y continuidad o no de los movimientos, Morouço et al. (2009) encuentran la misma diferenciación aunque con valores superiores ($39,0 \pm 2,3$ en el crol y la espalda y $101,9 \pm 20,8$ en braza y mariposa) a los obtenidos por Craig y Pendergast (1979). El CV obtenido por Balonas et al. (2006) en los cuatro estilos diferencia el crol como el de menor variación de la velocidad intraciclo y la braza como el de mayor.

I. Introducción

Aunque Balonas et al. (2006) no encontraron correlaciones significativas entre el tiempo total de nado a velocidad de VO_{2max} y las variaciones de velocidad intraciclo (VI), los estilos de movimientos simultáneos se caracterizaron por una relación inversa (negativa) entre ambas variables, mientras que los alternos mostraron una relación directa (positiva). La falta de correlación significativa puede deberse al bajo número de la muestra (3 por estilo) y el desconocimiento de la contribución energética relativa de cada estilo a la velocidad VO_{2max} (Balonas et al., 2006).

Algunos estudios establecen diferencias dentro de un mismo estilo en función del tipo de coordinación utilizado. En el caso de la braza, algunos autores (Tourny et al., 1992; Vilas-Boas, 1996) comparan la fluctuación de la velocidad intraciclo en diferentes tipos de braza y sus resultados muestran menores valores en la braza sin ondulación o plana que en la ondulante e incluso que la braza ondulante con recobro aéreo.

También, el gasto energético es mayor cuanto más altos sean los valores de variación intraciclo (T. M. Barbosa, Keskinen, Fernandes, Colaço, Lima et al., 2005; Vilas-Boas, 1996) y pueden ser un límite para obtener mejores rendimientos (Toussaint et al., 1988). Así, T.M. Barbosa et al. (2006) obtienen resultados que valoran el gasto energético de cada estilo a diferentes intensidades en los que el crol es el estilo más económico, seguido por orden (de mayor a menor) de la espalda, la mariposa y la braza.

-Diferencias en función de la distancia de nado. Las diferencias de velocidad intraciclo en función de la distancia de nado no han sido objeto de estudio por la mayoría de autores. En el estilo braza (Leblanc et al., 2007) se muestra que no existen diferencias significativas de las fluctuaciones de velocidad intraciclo entre las distancias de 200, 100 y 50 metros.

I. Introducción

Los estudios de Psycharakis et al. (2010) sobre la distancia de 200 crol y de Alberty et al. (2005) y Psycharakis y Sanders (2009) en 25 crol nos muestran una mayor variabilidad en esta última.

-Diferencias en función de la velocidad. Craig y Pendergast (1979) indicaron que en los cuatro estilos, las fluctuaciones de la velocidad se incrementaban con el aumento de la velocidad de desplazamiento. Posiblemente éste se deba al aumento de la resistencia al avance (Holmér, 1974).

Sin embargo, la relación de la fluctuación de la velocidad intraciclo con el incremento de velocidad se muestra como un tema controvertido entre los diferentes autores (T. M. Barbosa, Fernandes et al., 2008). Mientras que unos autores mantienen que no existe relación (Schnitzler et al., 2008; Seifert et al., 2008), otros indican que el descenso de la fluctuación de la velocidad se pueden asociar con incrementos de la velocidad en el nadador (Hahn & Krug, 1992; Manley & Atha, 1992; Takagi et al., 2004; Togashi & Nomura, 1992).

Un reciente trabajo señala una correlación de $R=0,70$ ($P=0,017$) entre la fluctuación de la velocidad y la velocidad horizontal de desplazamiento en una prueba de 200 metros crol a máxima velocidad (Psycharakis et al., 2010). Schnitzler et al. (2006b) confirman que esta relación no se produce en nadadores de alto nivel.

-Cambios producidos por la fatiga. El efecto de la fatiga (Soares et al., 2006; Tella et al., 2006; Tella et al., 2006) y el agotamiento (Alberty et al., 2002; Alberty et al., 2005) provoca modificaciones en las variables temporales de las diferentes fases del ciclo de nado en el crol. Sin embargo, el coeficiente de variación de la velocidad se mantiene constante (Alberty et al., 2002). Así las relaciones entre la V_{max} y V_{min} (Alberty et al., 2002; Alberty,

I. Introducción

Sidney, Hespel, Huot-Marchand, & Pelayo, 2003; Alberty et al., 2005) no se modifican en situaciones de nado con fatiga.

Si bien, las fluctuaciones de la velocidad no tienen una relación directa con la fatiga, T.M. Barbosa et al. (2005) relacionan la variación de la velocidad intraciclo en mariposa con el coste energético, mostrando valores del coeficiente de variación de la velocidad de aproximadamente del $\pm 29\%$ al $\pm 59\%$, y su incremento está significativamente asociado a un mayor gasto energético.

-Diferencias en función del género y de la antropometría. Generalmente, las nadadoras tienen menor fluctuación de la velocidad intraciclo que los nadadores sobre una distancia de 50 metros braza (Schnitzler et al., 2008) aunque las diferencias no son significativas. Manley y Atha (1992) corroboran estas diferencias, y las relacionan con parámetros antropométricos y de generación de fuerza. Sin embargo, Capitão et al. (2006) y Capitão (2005) no encuentran diferencias entre ambos géneros para el mismo estilo.

-Diferencias en función de la edad. El trabajo de Kjendlie et al. (2004) señala diferencias en la fluctuación de la velocidad intraciclo entre adultos ($21,4 \pm 3,7$ años) y niños ($11,7 \pm 0,8$ años). Estas diferencias señalan a los nadadores de mayor edad como los que tienen mayor variación de la velocidad intraciclo ($19,0 \pm 7$ vs $25,0 \pm 5$) en el estilo crol.

-Diferencias en función del nivel de rendimiento. En la natación de competición las fluctuaciones de la velocidad intraciclo están consideradas como limitadoras del rendimiento y dependen del nivel técnico del nadador (Toussaint et al., 1983; Toussaint et al., 2002; Toussaint, 2002).

I. Introducción

Mientras los incrementos de la fluctuación de velocidad de los nadadores de élite se pueden asociar a la capacidad de aceleración (Leblanc et al., 2007) en el estilo de braza, en los estilos de crol y espalda se establece que los nadadores de nivel alto registran pequeñas variaciones en la velocidad intraciclo con respecto a la velocidad media de nado (Costill et al., 1987).

Así en braza se encuentran diferencias significativas entre nadadores de élite y no élite en las tres distancias de competición (200, 100 y 50 metros), siendo las fluctuaciones más altas en los de élite (Leblanc et al., 2007). En el trabajo de Persyn y Colman (1989) se observa que la amplitud de las variaciones de la velocidad en ciertas fases de un ciclo de nado en braza se asocian al nivel del nadador. Además, los nadadores de mayor nivel en braza combinan de manera más efectiva los picos de velocidad intraciclo con FC relativamente más bajas que los de menor nivel (Manley & Atha, 1992).

En el crol, el análisis de las variaciones de la velocidad intraciclo a diferentes velocidades de nado muestra diferencias en función del nivel, siendo menores en los nadadores de élite (Schnitzler, Ernwein, Seifert, & Chollet, 2006b). Durante un test progresivo (de V3.000 a V25), se mostraron valores inferiores en el nadador de mayor nivel (Schnitzler, Ernwein, Seifert, & Chollet, 2006b). Esto puede estar asociado a que los nadadores de mayor nivel presentan mejor eficiencia técnica que los de menor (Fujishima & Miyashita, 1999; Vilas-Boas, 1996).

I.2.1.7. Aceleración intraciclo

Las variaciones de velocidad intraciclo se producen por aceleraciones y deceleraciones en el desplazamiento del nadador, y estas están producidas por los movimientos de los segmentos del nadador y la diferente aplicación de fuerzas sobre el agua. El análisis de la relación entre la aceleración del nadador con el

tiempo muestra información sobre la forma en la que los diferentes movimientos contribuyen a los cambios en la velocidad (Holmér, 1979).

Durante el nado, desde que un impulso acaba hasta que comienza el siguiente, el cuerpo del nadador se decelera por las fuerzas de resistencia hidrodinámica, siendo necesario volver a acelerar su masa (Vilas-Boas, 1997). El nado implica grandes aceleraciones y deceleraciones y los patrones de movimiento y las velocidades resultantes son muy diferentes de un estilo a otro (Craig et al., 2006).

La aceleración intraciclo de un cuerpo durante el nado es la suma de las fuerzas propulsivas y de frenado resultante, y es básicamente el origen de la velocidad de nado (Ungerechts, 1988). Las acciones tanto de brazos como de piernas son fácilmente identificables con las correspondientes curvas de los datos obtenidos (Holmér, 1979), y ofrecen información importante de la biomecánica del ciclo de nado.

Los principales estudios muestran:

-Diferencias entre estilos. Holmér (1979) encontró relaciones entre las fluctuaciones de la velocidad y la aceleración en los estilos braza y crol (figura I.13) e identificó como concomitante las fluctuaciones de la velocidad (trazo superior de la figura I.14).

El estudio del estilo braza muestra 2 picos de aceleración y una importante fase de deceleración (Buchner & Reischle, 2003; Holmér, 1979). Los dos momentos de aceleración coinciden con el movimiento hacia dentro de los brazos y con el batido hacia dentro y hacia abajo de las piernas (Buchner & Reischle, 2003). La deceleración más importante se produce en el recobro completo de las piernas (Buchner & Reischle, 2003). En la braza, la frecuencia de nado está relacionada directamente al tiempo de aceleración

I. Introducción

debido a la acción de brazos, y este tiempo muestra una relación con el descenso de la fase de deslizamiento (Tourny et al., 1992).

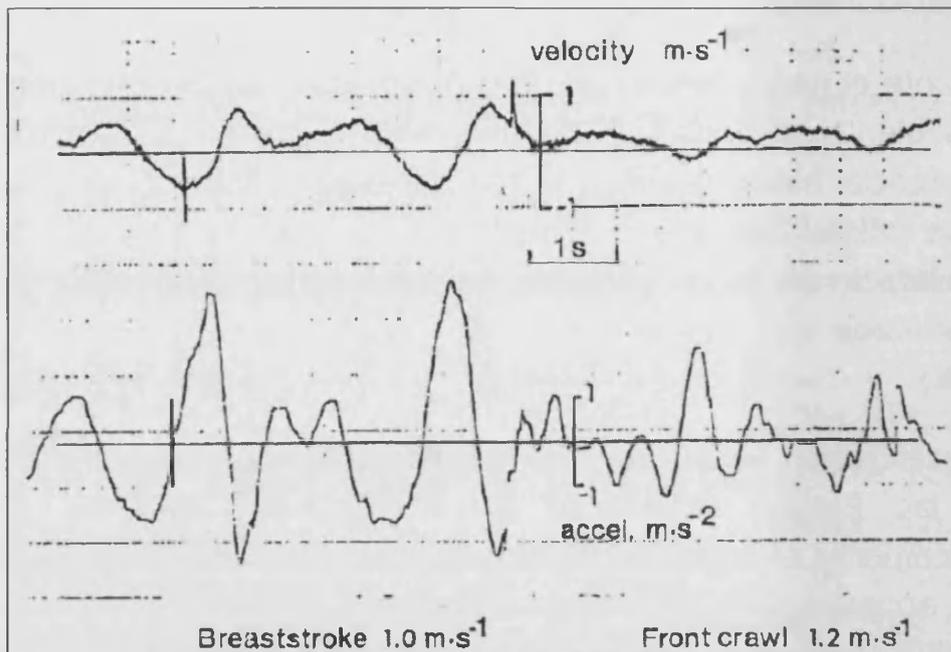


Figura I.14. Curvas de velocidad (arriba) y aceleración (abajo) de un nadador en braza y crol (Holmér, 1979)

Sobre el estilo mariposa, en un estudio mediante filmación subacuática y diferenciando los puntos de referencia de los nadadores (cadera y centro de gravedad), se establecen cinco diferentes fases de aceleración durante cada ciclo (Mason et al., 1992). Estos son: primera patada, movimiento hacia fuera de los brazos, movimiento hacia dentro de los brazos, segunda patada y movimiento hacia arriba de los brazos de manera concurrente y una última fase que no corresponde a ningún movimiento concreto de brazos o piernas, y que mediante la observación se asoció con las acciones del nadador sobre la ola producida por el propio nado. Otros estudios sobre la aceleración durante el nado de mariposa señalan solo 2 (empuje de los brazos y primera patada y entrada de los brazos en el agua) picos de aceleración y otros dos de deceleración (movimiento hacia fuera y recobro de los brazos) durante un ciclo (Buchner & Reischle, 2003).

I. Introducción

El trabajo de Slawson et al. (2008) analiza la señal de la aceleración de los tres ejes de movimiento en los cuatro estilos (en una prueba de 200 metros estilos) en dos nadadores de diferente nivel (nacional e internacional). Este autor señala que el estudio de la aceleración puede mostrar diferencias individuales y entre estilos (magnitud y desviación estándar de la aceleración) además de servir para extraer características simples del ciclo de nado (FC y duración). Además, en dicho trabajo se sugiere que se requiere de más investigación para comprender y justificar las suposiciones asumidas de ese estudio preliminar.

-Diferencias en función de la velocidad. En el trabajo de Holmér (1979), durante un test progresivo de nado en crol, se obtuvieron incrementos en la RMS conforme la velocidad aumentaba.

Otros trabajos que analizan la señal de la aceleración en este mismo estilo muestran correlaciones entre la velocidad ($1,60 \pm 0,04$) y la RMS, Max, Min y AS durante el nado en estilo crol (Tella et al., 2008).

En otro trabajo del mismo autor (Tella et al., 2010) pero con diferente sistema de medida (acelerómetro en tres ejes), los resultados de la RMS en la dirección de desplazamiento del nadador también se correlacionan con la velocidad de nado. Y en una muestra de nadadores crolistas, tras analizar la aceleración y agrupar a los nadadores por el tipo de espectro frecuencial que presentaban, se observaron diferencias entre los nadadores más rápidos (espectro tipo 1) y los más lentos (espectro tipo 2) en la RMS, PP y AS, obteniendo mayores valores los más veloces (Madera et al., 2010).

En el estilo braza Craig et al. (2006) observan incrementos en las aceleraciones producidas por la acción de piernas conforme la velocidad de nado aumenta, aunque las de brazos no parecen variar.

I. Introducción

-Cambios producidos por la fatiga. El trabajo de Tella et al. (2008) sobre el efecto de la fatiga en el estilo crol muestra descensos significativos en la RMS, Max, PP, PPF y AS y aumentos significativos en Min cuando la fatiga aparece en el nadador, al compararlo con el nado sin fatiga.

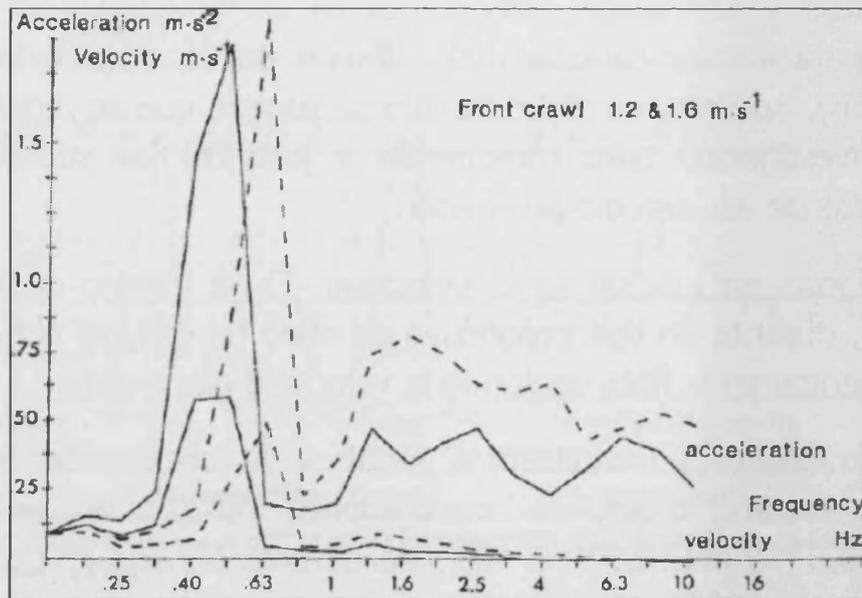


Figura I.15: Espectro frecuencial de la aceleración y la velocidad de un nadador durante el nado de crol (Holmér, 1979)

-Diferencias en función del nivel de rendimiento. Holmér (1979) analiza la incidencia del aumento de la velocidad en el perfil del espectro de la aceleración. Así, señala que el incremento en la velocidad del nadador produce un desplazamiento del pico principal de la aceleración (figura I.15) hacia la derecha, es decir, hacia mayores frecuencias. Según este autor, ese aumento de la velocidad provoca la aparición de otro pico de gran tamaño, que se relaciona con el aumento de la acción de las piernas. Esta afirmación es cuestionable, puesto que el perfil intraciclo de la velocidad en el estilo crol en altas velocidades muestra un perfil uniforme de seis picos de velocidad por ciclo (Tella et al., 2008) que podrían coincidir con los tres movimientos de cada brazo, y los correspondientes seis batidos que se coordinan con los brazos en este estilo.

I.3. Objetivos e hipótesis

Revisados los principales trabajos sobre análisis cinemático de las técnicas de nado se observa que éstos han sido estudiados en función del estilo, el género, el nivel y de la situación en que se llevan a cabo. También que la metodología utilizada principalmente ha sido de tipo temporal, es decir, se han descrito sus valores y modificaciones en función del espacio y el tiempo.

Como ya se indicó en el preámbulo, la periodicidad de las acciones durante el nado sugiere tomar en consideración su análisis frecuencial.

Así y ante la escasez de trabajos que estudien su aceleración, esta tesis propone como objetivo general conocer el comportamiento de la aceleración en cada uno de los estilos a través de los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar una metodología para el análisis temporal y frecuencial de los parámetros cinemáticos derivados del espacio recorrido y su tiempo invertido durante la fase de nado en cada estilo de natación.
- Determinar el perfil intraciclo de la aceleración de cada estilo de nado a través de sus espectros frecuenciales.
- Analizar las variables cinemáticas temporales y frecuenciales en función del estilo de nado, género y nivel.
- Relacionar la aceleración con el rendimiento.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

II. Material y métodos

II.1. Diseño

Este estudio pretende analizar los aspectos cinemáticos y de la aceleración más relevantes durante el nado de los cuatro estilos de competición, y establecer perfiles de rendimiento entre niveles y género. Se utilizó una muestra de nadadores y nadadoras de diferentes clubs, a los que se les realizó una prueba en cada uno de los estilos.

El diseño empleado es descriptivo-comparativo. A continuación se explicitan las variables dependientes e independientes empleadas:

- Las variables dependientes estudiadas en el dominio temporal han sido la Frecuencia de Ciclo (FC; número de ciclos por segundo), la Longitud de Ciclo (LC; metros recorridos por ciclo de nado), el Índice de ciclo (Ic; valor adimensional resultado del producto de la LC por la velocidad de nado), la velocidad media de nado, la *Root Mean Square* (RMS; valor cuadrático medio de la aceleración), el Mínimo (Min; mínimo valor de la aceleración) y el Máximo (Max; máximo valor de la aceleración). En el dominio frecuencial se calculó el pico de potencia (PP; indica el valor más alto del espectro de potencia), la frecuencia del pico de potencia (PPF; frecuencia asociada al PP), y la potencia total contenida en el área espectral (SA; valor que refleja la potencia total del espectro).
- Las variables independientes utilizadas fueron el estilo de nado (brazo, crol, mariposa y espalda) el género de los nadadores y su nivel competitivo, expresado en dos niveles (nivel 1 y nivel 2) en función de la mejor marca de cada sujeto en la prueba de 100 metros durante la temporada

II. Material y métodos

2007-2008 y su puntuación sobre el record de España en julio de 2008 por el género, estilo y grupo de edad de cada uno de ellos. Los niveles se establecieron de la siguiente forma: el nivel 1 se corresponde a los tiempos cuya valoración era superior a los 700 puntos, y el nivel 2 a los tiempos que correspondían a 700 puntos o menos.

II.2. Sujetos

Un total de 51 nadadores (31 hombres y 20 mujeres) de diferentes clubes y centros de tecnificación participaron voluntariamente en el presente estudio. Todos ellos realizaron la prueba en los cuatro estilos de competición. Estos deportistas nadaron tanto los estilos en los que eran especialistas como los que no. Los nadadores participaban regularmente y en función de sus marcas en competiciones de ámbito nacional, autonómico y/o provincial.

Las características antropométricas y de rendimiento desglosadas en función de los estilos y géneros se pueden consultar en las tablas II.1 y II.2.

Los criterios de inclusión que se establecieron fueron: llevar un mínimo de 3 años de entrenamiento para competiciones organizadas por las federaciones (autonómicas y/o nacional) y haber realizado un mínimo de 5 sesiones semanales durante la temporada en curso. Como criterios de exclusión se estableció el padecer cualquier tipo de minusvalía o patología transitoria tanto a nivel físico como psicológico.

II. Material y métodos

Tabla II.1. Características antropométricas básicas y puntuaciones por estilo de los participantes (n=51)

	Media	ET
EDAD (años)	17,06	0,42
TALLA (cm)	172,52	1,42
PESO (kg)	63,22	1,52
ENVERGADURA (cm)	179,90	1,67
PUNTOS BRAZA	574,17	21,08
PUNTOS CROL	655,74	16,03
PUNTOS MARIPOSA	537,96	24,43
PUNTOS ESPALDA	582,25	18,18

Los valores que establecen el nivel de los nadadores en cada uno de los estilos corresponden a la proximidad al record de España (1.000 puntos) de la prueba de 100 metros en cada categoría (grupo de edad y género). Cuanto mayor es la puntuación mejor nivel muestra el nadador (Camarero, 2002). ET: Error típico de la media.

Tabla II.2. Características antropométricas básicas y puntuaciones por estilo de los participantes del género femenino (n=21) y masculino (n=30)

	hombre		mujer	
	media	ET	media	ET
EDAD (años)	18,03	0,53	15,55	0,53
TALLA (cm)	178,36	1,48	164,52	1,14
PESO (kg)	69,76	1,56	54,62	1,12
ENVERGADURA (cm)	187,28	1,43	169,78	1,53
PUNTOS BRAZA	611,42	26,56	516,43	31,09
PUNTOS CROL	664,25	21,66	642,55	23,69
PUNTOS MARIPOSA	539,19	29,05	536,05	44,03
PUNTOS ESPALDA	579,74	24,61	586,15	27,11

Los valores que establecen el nivel de los nadadores en cada uno de los estilos corresponden a la proximidad al record de España (1.000 puntos) de la prueba de 100 metros en cada categoría (grupo de edad y género). Cuanto mayor es la puntuación mejor nivel muestra el nadador (Camarero, 2002). ET: Error típico de la media.

II.3. Procedimiento general

Todos los procedimientos descritos en este apartado se realizaron bajo el consentimiento informado de los sujetos. Los nadadores fueron reclutados a través de sus entrenadores teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión descritos en el apartado II.1. Antes del comienzo de las mediciones se realizó una reunión en la que los nadadores fueron informados de todos los protocolos a los

II. Material y métodos

que se tenían que someter. Con 48 horas de antelación sobre la medición se realizó una sesión de familiarización. En la citada sesión se mostró la secuencia de tareas que debían realizar los nadadores y los instrumentos que se emplearían. De esta manera fue posible ajustar el protocolo experimental establecido sobre todo en lo que hace referencia a la altura a la que debía colocarse el transductor y a la distancia en la que se tenía que posicionar la cámara de vídeo (i.e. distancia entre el nadador, la salida y la cámara). También se calcularon los tiempos necesarios para la realización de un registro y con ello se optimizó el tiempo de trabajo necesario.

El día de la sesión de medición los sujetos fueron citados en la piscina correspondiente, donde se realizó la siguiente secuencia: i. recogida de datos básicos y antropometría, ii. calentamiento estándar, iii. colocación del aparataje, iv. medición de los parámetros cinemáticos durante el nado en distintos estilos.

II.4. Aparataje empleado

La velocidad lineal de los sujetos fue registrada con un transductor de posición conectado a un cinturón que portaba el nadador, que estaba conectado a un acondicionador de señales que enviaba los datos a un ordenador portátil en el que se almacenaban. Simultáneamente, una cámara subacuática filmaba al nadador a su paso por la zona media de la prueba durante varios ciclos.

Para la obtención de la velocidad, se utilizó un transductor de posición (figura II.1) (SignalFrame, SportMetrics[®], ESP, Valencia) que registraba a una frecuencia de 1 kHz. Dicho aparato consistía en un sensor de resistencia (250 g) con un cable que se ataba a la cintura del nadador por medio de un cinturón. La señal del transductor pasaba a un acondicionador de señales (SportMetrics[®]) el cual transformaba la señal de Analógico a Digital (A/D) y la filtraba. Este aparato que mide la posición en el tiempo

II. Material y métodos

permite el cálculo de diferentes parámetros derivados de la posición, como es la velocidad. Se compone de una mecánica de gran precisión que manteniendo el cable a una tirantez constante durante la medida, con ello se consigue una gran exactitud y repetibilidad en las medidas. La resolución de medida es de 0,1 milímetros.



Figura II.1. Transductor de posición SportMetrics®

A continuación se detallan las especificaciones técnicas de este aparato (tabla II.3).

Tabla II.3. Especificaciones técnicas del transductor de posición SportMetrics®

Outputs	Potenciómetro: 1 k Voltaje: Rango de 0-10 V Corriente: 4 ... 20 mA Salida de voltaje y corriente ajustable Convertor A/D sincrónico
Resolución	Analógica: esencialmente infinita; ADSI16 : máx. 16 bit f.s.
Material	Aluminio y acero inoxidable. Cable: acero inoxidable
Sensor	Potenciómetro de precisión
Conector	Enchufe de 8 pins (M12 or DIN 45326).

La unión del cable del transductor de posición al nadador se realizó mediante un cinturón de material de nylon inextensible y ajustable marca MARES® (figura II.2)

II. Material y métodos



Figura II.2. Cinturón MARES®

En cuanto al acondicionador de señales es un aparato que se conecta directamente al sensor analógico (figura II.3). Las señales provenientes del sensor junto con la imagen capturada por la videocámara son presentadas por la aplicación en tiempo real durante el transcurso de la medición. El registro de señal analógica y video sincronizados, permiten un análisis detallado del ejercicio realizado. El software que controla el aparato (SignalFrame En-Me) permite enviar y representar gráficamente los datos adquiridos directamente en una hoja de cálculo Excel, para su tratamiento. Existe la posibilidad de seleccionar entre distintos formatos de grabación para la señal de video. La escala de representación analógica es ajustable. Todo el sistema se controla desde un único PC (conexión de 9 pins), encargado de todos los procesos del sistema: configurar, registrar, presentar, guardar, etc. las señales entregadas por los sensores junto con las imágenes capturadas por la videocámara.



Figura II.3. Acondicionador de señales

En el lado izquierdo se puede observar la parte posterior del aparato. En el derecho se puede ver la parte delantera del acondicionador, con las diferentes conexiones disponibles.

De manera sincronizada al registro de la señal, una cámara subacuática se utilizó para grabar varios ciclos de nado desde un punto perpendicular a la dirección de desplazamiento del nadador.

II. Material y métodos

Las imágenes obtenidas se utilizaron para el cálculo de la frecuencia de ciclo (FC). La cámara posee un sensor de 1/3 CCD con una resolución de 512x582 píxeles. La resolución horizontal es de 350 líneas y la relación señal/ruido de 40 dB. La temperatura de uso abarca de -10 °C a 45 °C. La frecuencia de obtención de imágenes es de 25 Herzios o fotogramas por segundo.

El soporte para la cámara se trata de una barra en ángulo recto de aluminio construida especialmente para este uso.

La realización de los tests se llevó a cabo en instalaciones homologadas para la competición. Todas estas instalaciones tenían una longitud de al menos 25m, una profundidad mínima de 1,5m y al menos 5 calles de anchura.

II.5. Recogida de datos básicos y mediciones antropométricas

Con anterioridad al día del test, a los sujetos menores de edad se les entregó una carta con información acerca de los detalles de las pruebas que se iban a realizar y en la que se solicitaban los permisos paternos o de los tutores legales. La carta debía ser devuelta a los investigadores con la firma de los padres/tutores legales autorizando la participación de los sujetos en el trabajo de investigación.

A través de un breve cuestionario, se anotaron el nombre, la fecha de nacimiento y los años de entrenamiento a nivel competitivo de los sujetos, así como todas las mediciones posteriores. Los mejores tiempos de la temporada en las pruebas de 100 metros de cada nadador fueron recogidos para su posterior utilización.

Se realizaron mediciones de talla, peso y envergadura, y se utilizaron los siguientes instrumentos para las mediciones antropométricas: el peso con una balanza SECA® modelo 713 con

II. Material y métodos

una precisión de 200 gramos; la talla un tallímetro marca SECA[®] (incorporado a la báscula) con una precisión de 1 milímetro; para la medición de la envergadura una cinta métrica marca MEDIC[®] de 2,5 metros y con una precisión de 1 milímetro.

La recogida de los datos fue realizada por dos personas, un medidor y un anotador, ambos experimentados. Se tomaron dos mediciones para cada una de las variables estudiadas. Los datos fueron recogidos la plantilla ya mencionada y posteriormente fueron introducidos en hojas de cálculo (Microsoft[®] Excel[®] 2007 o SPSS[®] 15.0) para su análisis.

II.6. Protocolo de calentamiento

Con la aprobación de los respectivos entrenadores, se informó a los nadadores que debían realizar un calentamiento general de aproximadamente 30 minutos. Este calentamiento debía tener tres partes: una primera parte de una duración aproximada de 15 min en la que nadaron de forma libre y variada a una intensidad moderada¹, la segunda parte de una duración aproximada de 8 min combinando ejercicios de técnica a intensidad moderada y nado completo a intensidad submáxima² sobre los cuatro estilos, y la última parte de una duración de 7 min aproximadamente realizando cambios de ritmo a intensidad moderada y máxima³ y repeticiones sobre los cuatro estilos. Después del calentamiento, se estableció un descanso mínimo de 15 minutos antes de la primera serie.

II.7. Procedimiento de toma de datos cinemáticos

De forma previa al comienzo de la prueba de natación se realizó la colocación del aparataje de la siguiente manera:

¹ Un 3 en la escala de Borg.

² Un 7 en la escala de Borg .

³ Un 10 en la escala de Borg.

II. Material y métodos

La distribución de los diferentes aparatos en las instalaciones se realizó en función de la referencia que suponía la calle en la que se realizaron las diferentes pruebas. La cámara subacuática se emplazó a 5 metros de la calle por la que nadaba el sujeto experimental. En la figura II.4 se puede ver un esquema de la colocación del aparataje en la instalación.

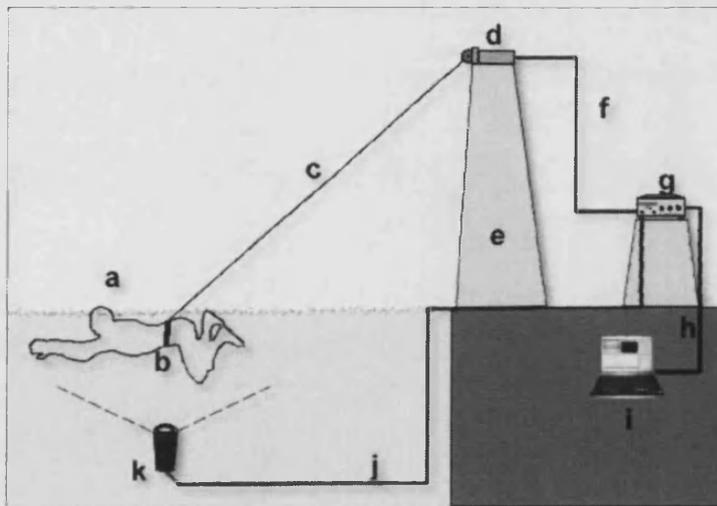


Figura II.4. Esquema de situación del aparataje durante los tests. a: nadador, b: cinturón, c: cable, d: velocímetro, e: base-soporte, f: cable, g: transductor, h: cable 9 pins, i: ordenador portátil con el programa SignalFrame, j: cable video, k: cámara.

El transductor se colocó en el borde la piscina en la calle en la que se iba a realizar la prueba, sobre un soporte estable y a una altura mínima de 2 metros, con el fin de que el cable conectado al cinturón no tuviera apenas contacto con el agua de la parte posterior del nadador, y evitar toda interferencia de la acción de batido. Se midió la altura y la distancia desde la superficie del agua hasta el punto de salida del cable. El programa SignalFrame posee una función matemática que calcula los parámetros estadísticos en función de la colocación del sensor a diferentes alturas.

Antes de comenzar la prueba de natación se estableció el orden por el cual los nadadores debían de nadar los diferentes estilos.

II. Material y métodos

Una vez colocado el cable y atado a la cintura del nadador se dio paso a la medición de los parámetros cinemáticos durante el nado en distintos estilos. Los sujetos ya en el agua, se posicionaban en la pared más cercana al sensor y se les enganchaba el cable en el cinturón. Cuando el nadador estaba preparado, se iniciaba el programa SignalFrame y se le daba la salida para que comenzara el nado.

Para evitar las modificaciones o beneficios que el uso de bañadores de cuerpo entero podría haber producido, todos los nadadores realizaron la prueba con traje de baño tradicional, o anterior a la aparición de los nuevos modelos.

Cada sujeto realizó 25 metros a máxima velocidad saliendo desde el agua para evitar la inercia del salto en la salida. La secuencia de nado de los estilos fue alternada, de manera que, aunque se estableció un descanso suficiente (15 minutos) para la exigencia de la prueba (\approx 10 a 20 segundos) (Bompa & Jones, 1983). A los nadadores de crol y mariposa se les indicó que no debían de respirar durante al menos los 20 primeros metros para evitar el efecto del movimiento de la cabeza durante este gesto y del correspondiente aumento del ruido en la velocidad (Pedersen & Kjendlie, 2006; Vezos et al., 2007). Además, la velocidad de nado es mayor cuando no se respira al compararla con el nado con respiración en el estilo crol (Psycharakis & McCabe, 2011).

Se indicó a los nadadores antes del nado de crol que el ritmo de batidos durante la ejecución de la prueba en este estilo debía ser de 6 por ciclo de brazos, que es el más común en distancias cortas (Chollet et al., 2000). En el caso de que no se realizara este tipo de coordinación, se repetía la prueba tras un descanso suficiente.

Al finalizar la serie de 25 m, el nadador se desprendía del cable y este era recogido a la vez que se secaba con un trapo en el punto de entrada al aparato, para evitar que entrara agua en el sensor.

El nadador entonces salía de la calle y descansaba un mínimo de 15 minutos antes de la siguiente prueba a otro estilo.

II.8. Análisis de datos

II.8.1. Selección de la zona de interés

De los datos obtenidos, se eliminaron los correspondientes al impulso de la pared y a los tres primeros ciclos de nado (figura II.5). Los datos de velocidad de los ocho segundos siguientes fueron extraídos del total para su posterior análisis estadístico (Caty et al., 2007).

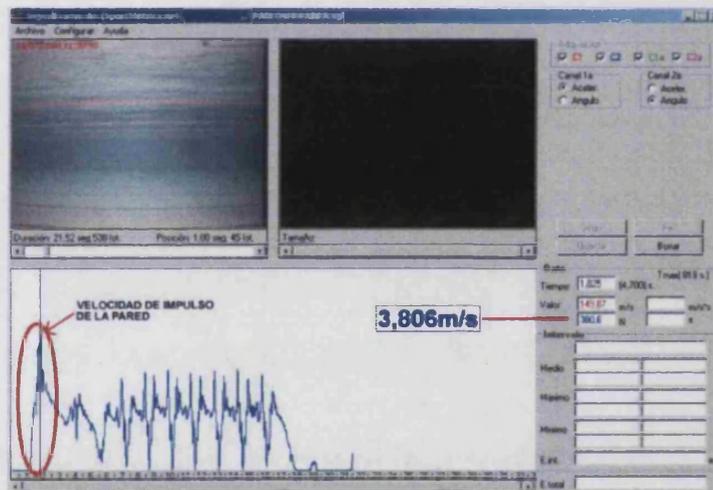


Figura II.5. Ejemplo del incremento de velocidad durante el impulso de la pared en el estilo braza.

II.8.2. Filmación y frecuencia de ciclo

Las imágenes obtenidas a través de la cámara subacuática se utilizaron para el cálculo de la frecuencia de ciclo (FC). A través del programa SignalFrame, que posee la función de coordinación de imágenes y contador de tiempo, se calculó el tiempo empleado en dos ciclos completos de nado. En estudios previos (D'Acquisto et al., 1988) se ha comprobado que la filmación de un solo ciclo de nado a 50 Hz es suficiente para realizar los cálculos sobre la FC. En

II. Material y métodos

nuestro caso, para asegurar el resultado se filmó 4 ciclos de nado, empleando los dos centrales para el cálculo de la frecuencia de esta variable.

Se puede considerar un ciclo de nado cuando una extremidad (superior o inferior, en función del estilo y el plano observado) realiza un recorrido completo de forma simultánea o alternativa (Morales, 2006).

Para determinar el momento de inicio y final de los dos ciclos completos realizados sobre la mitad de la prueba (de 7 a 18 metros desde la pared de salida) en cada uno de los estilos se tomaron las siguientes referencias:

- En el estilo braza se consideró la posición final del recobro de piernas. Según Deleaval (1990), en función del campo de visión se debe escoger la referencia más adecuada. En el caso de filmación subacuática, la máxima flexión de piernas (final del recobro) es una referencia clara para establecer el comienzo y final de un ciclo (Mercadé et al., 2002).
- En el crol, la entrada de la mano en el agua al final del recobro de brazos (Mason & Cossor, 2000).
- En la mariposa, la entrada de las manos en el agua (Sanders et al., 1995).
- En la espalda, el entrada de la mano al final del recobro de brazos (Mason & Cossor, 2000).

La frecuencia de ciclo se calculó en Hercios (Hz) (Hellard et al., 2008; Morales, 2006; Sánchez-Molina, 1999).

$$Hz = \frac{1}{s}$$

La FC se define en función de la siguiente ecuación:

$$FC = \frac{n^{\circ} \text{ de ciclos}}{\text{tiempo del } n^{\circ} \text{ de ciclos}}$$

II. Material y métodos

Y en el caso del presente estudio:

$$FC = \frac{2 \text{ ciclos}}{\text{tiempo de 2 ciclos}}$$

Reducción de datos

Los datos fueron derivados dos veces para obtener la aceleración (ms^{-2}) correspondiente. Para analizar la señal de aceleración, se utilizó un programa específico desarrollado en Matlab 7.1 (R14) (Mathworks Inc., Natick, U.S.A.). Esta señal se filtró para mantener solo aquellas frecuencias de interés para el estudio. Para esto se utilizó un filtro digital Butterworth de cuarto orden pasabanda de 1-10 Hz. La señal se analizó entonces en los dominios temporal y frecuencial.

La amplitud de la señal se analizó en el dominio temporal con la el valor cuadrático medio (*Root Mean Square* o RMS) y procesada en bloques de 100 ms.

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N}}$$

Se analizó la amplitud del espectro con el método de periodograma (Pollock, 1999) que permite descubrir las frecuencias ocultas de una señal. Este proceso se realizó usando la función SPECTRUM de Matlab®, y se promedió con el método de Welch. Empleando para ello una ventana Hamming con una amplitud de 1024 puntos. Sobre el espectro hallado se calcularon las variables dependientes explicadas en el apartado I.1.Diseño.

II.9. Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado con el software SPSS®, versión 15.0 (SPSS® Inc., Chicago, IL, USA). La normalidad asumida (test

II. Material y métodos

de normalidad K-S) se verificó para todas las variables con antelación a los análisis.

Para obtener los estadísticos descriptivos (media, error típico de la media) se utilizaron métodos estadísticos estándar. Se utilizó una ANOVA de un factor para establecer diferencias entre estilos, espectros, género y nivel.

Se utilizó un post-hoc de Bonferroni para determinar las diferencias específicas entre grupos. Todas las diferencias con $P \leq 0,05$ se aceptaron como estadísticamente significativas y aquellas con $P \leq 0,01$ como muy significativas.

Para establecer las correlaciones entre variables, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (r). La magnitud de las correlaciones se interpretó como: trivial o baja $< 0,09$, media $0,10-0,49$ y alta $> 0,50$ (Cohen, 1992).

Para todos los análisis, se aceptaron aquellas diferencias cuya probabilidad estaba por debajo del 5% ($P=0,05$).

III. RESULTADOS

III. Resultados

III.1. Diferentes tipos de espectro

En el análisis visual de las gráficas de la aceleración obtenidas de los cuatro estilos de nado, se observan diferentes perfiles o formas en las mismas. Básicamente, se distinguen dos tipos de espectros: los que solo tienen un pico y los que tienen más de uno o la gráfica muestra varias frecuencias en el pico más importante. En la tabla III.1 se muestran la distribución de los espectros por estilos, agrupados por género y nivel. La distribución de los niveles se realizó en función de superar (N1) o no (N2) los 700 puntos sobre el record nacional en la distancia, estilo y grupo de edad.

Tabla III.1. Distribución de los diferentes tipos de espectro en los cuatro estilos, global, por género (♂ y ♀) y por nivel (N1 y N2)

Espectro	BRAZA		CROL		MARIPOSA		ESPALDA		
	N	%	N	%	N	%	N	%	
Todos	Tipo 1	20	39,2	22	43,1	21	41,2	19	37,3
	Tipo 2	31	60,8	29	56,9	30	58,8	32	62,7
♂	Tipo 1	13	41,9	16	51,6	13	41,9	11	35,5
	Tipo 2	18	58,1	15	48,4	18	58,1	20	64,5
♀	Tipo 1	7	35,0	6	30,0	8	40,0	8	40,0
	Tipo 2	13	65,0	14	70,0	12	60,0	12	60,0
N1	Tipo 1	7	30,4	12	46,2	12	46,2	8	30,8
	Tipo 2	16	69,6	14	53,8	14	53,8	18	69,2
N2	Tipo 1	13	46,4	10	40,0	9	36,0	11	44,0
	Tipo 2	15	53,6	15	60,0	16	64,0	14	56,0

Espectro tipo 1 se refiere a los espectros con un solo pico en el perfil, y el tipo 2 a los de más de un pico.

Las figuras III.1 a III.4 muestran ejemplos de los diferentes tipos de espectros.

III. Resultados

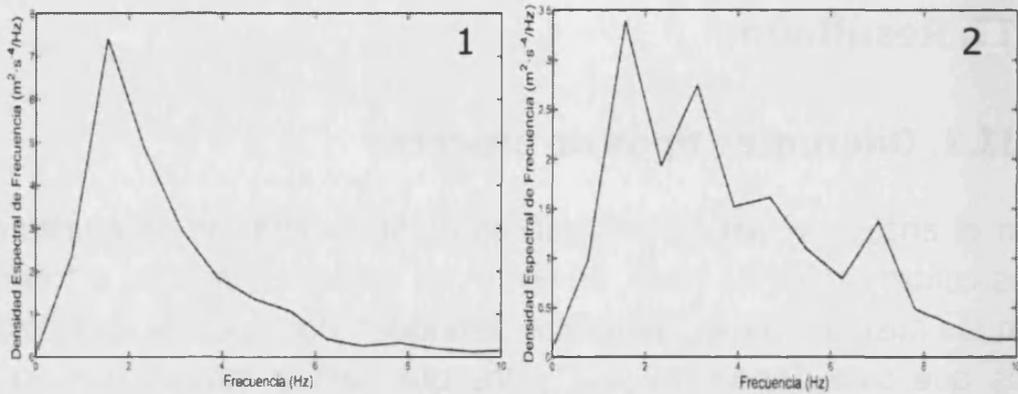


Figura III.1 Ejemplo de dos espectros de los tipos 1 y 2 en el estilo braza

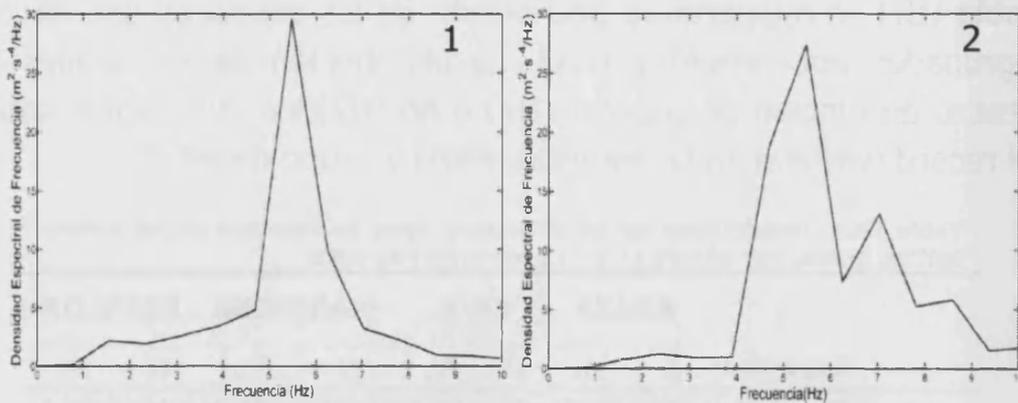


Figura III.2. Ejemplo de dos espectros de los tipos 1 y 2 en el estilo crol

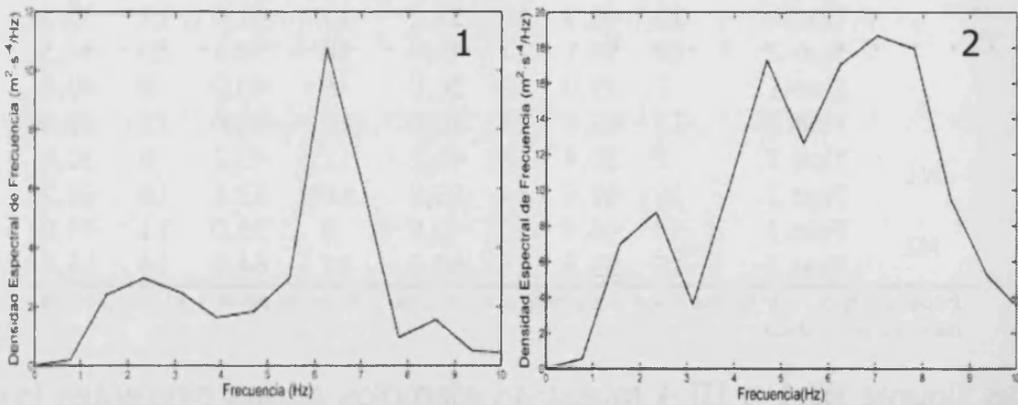


Figura III.3. Ejemplo de dos espectros de los tipos 1 y 2 en el estilo mariposa

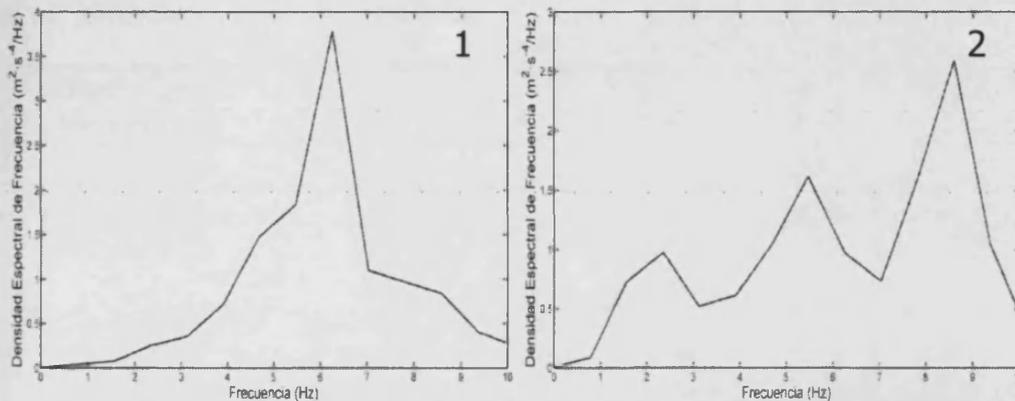


Figura III.4. Ejemplo de dos espectros de los tipos 1 y 2 en el estilo espalda

III.2. Diferencias entre estilos

III.2.1. Variables dominio temporal

En el estudio de las variables del dominio temporal se obtuvieron diferencias cuando se compararon diferentes estilos. Concretamente en la variable de frecuencia de ciclo (FC) mostró diferencias significativas entre los 4 estilos ($F_{3,150}=41,125$; $p<0,001$). En la variable longitud de ciclo (LC) también se obtuvieron diferencias significativas ($F_{3,150}=79,519$; $p<0,001$). En cuanto a las variables velocidad (V) y el índice de ciclo (Ic) los resultados también muestran diferencias significativas ($F_{3,150}=253,339$; $p<0,001$ y $F_{3,150}=243,981$; $p<0,001$ respectivamente). Para las variables RMS, Min y Max la diferencias fueron también significativas entre los diferentes estilos ($F_{3,150}=32,68$, $F_{3,150}=18,27$ y $F_{3,150}=37,66$ y $p<0,001$ para cada una de estas tres variables).

En la tabla III.2 y en las figuras III.5 y III.6 se puede observar los resultados descriptivos por estilos para las variables en el dominio temporal. Asimismo se señalan las comparaciones entre estilos a través de un test post-hoc de Bonferroni.

III. Resultados

Tabla III.2. Datos descriptivos de todas las variables en el dominio temporal de los cuatro estilos y comparación post-hoc de Bonferroni entre los estilos

N=51	Estilos				Comparación Bonferroni					
	Braza	Crol	Mariposa	Espalda	B-C	B-M	B-E	C-M	C-E	M-E
FC (Hz)	0,83(0,02)	0,90(0,01)	0,94(0,01)	0,74(0,01)	*	***	*	ns	***	***
LC (m)	1,41(0,04)	1,73(0,03)	1,55(0,02)	1,79(0,03)	***	***	***	***	*	***
Ic	1,61(0,05)	2,71(0,07)	2,27(0,06)	2,36(0,06)	***	***	***	***	***	ns
V (m·s ⁻¹)	1,14(0,02)	1,55(0,02)	1,45(0,02)	1,31(0,02)	***	***	***	***	***	***
RMS (m·s ⁻²)	4,66(0,19)	5,49(0,24)	6,37(0,27)	3,62(0,18)	ns	***	**	*	***	***
Min (m·s ⁻²)	16,57(0,64)	17,29(0,90)	20,64(1,20)	12,03(0,65)	ns	*	***	ns	***	***
Max (m·s ⁻²)	16,50(0,78)	17,98(1,00)	25,46(1,46)	11,30(0,58)	ns	***	***	***	***	***

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns = no significativo. Los datos están expresados en media (ET). FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; Ic: índice de ciclo; V: velocidad media; RMS: root mean square de la aceleración; Min: valor mínimo de la aceleración; Max: valor máximo de la aceleración; B: braza; C: crol; M: mariposa; E: espalda.

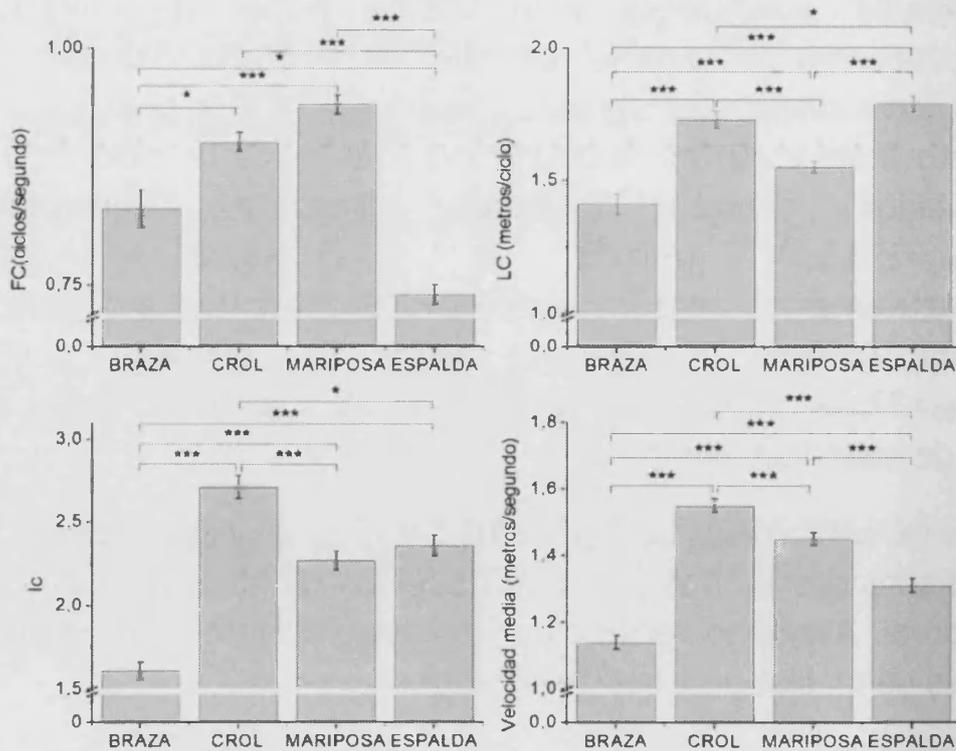


Figura III.5. Gráfica de las diferencias entre los estilos de las variables FC, LC, Ic y Velocidad media

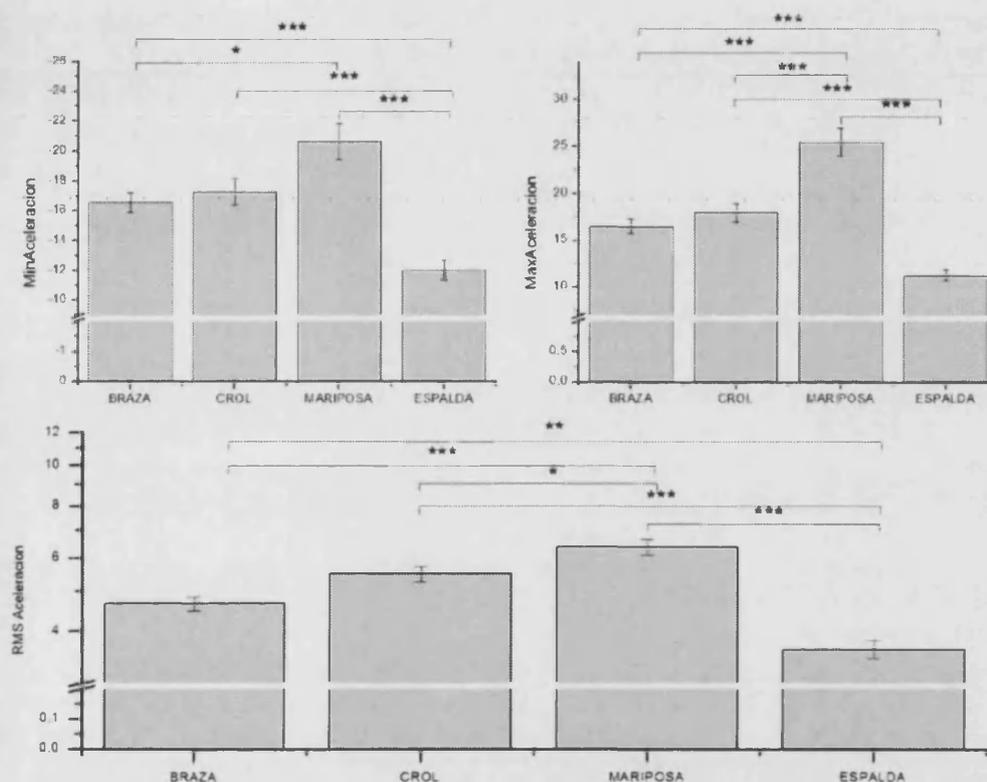


Figura III.6. Gráfica de las diferencias entre los estilos de las variables RMS Aceleración, Mínimo Aceleración y Máximo Aceleración

III.2.2. Variables dominio frecuencial

En el caso de las variables de tipo frecuencial, se observaron diferencias en la PP, PPF y AS, también significativas ($F_{3,150}=12,87$; $F_{3,150}=64,55$ y $F_{3,150}=22,50$ respectivamente y $p<0,001$ para todas ellas).

En la tabla III.3 y la figura III.7 se observan los resultados descriptivos por estilos y sus comparaciones (post-hoc de Bonferroni) de las variables en el dominio frecuencial.

III. Resultados

Tabla III.3. Datos descriptivos de todas las variables en el dominio frecuencial de los cuatro estilos y comparación post-hoc de Bonferroni entre los estilos

N=51	Estilos				Comparación Bonferroni					
	Braza	Crol	Mariposa	Espalda	B-C	B-M	B-E	C-M	C-E	M-E
PP(m·s ⁻²) ²	8,24(0,74)	17,81(2,56)	14,14(1,39)	5,64(0,77)	**	**	ns	ns	***	***
PPF(Hz)	2,63(0,26)	5,68(0,16)	5,55(0,24)	6,59(0,19)	***	***	***	ns	**	**
AS(m·s ⁻²) ²	39,94(4,02)	51,13(4,96)	70,54(6,03)	21,10(2,35)	ns	***	**	ns	***	***

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns = no significativo. Los datos están expresados en media (ET).
 PP: pico de potencia; PPF: frecuencial del pico de potencia; AS: área espectral; B: braza; C: crol; M: mariposa; E: espalda

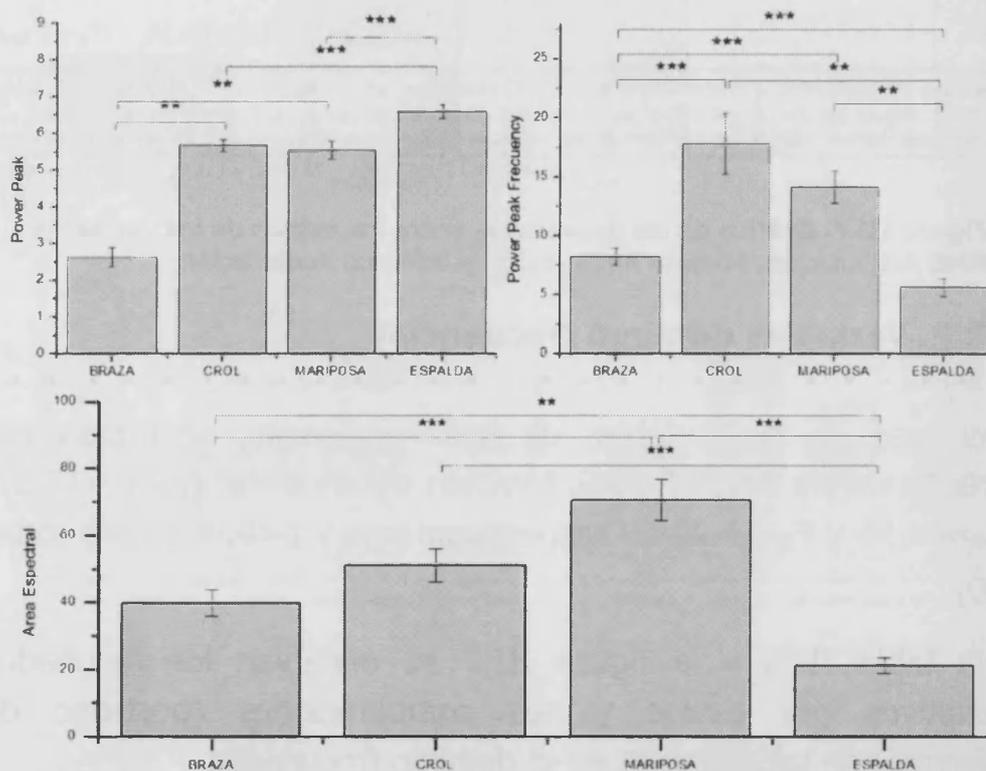


Figura III.7. Gráfica de las diferencias entre los estilos de las variables Power Peak, Power Peak Frecuency Área espectral

III.3. Diferencias en función del género, nivel y género x nivel en los diferentes estilos de nado

III.3.1. Diferencias entre géneros

III.3.1.1. Braza

Al comparar las diferentes variables entre ambos géneros, surgieron diferencias significativas en el estilo braza ($F_{7,41}=6,726$; $p<0,001$) en el dominio temporal.

III.3.1.1.1. Dominio temporal

Al diferenciar entre géneros, las variables LC ($F_{1,47}=5,528$; $p=0,023$), Mvelo ($F_{1,47}=24,983$; $p<0,001$), Ic ($F_{1,47}=20,795$; $p<0,001$) y Min ($F_{1,47}=4,371$; $p=0,42$) mostraron diferencias significativas en el nado del estilo braza (tabla III.4).

Tabla III.4. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio temporal del estilo braza

	Media (ET)	
	Hombres (N=31)	Mujeres (N=20)
FC (Hz)	0,84 (0,03)	0,81 (0,03)
LC (m)	1,48 (0,04)*	1,31 (0,05)*
V ($m \cdot s^{-1}$)	1,2 (0,02)***	1,04 (0,02)***
Ic	1,77 (0,05)***	1,36 (0,06)***
RMS ($m \cdot s^{-2}$)	4,97 (0,25)	4,18 (0,25)
Min ($m \cdot s^{-2}$)	-17,68 (0,88)*	-14,84 (0,76)*
Max ($m \cdot s^{-2}$)	17,76 (1,15)	14,56 (0,67)

FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; V: velocidad media; Ic: índice de ciclo; RMS: root mean square de la aceleración; Min: valor mínimo de la aceleración; Max: valor máximo de la aceleración. * $p<0,05$; *** $p<0,001$

III.3.1.1.2. Dominio frecuencial

No se hallaron diferencias significativas en el dominio frecuencial (tabla III.5).

III. Resultados

Tabla III.5. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio frecuencial del estilo braza

	Media (ET)	
	Hombres (N=31)	Mujeres (N=20)
PP ($m \cdot s^{-2}$) ²	9,46 (1,02)	6,36 (0,9)
PPF (Hz)	2,95 (0,36)	2,15 (0,31)
AS ($m \cdot s^{-2}$) ²	47,88 (5,56)	27,65 (4,4)

PP: pico de potencia; PPF: frecuencia del pico de potencia; AS: área espectral.

III.3.1.2. Crol

Al comparar las diferentes variables del estilo crol entre ambos géneros, se hallaron diferencias significativas en el dominio temporal ($F_{7,41}=12,312$; $p<0,001$) y frecuencial ($F_{3,45}=3,652$; $p=0,019$).

III.3.1.2.1. Dominio temporal

En el estilo crol, las variables LC ($F_{1,47}=20,322$; $p<0,001$), V ($F_{1,47}=92,765$; $p<0,001$), Ic ($F_{1,47}=53,708$; $p<0,001$), RMS ($F_{1,47}=5,100$; $p=0,029$), Min ($F_{1,47}=5,373$; $p=0,025$) y Max ($F_{1,47}=4,567$; $p=0,038$) mostraron diferencias significativas al comparar ambos géneros (tabla III.6).

Tabla III.6. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio temporal del estilo crol

	Media (ET)	
	Hombres (N=31)	Mujeres (N=20)
FC (Hz)	0,91 (0,01)	0,88 (0,02)
LC (m)	1,81 (0,03)***	1,61 (0,04)***
V ($m \cdot s^{-1}$)	1,64 (0,02)***	1,42 (0,02)***
Ic	2,98 (0,07)***	2,3 (0,08)***
RMS ($m \cdot s^{-2}$)	5,9 (0,32)*	4,84 (0,33)*
Min ($m \cdot s^{-2}$)	-18,93 (1,2)*	-14,76 (1,13)*
Max ($m \cdot s^{-2}$)	19,63 (1,25)*	15,41 (1,49)*

FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; V: velocidad media; Ic: índice de ciclo; RMS: root mean square de la aceleración; Min: valor mínimo de la aceleración; Max: valor máximo de la aceleración. * $p<0,05$; *** $p<0,001$

III. Resultados

III.3.1.2.2. Dominio frecuencial

Tan solo el AS ($F_{1,47}=5,740$; $p=0,021$) mostró diferencias significativas entre géneros (tabla III.7).

Tabla III.7. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio frecuencial del estilo crol

	Media (ET)	
	Hombres (N=31)	Mujeres (N=20)
PP ($m \cdot s^{-2}$) ²	20,6 (3,74)	13,48 (2,86)
PPF (Hz)	5,7 (0,17)	5,66 (0,33)
AS ($m \cdot s^{-2}$) ²	60,26 (6,94)*	36,97 (5,47)*

PP: pico de potencia; PPF: frecuencia del pico de potencia; AS: área espectral. * $p<0,05$

III.3.1.3. Mariposa

Se hallaron diferencias significativas en las variables temporales ($F_{7,41}=9,835$; $p<0,001$) y frecuenciales ($F_{3,45}=5,400$; $p=0,003$) en el análisis del estilo mariposa al comparar ambos géneros.

III.3.1.3.1. Dominio temporal

En el estilo mariposa, las variables que mostraron diferencias en el dominio temporal fueron LC ($F_{1,47}=23,368$; $p<0,001$), V ($F_{1,47}=69,004$; $p<0,001$), Ic ($F_{1,47}=54,497$; $p<0,001$), RMS ($F_{1,47}=15,916$; $p<0,001$), Min ($F_{1,47}=15,760$; $p<0,001$) y el Max ($F_{1,47}=18,444$; $p<0,001$) (tabla III.8).

Tabla III.8. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio temporal del estilo mariposa

	Media (ET)	
	Hombres (N=31)	Mujeres (N=20)
FC (Hz)	0,95 (0,01)	0,91 (0,02)
LC (m)	1,63 (0,02)***	1,43 (0,04)***
V ($m \cdot s^{-1}$)	1,54 (0,02)***	1,3 (0,03)***
Ic	2,52 (0,05)***	1,87 (0,08)***
RMS ($m \cdot s^{-2}$)	7,14 (0,32)***	5,17 (0,36)***
Min ($m \cdot s^{-2}$)	-24,09 (1,56)***	-15,29 (1,09)***
Max ($m \cdot s^{-2}$)	29,93 (1,79)***	18,54 (1,55)***

FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; V: velocidad media; Ic: índice de ciclo; RMS: root mean square de la aceleración; Min: valor mínimo de la aceleración; Max: valor máximo de la aceleración. *** $p<0,001$

III. Resultados

III.3.1.3.2. Dominio frecuencial

En el dominio frecuencial del estilo mariposa el PP ($F_{1,47}=14,038$; $p<0,001$), el PPF ($F_{1,47}=5,432$; $p=0,024$) y el AS ($F_{1,47}=14,873$; $p<0,001$) mostraron diferencias significativas entre nadadores y nadadoras (tabla III.9).

Tabla III.9. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio frecuencial del estilo mariposa

	Media (ET)	
	Hombres (N=31)	Mujeres (N=20)
PP ($m \cdot s^{-2}$) ²	17,93 (1,87)***	8,26 (1,18)***
PPF (Hz)	5,97 (0,25)*	4,88 (0,45)*
AS ($m \cdot s^{-2}$) ²	87,41 (7,78)***	44,4 (6,05)***

PP: pico de potencia; PPF: frecuencia del pico de potencia; AS: área espectral. * $p<0,05$; *** $p<0,001$

III.3.1.4. Espalda

En la ANOVA realizada en el estilo espalda al comparar por género, las variables temporales ($F_{7,41}=9,478$; $p<0,001$) y frecuenciales ($F_{3,45}=4,870$; $p=0,005$) mostraron diferencias significativas.

III.3.1.4.1. Dominio temporal

En este dominio, las variables LC ($F_{1,47}=14,066$; $p<0,001$), V ($F_{1,47}=5,43254,863$; $p<0,001$), Ic ($F_{1,47}=39,893$; $p<0,001$), RMS ($F_{1,47}=12,681$; $p=0,001$), Min ($F_{1,47}=11,993$; $p=0,001$) y Max ($F_{1,47}=8,693$; $p=0,005$) diferenciaron significativamente a nadadores de nadadoras en el estilo espalda (tabla III.10).

Tabla III.10. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio temporal del estilo espalda

	Media (ET)	
	Hombres (N=31)	Mujeres (N=20)
FC (Hz)	0,75 (0,01)	0,72 (0,02)
LC (m)	1,87 (0,03)***	1,68 (0,04)***
V ($m \cdot s^{-1}$)	1,39 (0,02)***	1,2 (0,02)***
Ic	2,59 (0,06)***	2,01 (0,08)***

III. Resultados

Tabla III.10. Continuación...

	Media (ET)	
	Hombres (N=31)	Mujeres (N=20)
RMS (m·s ⁻²)	4,08 (0,22)**	2,92 (0,21)**
Min (m·s ⁻²)	-13,66 (0,85)**	-9,5 (0,72)**
Max (m·s ⁻²)	12,6 (0,78)**	9,3 (0,64)**

FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; V: velocidad media; Ic: índice de ciclo; RMS: root mean square de la aceleración; Min: valor mínimo de la aceleración; Max: valor máximo de la aceleración.
p<0,01*p<0,001

III.3.1.4.2. Dominio frecuencial

Tan solo el AS ($F_{1,47}=6,526$; $p=0,014$) mostró diferencias entre géneros en el estilo espalda (tabla III.11).

Tabla III.11. Diferencias entre géneros de las variables en el dominio frecuencial del estilo espalda

	Media (ET)	
	Hombres (N=31)	Mujeres (N=20)
PP (m·s ⁻²) ²	6,71 (1,1)	3,98 (0,91)
PPF (Hz)	6,35 (0,23)	6,95 (0,31)
AS (m·s ⁻²) ²	25,73 (3,44)*	13,91 (1,94)*

PP: pico de potencia; PPF: frecuencia del pico de potencia; AS: área espectral. *p<0,05

III.3.2. Diferencias entre niveles

III.3.2.1. Braza

No se encontraron diferencias entre niveles en las variables en los dominios temporal ni frecuencial del estilo braza.

III.3.2.1.1. Dominio temporal

En el dominio temporal del estilo braza, no se hallaron diferencias entre los niveles (tabla III.12).

Tabla III.12. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio temporal del estilo braza

	Media (ET)	
	Nivel 1 (N=23)	Nivel 2 (N=28)
FC (Hz)	0,86 (0,04)	0,8 (0,03)
LC (m)	1,41 (0,05)	1,41 (0,05)

III. Resultados

Tabla III.12. Continuación...

	Media (ET)	
	Nivel 1 (N=23)	Nivel 2 (N=28)
V ($m \cdot s^{-1}$)	1,18 (0,02)	1,1 (0,03)
Ic	1,67 (0,05)	1,57 (0,08)
RMS ($m \cdot s^{-2}$)	4,85 (0,29)	4,51 (0,24)
Min ($m \cdot s^{-2}$)	-16,04 (0,76)	-16,99 (0,99)
Max ($m \cdot s^{-2}$)	16 (0,88)	16,91 (1,22)

FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; V: velocidad media; Ic: índice de ciclo; RMS: root mean square de la aceleración; Min: valor mínimo de la aceleración; Max: valor máximo de la aceleración.

III.3.2.1.2. Dominio frecuencial

No se encontraron diferencias en el estilo braza entre los niveles en el dominio frecuencial (tabla III.13).

Tabla III.13. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio frecuencial del estilo braza

	Media (ET)	
	Nivel 1 (N=23)	Nivel 2 (N=28)
PP ($m \cdot s^{-2}$) ²	8,72 (1,07)	7,85 (1,03)
PPF (Hz)	2,75 (0,39)	2,54 (0,34)
AS ($m \cdot s^{-2}$) ²	42,09 (5,33)	38,18 (5,93)

PP: pico de potencia; PPF: frecuencia del pico de potencia; AS: área espectral.

III.3.2.2. Crol

En el dominio témporal ($F_{7,41}=3,349$; $p=0,006$) se encontraron diferencias entre los niveles del estilo crol.

III.3.2.2.1. Dominio temporal

La V ($F_{1,47}=21,077$; $p<0,001$) y el Ic ($F_{1,47}=10,391$; $p=0,002$) fueron las únicas variables que mostraron diferencias significativas al comparar los niveles (tabla III.14).

III. Resultados

Tabla III.14. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio temporal del estilo crol

	Media (ET)	
	Nivel 1 (N=23)	Nivel 2 (N=28)
FC (Hz)	0,91 (0,01)	0,89 (0,02)
LC (m)	1,77 (0,03)	1,7 (0,04)
V (m·s ⁻¹)	1,6 (0,03)***	1,51 (0,03)***
Ic	2,84 (0,09)**	2,58 (0,1)**
RMS (m·s ⁻²)	5,7 (0,37)	5,26 (0,32)
Min (m·s ⁻²)	-17,4 (1,3)	-17,18 (1,26)
Max (m·s ⁻²)	18,39 (1,43)	17,55 (1,4)

FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; V: velocidad media; Ic: índice de ciclo; RMS: root mean square de la aceleración; Min: valor mínimo de la aceleración; Max: valor máximo de la aceleración. **p<0,01; ***p<0,001

III.3.2.2.2. Dominio frecuencial

En el dominio frecuencial del estilo crol no se hallaron diferencias significativas al comparar los niveles (tabla III.15).

Tabla III.15. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio frecuencial del estilo crol

	Media (ET)	
	Nivel 1 (N=23)	Nivel 2 (N=28)
PP (m·s ⁻²) ²	19,77 (4,21)	15,78 (2,88)
PPF (Hz)	5,83 (0,25)	5,53 (0,2)
AS (m·s ⁻²) ²	54,16 (7,44)	47,98 (6,62)

PP: pico de potencia; PPF: frecuencia del pico de potencia; AS: área espectral.

III.3.2.3. Mariposa

En el estilo mariposa se hallaron diferencias significativas en las variables del dominio temporal ($F_{7,41}=2,758$; $p=0,019$).

III.3.2.3.1. Dominio temporal

La V ($F_{1,47}=18,216$; $p<0,001$), el Ic ($F_{1,47}=8,623$; $p=0,005$) y la RMS ($F_{1,47}=8,471$; $p=0,006$) diferenciaron de forma significativa los dos niveles observados (tabla III.16).

III. Resultados

Tabla III.16. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio temporal del estilo mariposa

	Media (ET)	
	Nivel 1 (N=23)	Nivel 2 (N=28)
FC (Hz)	0,96 (0,01)	0,91 (0,02)
LC (m)	1,58 (0,03)	1,52 (0,04)
V (m·s ⁻¹)	1,51 (0,03)***	1,38 (0,03)***
lc	2,41 (0,08)**	2,12 (0,09)**
RMS (m·s ⁻²)	7,11 (0,37)**	5,6 (0,35)**
Min (m·s ⁻²)	-22,83 (1,51)	-18,36 (1,79)
Max (m·s ⁻²)	27,53 (2,03)	23,31 (2,07)

FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; V: velocidad media; lc: índice de ciclo; RMS: root mean square de la aceleración; Min: valor mínimo de la aceleración; Max: valor máximo de la aceleración. **p<0,01; ***p<0,001

III.3.2.3.2. Dominio frecuencial

En el estilo mariposa, al comparar los niveles no se encontraron diferencias en las variables del dominio frecuencial (tabla III.17).

Tabla III.17. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio frecuencial del estilo mariposa

	Media (ET)	
	Nivel 1 (N=23)	Nivel 2 (N=28)
PP (m·s ⁻²) ²	17,31 (1,98)	10,83 (1,74)
PPF (Hz)	5,5 (0,32)	5,59 (0,38)
AS (m·s ⁻²) ²	83,88 (8,29)	56,67 (8,01)

PP: pico de potencia; PPF: frecuencia del pico de potencia; AS: área espectral.

III.3.2.4. Espalda

No se encontraron diferencias entre niveles ni en las variables del dominio temporal ni frecuencial.

III.3.2.4.1. Dominio temporal

No se encontraron diferencias significativas entre niveles en el dominio temporal del estilo espalda (tabla III.18).

III. Resultados

Tabla III.18. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio temporal del estilo espalda

	Media (ET)	
	Nivel 1 (N=23)	Nivel 2 (N=28)
FC (Hz)	0,75 (0,01)	0,73 (0,01)
LC (m)	1,81 (0,04)	1,78 (0,04)
V (m·s ⁻¹)	1,34 (0,02)	1,28 (0,03)
Ic	2,43 (0,09)	2,29 (0,08)
RMS (m·s ⁻²)	3,87 (0,28)	3,37 (0,21)
Min (m·s ⁻²)	-13,18 (0,99)	-10,83 (0,79)
Max (m·s ⁻²)	11,8 (0,81)	10,79 (0,83)

FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; V: velocidad media; Ic: índice de ciclo; RMS: root mean square de la aceleración; Min: valor mínimo de la aceleración; Max: valor máximo de la aceleración

III.3.2.4.2. Dominio frecuencial

En el estilo espalda, no se hallaron diferencias entre niveles en el dominio frecuencial (tabla III.19).

Tabla III.19. Diferencias entre niveles de las variables en el dominio frecuencial del estilo espalda

	Media (ET)	
	Nivel 1 (N=23)	Nivel 2 (N=28)
PP (m·s ⁻²) ²	6,73 (1,31)	4,51 (0,76)
PPF (Hz)	6,82 (0,23)	6,34 (0,29)
AS (m·s ⁻²) ²	23,83 (3,95)	18,26 (2,44)

PP: pico de potencia; PPF: frecuencia del pico de potencia; AS: área espectral

III.3.3. Diferencias en función de la interacción nivel x género

III.3.3.1. Braza

Se encontraron diferencias en el dominio temporal al analizar la interacción nivel x género en las variables del dominio temporal ($F_{7,41}=2,902$; $p=0,015$) en el estilo braza.

III.3.3.1.1. Variables dominio temporal

La RMS ($F_{1,47}=5,96$, $P=0,018$) y el mínimo aceleración ($F_{1,47}=16,38$, $p<0,001$) presentan diferencias significativas en el estilo braza. En concreto, estas diferencias aparecen entre los

III. Resultados

nadadores de género masculino y las nadadoras del género femenino del nivel 2 en ambas variables (tabla III.20).

Tabla III.20. Datos descriptivos de las variables en el dominio temporal en el estilo braza al comparar los géneros y niveles

	GENERO	NIVEL 1		NIVEL 2	
		Media (ET)	N	Media (ET)	N
FC (Hz)	Mas.	0,86 (0,05)	15	0,82 (0,05)	16
	Fem.	0,86 (0,04)	8	0,77 (0,04)	12
LC (m)	Mas.	1,47 (0,06)	15	1,49 (0,06)	16
	Fem.	1,31 (0,05)	8	1,31 (0,08)	12
V (m·s ⁻¹)	Mas.	1,22 (0,03)	15	1,19 (0,03)	16
	Fem.	1,12 (0,02)	8	0,98 (0,02)	12
Ic	Mas.	1,77 (0,06)	15	1,77 (0,09)	16
	Fem.	1,47 (0,06)	8	1,29 (0,10)	12
RMS (m·s ⁻²)	Mas.	4,77 (0,39)	15	5,16 (0,31)*	16
	Fem.	4,99 (0,40)	8	3,64 (0,22)*	12
Min (m·s ⁻²)	Mas.	-15,29 (1,04)	15	-19,92 (1,18)***	16
	Fem.	-17,46 (0,85)	8	-13,09 (0,82)***	12
Max (m·s ⁻²)	Mas.	16,04 (1,16)	15	19,37 (1,90)	16
	Fem.	15,94 (1,40)	8	13,63 (0,53)	12

FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; V: velocidad media; Ic: índice de ciclo; RMS: root mean square de la aceleración; Min: valor mínimo de la aceleración; Max: valor máximo de la aceleración; Mas.: género masculino; Fem.: género femenino

*p<0,05

***p<0,001

III.3.3.1.2. Variables dominio frecuencial

En el estilo braza no se encontraron diferencias en las variables del dominio frecuencial (tabla III.21).

Tabla III.21. Datos descriptivos de las variables en el dominio frecuencial en el estilo braza al comparar los géneros y niveles

	GENERO	NIVEL 1		NIVEL 2	
		Media (ET)	N	Media (ET)	N
PP (m·s ⁻²) ²	Mas.	9,03 (0,38)	15	9,86 (0,37)	16
	Fem.	8,15 (0,54)	8	5,16 (0,29)	12
PPF (Hz)	Mas.	2,92 (0,14)	15	2,98 (0,13)	16
	Fem.	2,44 (0,18)	8	1,95 (0,11)	12
AS (m·s ⁻²) ²	Mas.	43,38 (1,82)	15	52,09 (2,15)	16
	Fem.	39,68 (2,94)	8	19,63 (0,99)	12

PP: pico de potencia; PPF: frecuencia del pico de potencia; AS: área espectral

III. Resultados

III.3.3.2. Crol

En el dominio temporal ($F_{7,41}=3,336$; $p=0,007$) se hallaron diferencias significativas al analizar la interacción género*nivel en el estilo crol.

III.3.3.2.1. Variables dominio temporal

En el estilo crol, la RMS aceleración ($F_{1,47}=5,91$, $P=0,019$) entre los nadadores masculinos de los niveles 1 y 2, así como en el nivel 1 entre ambos géneros; y el máximo de la aceleración ($F_{1,47}=4,40$, $P=0,041$) en el grupo de sujetos del nivel 1 entre los nadadores y nadadoras mostraron diferencias significativas entre niveles y género (tabla III.22).

Tabla III.22. Datos descriptivos de las variables en el dominio temporal en el estilo crol al comparar los géneros y niveles

	GENERO	NIVEL 1		NIVEL 2	
		Media (ET)	N	Media (ET)	N
FC (Hz)	Mas.	0,93 (0,02)	15	0,89 (0,02)	16
	Fem.	0,89 (0,02)	11	0,88 (0,03)	9
LC (m)	Mas.	1,84 (0,04)	15	1,79 (0,04)	16
	Fem.	1,67 (0,04)	11	1,55 (0,06)	9
V ($m \cdot s^{-1}$)	Mas.	1,69 (0,02)	15	1,59 (0,02)	16
	Fem.	1,47 (0,02)	11	1,36 (0,03)	9
lc	Mas.	3,12 (0,09)	15	2,85 (0,08)	16
	Fem.	2,46 (0,09)	11	2,11 (0,12)	9
RMS ($m \cdot s^{-2}$)	Mas.	6,62 (0,44)*	15	5,23 (0,42)*	16
	Fem.	4,46 (0,40)	11	5,31 (0,54)	9
Min ($m \cdot s^{-2}$)	Mas.	-20,02 (1,73)	15	-17,91 (1,69)	16
	Fem.	-13,83 (1,41)	11	-15,88 (1,85)	9
Max ($m \cdot s^{-2}$)	Mas.	21,83 (1,73)*	15	17,58 (1,70)	16
	Fem.	13,69 (1,60)*	11	17,50 (2,62)	9

FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; V: velocidad media; lc: índice de ciclo; RMS: root mean square de la aceleración; Min: valor mínimo de la aceleración; Max: valor máximo de la aceleración; Mas.: género masculino; Fem.: género femenino
* $p < 0,05$

III. Resultados

III.3.3.2.2. Variables dominio frecuencial

De las variables en el dominio frecuencial del estilo crol, solo el pico de potencia (PP) reveló diferencias significativas ($F_{(1,47)}=4,65$, $P=0,039$) en el nivel 1 entre ambos géneros (tabla III.23).

Tabla III.23. Datos descriptivos de las variables en el dominio frecuencial en el estilo crol al comparar los géneros y niveles

		NIVEL 1		NIVEL 2	
	GENERO	Media	N	N	N
PP ($m \cdot s^{-2}$) ²	Mas.	27,28 (6,54)*	15	14,34 (3,36)	16
	Fem.	9,52 (2,22)*	11	18,32 (5,52)	9
PPF (Hz)	Mas.	5,78 (0,13)	15	5,62 (0,30)	16
	Fem.	5,89 (0,59)	11	5,38 (0,16)	9
AS ($m \cdot s^{-2}$) ²	Mas.	70,49 (10,35)	15	50,67 (8,96)	16
	Fem.	31,88 (6,04)	11	43,20 (9,67)	9

PP: pico de potencia; PPF: frecuencia del pico de potencia; AS: área espectral

III.3.3.3. Mariposa

III.3.3.3.1. Variables dominio temporal

En el estilo mariposa, ninguna de las variables del dominio temporal mostró diferencias significativas al combinar nivel y género (tabla III.24).

Tabla III.24. Datos descriptivos de las variables en el dominio temporal en el estilo mariposa al comparar los géneros y niveles

		NIVEL 1		NIVEL 2	
	GENERO	Media (ET)	N	Media (ET)	N
FC (Hz)	Mas.	0,97 (0,02)	17	0,92 (0,02)	14
	Fem.	0,94 (0,03)	9	0,89 (0,02)	11
LC (m)	Mas.	1,64 (0,03)	17	1,63 (0,04)	14
	Fem.	1,48 (0,05)	9	1,39 (0,05)	11
V ($m \cdot s^{-1}$)	Mas.	1,58 (0,02)	17	1,49 (0,03)	14
	Fem.	1,38 (0,04)	9	1,23 (0,03)	11
Ic	Mas.	2,60 (0,07)	17	2,43 (0,07)	14
	Fem.	2,05 (0,11)	9	1,72 (0,10)	11
RMS ($m \cdot s^{-2}$)	Mas.	7,74 (0,43)	17	6,41 (0,42)	14
	Fem.	5,91 (0,51)	9	4,56 (0,43)	11

III. Resultados

Tabla III.24. Continuación...

		NIVEL 1		NIVEL 2	
	GENERO	Media (ET)	N	Media (ET)	N
Min ($m \cdot s^{-2}$)	Mas.	-25,43 (1,88)	17	-22,46 (2,61)	14
	Fem.	-17,93 (1,66)	9	-13,14 (1,13)	11
Max ($m \cdot s^{-2}$)	Mas.	31,44 (2,47)	17	28,09 (2,60)	14
	Fem.	20,15 (1,90)	9	17,23 (2,35)	11

FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; V: velocidad media; Ic: índice de ciclo; RMS: root mean square de la aceleración; Min: valor mínimo de la aceleración; Max: valor máximo de la aceleración; Mas.: género masculino; Fem.: género femenino

III.3.3.3.2. Variables dominio frecuencial

En las variables del dominio frecuencial no se encontró ninguna diferencia significativa en este análisis (tabla III.25).

Tabla III.25. Datos descriptivos de las variables en el dominio frecuencial en el estilo mariposa al comparar los géneros y niveles

		NIVEL 1		NIVEL 2	
	GENERO	Media (ET)	N	N	N
PP ($m \cdot s^{-2}$) ²	Mas.	20,87 (2,44)	17	14,36 (2,68)	14
	Fem.	10,60 (2,10)	9	6,35 (1,06)	11
PPF (Hz)	Mas.	6,11 (0,26)	17	5,80 (0,47)	14
	Fem.	4,34 (0,64)	9	5,33 (0,63)	11
AS ($m \cdot s^{-2}$) ²	Mas.	98,69 (9,94)	17	73,70 (11,61)	14
	Fem.	55,89 (9,88)	9	35,00 (6,54)	11

PP: pico de potencia; PPF: frecuencia del pico de potencia; AS: área espectral

III.3.3.4. Espalda

III.3.3.4.1. Variables dominio temporal

En el nado de espalda, no se encontraron diferencias significativas en las variables del dominio temporal (tabla III.26).

III. Resultados

Tabla III.26. Datos descriptivos de las variables en el dominio temporal en el estilo espalda al comparar los géneros y niveles

	GENERO	NIVEL 1		NIVEL 2	
		Media (ET)	N	Media (ET)	N
FC (Hz)	Mas.	0,76 (0,02)	16	0,74 (0,02)	15
	Fem.	0,73 (0,03)	10	0,71 (0,02)	10
LC (m)	Mas.	1,89 (0,04)	16	1,83 (0,04)	15
	Fem.	1,66 (0,07)	10	1,69 (0,05)	10
V ($m \cdot s^{-1}$)	Mas.	1,43 (0,01)	16	1,35 (0,02)	15
	Fem.	1,20 (0,02)	10	1,19 (0,04)	10
lc	Mas.	2,70 (0,07)	16	2,47 (0,08)	15
	Fem.	2,00 (0,10)	10	2,02 (0,12)	10
RMS ($m \cdot s^{-2}$)	Mas.	4,41 (0,36)	16	3,73 (0,24)	15
	Fem.	3,02 (0,31)	10	2,81 (0,30)	10
Min ($m \cdot s^{-2}$)	Mas.	-14,93 (1,28)	16	-12,30 (1,05)	15
	Fem.	-10,37 (1,15)	10	-8,64 (0,85)	10
Max ($m \cdot s^{-2}$)	Mas.	12,86 (1,09)	16	12,32 (1,16)	15
	Fem.	10,10 (1,03)	10	8,50 (0,71)	10

FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; V: velocidad media; lc: índice de ciclo; RMS: root mean square de la aceleración; Min: valor mínimo de la aceleración; Max: valor máximo de la aceleración; Mas.: género masculino; Fem.: género femenino

III.3.3.4.2. Variables dominio frecuencial

En el nado de espalda, no se encontraron diferencias significativas en las variables del dominio frecuencial (tabla III.27).

Tabla III.27. Datos descriptivos de las variables en el dominio frecuencial en el estilo espalda al comparar los géneros y niveles

	GENERO	NIVEL 1		NIVEL 2	
		Media (ET)	N	Media (ET)	N
PP ($m \cdot s^{-2}$) ²	Mas.	8,04 (1,91)	16	5,29 (0,95)	15
	Fem.	4,63 (1,38)	10	3,33 (1,23)	10
PPF (Hz)	Mas.	6,69 (0,26)	16	5,99 (0,36)	15
	Fem.	7,03 (0,44)	10	6,88 (0,46)	10
AS ($m \cdot s^{-2}$) ²	Mas.	29,12 (5,79)	16	22,11 (3,49)	15
	Fem.	15,35 (3,23)	10	12,48 (2,24)	10

PP: pico de potencia; PPF: frecuencia del pico de potencia; AS: área espectral

III.4. Correlaciones de la velocidad con todas las demás variables por estilo

La braza muestra relaciones altas ($r \geq 0,50$ $p < 0,01$) entre la velocidad y FC, Ic, RMS, PP y AS, el crol entre la velocidad y LC e Ic, el estilo mariposa entre la velocidad y LC, Ic, RMS, Min, Max, PP y AS, y el estilo espalda entre la velocidad y LC, Ic, RMS, Min y Max (tabla III.28)

Tabla III.28. Correlaciones de la velocidad media de cada uno de los estilos con las demás variables

N=51	FC	LC	Ic	RMS	Min	Max	PP	PPF	AS
BRAZA	0,56**	0,04	0,57**	0,63**	-0,31*	0,21	0,56**	0,08	0,52**
CROL	0,26	0,58**	0,80**	0,44**	-0,34*	0,37**	0,32*	0,10	0,44**
MARIPOSA	0,41**	0,66**	0,91**	0,78**	-0,71**	0,70**	0,67**	0,33*	0,71**
ESPALDA	0,39**	0,54**	0,87**	0,55**	-0,50**	0,51**	0,29*	0,04	0,41**

** La correlación es significativa al nivel 0,01 bilateral.

* La correlación es significativa al nivel 0,05 bilateral.

IV. DISCUSIÓN

IV. Discusión

Este trabajo muestra por primera vez los espectros frecuenciales obtenidos del análisis de la aceleración en cada uno de los estilos de nado.

Además se han obtenido las diferencias entre estilos de las variables temporales y frecuenciales estudiadas. En general se muestra que ambos tipos de variables diferencian los estilos (Loetz et al., 1988) entre sí.

Sin embargo esta característica que tienen para diferenciar estilos, se diluye cuando el análisis se realiza en función del género y del nivel o viceversa de los nadadores, en cada uno de los estilos.

Así en las variables temporales sólo la RMS en crol y en braza así como el Min en braza y el Max en crol se muestran como variables diferenciadoras en función del género y del nivel.

Con respecto a las variables frecuenciales sólo el PP en crol se muestran como una variable diferenciadora en función del género y del nivel.

Este trabajo se ha completado con un análisis relacional en cada estilo entre la velocidad y el resto de variables tanto temporales como frecuenciales. Así, la variable IC en crol, mariposa y espalda y a las variables RMS AS, Min y Max en mariposa con valores de $r > 0,7$ presentan una relación alta en estos estilos.

A continuación se analizarán cuestiones relativas a los apartados que hacen referencia a "material y métodos" y a "resultados".

IV.1. Sobre la muestra

Los trabajos previos que caracterizan la técnica de nado en función de los parámetros cinemáticos en su mayoría se han realizado

IV. Discusión

sobre un solo estilo y han utilizado un número de sujetos variado que respondía a las necesidades de sus objetivos. En concreto, en los estudios que han analizado variaciones cinemáticas intraciclo se encuentran estudios desde un solo caso (Figueiredo et al., 2008) hasta estudios con 53 sujetos (Wright et al., 2010).

La dificultad para contar con un tamaño de la muestra suficiente y el complejo tratamiento de los datos puede dar respuesta al escaso número de sujetos estudiados en la mayoría de éstos: de 4 a 10 sujetos (T. M. Barbosa, Santos Silva, Sousa, & Vilas-Boas, 2002; T. M. Barbosa, Keskinen, Fernandes, Colaço, Lima et al., 2005; T. M. Barbosa et al., 2008; Capitão et al., 2006; De Jesus, 2008; Morouço et al., 2005; Santos, 2009) y de 11 a 18 sujetos (Alberty et al., 2005; Arellano et al., 2010; T. M. Barbosa et al., 2006; Leblanc et al., 2007; Lukášek, 1999; Tella et al., 2008). Recientemente, Madera et al. (2010) en un estudio preliminar a esta tesis analizaron 79 sujetos en el estilo crol.

El tamaño de la muestra del presente trabajo es de 51 sujetos (21 nadadoras y 30 nadadores), que además realizaron la prueba establecida en los cuatro estilos de manera que se pudieron establecer diferencias entre éstos en las variables analizadas.

Cuanto más precisa o concreta es una población mejor será la interpretación de los resultados. Así, cuando la muestra representa a un colectivo de deportistas es conveniente identificar su nivel de rendimiento o habilidad.

De forma general las muestras de nadadores responden a nadadores de categoría recreacional, novel, regional, nacional o internacional (Arellano et al., 2010; T. M. Barbosa et al., 2002; T. M. Barbosa et al., 2008; Leblanc et al., 2007; Lukášek, 1999; Morouço et al., 2005; Tella et al., 2008). Algunos estudios no describen el nivel de su muestra (Capitão et al., 2006; Wright et al., 2010), aunque las velocidades de nado testadas podrían

IV. Discusión

orientar sobre este dato. Este trabajo presenta una muestra compuesta por nadadores de categoría novel, regional y nacional con el objetivo de poder identificar al menos dos niveles de rendimiento diferenciado. Estas categorías se obtienen de los tiempos o marcas mínimas que realizan los nadadores para poder participar en campeonatos regionales o nacionales. Así, debido a que las mínimas para participar en campeonatos regionales no eran las mismas para todos los sujetos, dado que pertenecían a federaciones de natación diferentes (País Vasco y Comunidad Valenciana), se optó por cuantificar su nivel por sus mejores tiempos en la prueba de 100 metros en cada uno de los estilos.

Además, a estos tiempos les ha correspondido una puntuación máxima de 1.000 puntos según la categoría de edad y género del nadador (Camarero, 2002), en la que la puntuación máxima hace referencia al tiempo de record de España vigente por género y grupo de edad. La aplicación de este criterio ha permitido agrupar a los nadadores en dos niveles de rendimiento en función de tener mayor o menor puntuación en cada una de las categorías y géneros con el objetivo de identificar a los nadadores más rápidos y en consecuencia mejores de cada categoría y género en el Nivel 1 y al resto en el Nivel 2. En caso contrario y dado el rango de edades estudiadas, es decir si el criterio hubiese sido la mayor o menor velocidad de nado absoluta, se hubiese sesgado la identificación de los niveles en función de la edad ya que por criterios de crecimiento y años de entrenamiento los nadadores de más edad suelen nadar más rápido.

Otra característica que se ha tenido en cuenta para describir la muestra ha sido el género de los nadadores. En función de los objetivos que se plantean los estudios, se observa que las muestras utilizadas diferencian el género masculino del femenino Seifert et al. (2008) y Takagi et al. (2004) o analizan muestras mixtas en las que los resultados responden a una muestra

IV. Discusión

indefinida en relación al género (Alberty et al., 2005; Arellano et al., 2010; Balonas et al., 2006; Buchner & Reischle, 2003; Capitão et al., 2006). Otros estudios realizan las diferentes pruebas en uno sólo de los géneros (T. M. Barbosa et al., 2002; De Jesus, 2008; Tella et al., 2008). En este trabajo se ha definido el género de los sujetos, si bien cuando se han analizado las diferencias entre estilos y entre niveles no se le ha considerado como variable dependiente, mientras que para el resto de análisis el género ha sido una de las variables dependientes.

Con respecto a la edad, se ha pretendió que la muestra contuviera a nadadores con una experiencia o entrenamiento mínimo de tres temporadas y que también estuviesen representados nadadores de varias etapas de formación en función del número de años de entrenamiento necesarios para alcanzar el alto rendimiento (Bompa & Jones, 1983). Así la edad media de los sujetos ha sido de $17,06 \pm 0,42$ estudiados y es similar a la que presentan De Jesús (2008) y Tella et al. (2008).

También es necesario describir algunas características antropométricas, ya que el nivel de los nadadores puede estar relacionado con un perfil o con algunos parámetros antropométricos (Araújo, 1978; Bale, 1986; Grimston & Hay, 1986; Mazza et al., 1991; Morales, 2006; Stager, Cordain, & Becker, 1984; Tella, 1998; Tittel & Wutscherk, 1972; Vervaecke & Persyn, 1981). Las variables antropométricas más utilizadas para la descripción de las diferentes muestras en los trabajos de análisis de la variación intraciclo son la edad, la altura y el peso (Alberty et al., 2005; T. M. Barbosa et al., 2002; T. M. Barbosa et al., 2008; De Jesus, 2008; Tella et al., 2008). Otros estudios también incluyen la envergadura (Alberty et al., 2005; Arellano et al., 2010) o el porcentaje de grasa corporal (T. M. Barbosa, Keskinen, Fernandes, Colaço, Carmo et al., 2005; T. M. Barbosa, Keskinen, Fernandes, Colaço, Lima et al., 2005; T. M. Barbosa et al., 2006).

En este trabajo se ha identificado las variables peso, altura y envergadura con el objetivo de caracterizar de forma precisa a la muestra y con ello facilitar la comparación y discusión de los resultados con los de otros estudios. Así las características antropométricas de nuestra muestra presentan similitudes a las presentadas por Tella et al. (2008) y Arellano et al. (2010) con nadadores nacionales lo que permitiría la comparación de sus resultados cinemáticos con los obtenidos en éste.

IV.2. Sobre el aparataje

Los sistemas de medición intraciclo utilizados y sus ventajas e inconvenientes se describen en la tabla I.12. En este trabajo se optó por el velocímetro o transductor de posición por los motivos ya expuestos: menor tiempo para el tratamiento de los datos, mayor frecuencia de registros y mayor facilidad en el montaje. Es interesante destacar también la validez y fiabilidad de este sistema (Capitão et al., 2006; D'Acquisto et al., 1988; Ferrer et al., 2000; Morouço et al., 2005; Persyn & Colman, 1989; Schnitzler et al., 2010; Tella et al., 2008) aunque algunos trabajos muestran alguna reserva (T. M. Barbosa et al., 2002; Psycharakis & Sanders, 2009).

El velocímetro utilizado presenta una ligera resistencia de 250 g. Los incrementos de resistencia están relacionados con reducciones de la velocidad media, la FC, la LC (Llop et al., 2002) y en consecuencia del índice de ciclo, por los que los datos obtenidos deben de relativizarse si se comparan con situaciones de nado en las que no hay resistencia adicional.

La frecuencia de obtención de datos depende en gran medida del tipo de actividad que se analice (Mathie et al., 2004). La frecuencia de registros en el presente trabajo se puede considerar como adecuada para el tipo de actividad analizada. Como criterio se utiliza que la frecuencia de registro debe ser el doble que la frecuencia máxima esperada (*Nyquist rate*) (Cavanagh, 1976).

IV. Discusión

Como se ha indicado, un ciclo de nado de cualquiera de los estilos está sometido a un número determinado de movimientos propulsivos. Por ello, se consideró que en un ciclo de nado no deberían superarse las 10-12 acciones propulsivas en función de la mayor o menor coordinación de sus movimientos y se determinó que la frecuencia de registro de 200 Hz del transductor utilizado era más que suficiente para realizar un análisis intraciclo. Al igual que en nuestro trabajo, los principales estudios que han analizado el comportamiento intraciclo de los estilos de nado, han mostrado frecuencias superiores al doble de las acciones propulsivas previstas durante un ciclo. Así, nos encontramos trabajos que registran a 60 Hz (Alberty et al., 2005), 100 Hz (Craig et al., 1988), 200 Hz (Buchner & Reischle, 2003) y 1.000 Hz (Capitão et al., 2006; Morouço et al., 2005; Tella et al., 2008) con sensores de posición o aceleración, mientras que T.M. Barbosa et al. (2008) y De Jesus (2008) analizan las imágenes de video digitalizadas a 50 Hz.

Además, esta alta frecuencia de registro favorece que las limitaciones que establece Cavanagh (1976) con respecto al cálculo de la aceleración como derivada de la velocidad se minimicen para su estudio.

IV.3. Sobre la reducción de datos

Un aspecto destacable del análisis de datos es la reducción de datos realizada. Pocos estudios han analizado la señal de aceleración que se produce durante el desplazamiento del nadador. El primero de ellos (Holmér, 1979) ya realiza una reducción de su señal de aceleración de 0,25 a 10 Hz similar a la efectuada en este trabajo. También cabe destacar un trabajo más reciente (Tella et al., 2008) en que la reducción de datos se realizó de 0 a 20 Hz para conservar sólo aquellas frecuencias de interés para su estudio. Los resultados de ese estudio nos muestran

espectros en los que la señal de aceleración en frecuencias superiores a 10 Hz es despreciable. Por ello, se decidió mantener el primer criterio utilizado por Holmér (1979) de reducir los datos de la aceleración en el rango de frecuencias de 0 a 10 Hz con el objetivo de garantizar todas aquellas aceleraciones que se podrían producir hasta diez veces por segundo.

IV.4. Sobre los tipos de espectro frecuencial de la aceleración

La observación de los perfiles de los espectros nos permitió concentrar a los nadadores en diferentes grupos, en función del número de picos que presentaban, de manera similar a la que (Madera et al., 2010; Tella et al., 2008) establecieron en sus respectivos trabajos. En este trabajo y con la intención de diferenciar aquellos espectros que visualmente presentaban menor variación (i.e. solo un pico de potencia), se optó por unir en un segundo grupo aquellos espectros con más de un pico de potencia relevante con respecto al resto de señal o con un rango amplio de frecuencias en el pico principal de potencia, dejando en el primer grupo solo aquellos espectros con un solo pico de potencia relevante y a una misma frecuencia.

Su distribución por estilo, género y nivel muestra que ambos tipos de espectro son comunes a cada condición. Así, esta primera lectura de los perfiles espectrales muestra que tanto el tipo I como el II están presentes en todos los estilos, géneros y niveles. Con respecto al estilo crol y al porcentaje de espectros de tipo I encontrados en este estudio (43,1%) hay que destacar la diferencia con respecto al porcentaje observado por Madera et al. (2010) sobre los espectros del tipo I (27,85%). Posiblemente la decisión de identificar sólo dos tipos de espectro en este estudio con respecto a la identificación de tres tipos de espectro en el de Madera y colaboradores sea su causa.

IV. Discusión

Hasta la fecha, los análisis e interpretaciones que se han realizado de estos perfiles espectrales han sido cualitativas en función del número de picos o cuantitativas en función de parámetros como el PP, PPF y AS.

Más adelante, analizaremos las variables cuantitativas de los espectros frecuenciales. Pero parece interesante analizar a que representa cada uno de los tipos de espectros observados. Para ello, sólo contamos con dos trabajos previos en el estilo crol.

Mientras Holmér (1979) identifica dos picos, relacionando el más importante con la frecuencia a la que se produce un ciclo de brazos y el secundario con la frecuencia en la que se produce el batido de piernas durante un ciclo de nado, Tella et al. (2008) relacionan los picos con el número de fuerzas que actúan durante cada ciclo ya sea por las acciones de brazos o de las piernas. Una observación más precisa sobre los espectros presentados por ambos autores nos muestra diferencias importantes en cuanto a la frecuencia a la que se produce el pico principal. Posiblemente la clave de esta diferencia se encuentre en la manera en se realizó el nado. Holmér (1979) registro la aceleración en una piscina de corriente en la que el nadador permanecía estático y Tella et al. (2008) en situación de desplazamiento. Así, la frecuencia del pico principal obtenida por Holmér (1979) puede deberse al tipo de nado que se realiza ante una situación contracorriente y su interpretación de que corresponde a la acción de brazos haya sido demasiado audaz y poco acertada en cuanto al origen de éste. Más lógica parece la interpretación de que el pico principal corresponda a las principales acciones propulsivas durante un ciclo de nado.

La existencia de más picos relevantes en el espectro del estilo crol y dadas las frecuencias a las que se producen, apuntan a una mayor o menor coordinación y eficacia de las diferentes acciones propulsivas de brazos y de piernas.

Sobre los perfiles que representan los espectros frecuenciales del resto de estilos, este es el primer trabajo que lo hace. La interpretación de ellos responde a los mismos criterios utilizados por Tella et al. (2008) sobre el estilo crol. Es decir los picos revelan la frecuencia y la importancia de las diferentes acciones propulsivas. En este trabajo todos los estilos responde a dos tipos de espectro y nuestra hipótesis es que los espectros de tipo I corresponderían a una mejor coordinación entre las diferentes acciones propulsivas.

Dado que el rendimiento final de un nadador puede ser debido a la suma de factores técnicos, físicos, antropométricos y fisiológicos entre otros, éstos tendrán una importancia relativa en cada nadador. Así el criterio utilizado en este trabajo de diferenciar el rendimiento solamente por el nivel relativo de velocidad no ha sido suficiente para analizar y comprender sus causas. Las propuestas metodológicas para contrastar la hipótesis planteada en el párrafo anterior deberían dirigirse hacia el establecimiento de categorías de nadadores por su nivel técnico y/o a analizar los registros cinemáticos simultáneos de los diferentes segmentos propulsivos con las aceleraciones del desplazamiento del nadador.

IV.5. Sobre los valores y las diferencias encontradas en la variables cinemáticas en el dominio temporal

Aunque parece obvio que las variables cinemáticas (temporales) de los cuatro estilos de competición han de ser diferentes por la propia mecánica y reglamentación (FINA, 2011) de cada uno de ellos, este trabajo presenta un análisis estadístico en el que se comparan dichas variables. Además, estas variables cinemáticas han sido analizadas para diferenciarlas por género y nivel en cada uno de los estilos.

Los resultados muestran para aquellas variables cinemáticas que han sido estudiadas tradicionalmente, como son la FC, la LC y el

IV. Discusión

Ic, que se comportan de acuerdo a los criterios y conclusiones establecidas en la mayoría de los estudios. Así, tanto las diferencias encontradas entre estilos (Costill et al., 1992; Hellard et al., 2008; Morales, 2006; Morales et al., 2010; Pelayo et al., 1997; Sánchez-Molina & Arellano, 2002; Wakayoshi et al., 1993) como entre los géneros (Arellano et al., 1994; Chengalur & Brown, 1992; Chollet et al., 2000; Kennedy et al., 1990; Letzelter & Freitag, 1983; Morales et al., 2010; Pai et al., 1984; Pelayo et al., 1996; Seifert, Chollet, & Chatard, 2007; Sánchez-Molina & Arellano, 2002; Takagi et al., 2004; Zamparo, 2006) y niveles (Craig et al., 1985; East, 1971; Kilani & Zeidan, 2004; Seifert et al., 2004) de cada estilo responden al conocimiento que teníamos sobre ellos.

La velocidad obtenida en los diferentes estilos pone de relieve que el estilo que mayor velocidad registra es el crol, seguido de la mariposa, la espalda y la braza. La FC presenta valores superiores en el estilo mariposa, seguido del crol, braza y espalda. La LC es mayor en el estilo espalda seguido del crol, mariposa y braza. En el Ic el orden de mayor a menor valor obtenido es de crol, espalda, mariposa y braza. Estos resultados y la jerarquía establecida concuerdan con la mayoría de trabajos realizados con este objetivo (Costill et al., 1992; Hellard et al., 2008; Morales, 2006; Pelayo et al., 1997; Sánchez-Molina & Arellano, 2002; Wakayoshi et al., 1993).

En todos los estilos se presentan diferencias entre géneros tanto en LC, Ic y V, siendo sus valores superiores en el género masculino. Por el contrario FC no muestra diferencias significativas. Estos resultados concuerdan con lo establecido en estudios previos.

Sin embargo los resultados obtenidos en cada estilo, diferenciando género y el nivel no presentan diferencias significativas en estas variables. Por el contrario, los estudios que han comparado a nadadores de diferente nivel si han encontrado diferencias en

IV. Discusión

estos parámetros cinemáticos (Craig et al., 1985; East, 1971; Kilani & Zeidan, 2004; Seifert et al., 2004). Esta discrepancia puede estar justificada por el criterio utilizado para establecer los diferentes niveles de rendimiento. Así mientras que el criterio generalizado ha sido el segmentar los niveles por tener mayor o menor velocidad de nado, en este trabajo los niveles se han diseñado en función de la puntuación obtenida de su velocidad relativa al record nacional de cada género y categoría de edad.

Por otro lado, la RMS, el Min y el Max de la aceleración que se han analizado en este trabajo por primera vez para diferenciar los estilos y el género y nivel en cada uno de ellos requieren también su discusión.

La RMS obtenida en los diferentes estilos pone de relieve que el estilo que mayor RMS registra es mariposa, seguido de crol, braza y espalda. Esta jerarquía es idéntica con respecto al Min y al Max de la aceleración. Al no tener referencias de la RMS en todos los estilos no podemos contrastar que esta jerarquía responda a unos valores ya conocidos. Ahora bien, ésta parece no responder a criterios de mayor o menor velocidad (Craig JR & Pendergast, 1979; Craig et al., 1985) de cada uno de ellos. Tampoco a criterios de mayor o menor fluctuación de la velocidad (Balonas et al., 2006; Craig JR & Pendergast, 1979; Morouço, 2009). Ni siquiera corresponde con el criterio de mayor o menor fuerza propulsiva que se genera en los diferentes estilos o con el criterio de mayor o menor coste energético. Según criterio de mayor fuerza propulsiva, la braza es el estilo que más fuerza media produce, seguido de espalda, crol y mariposa (Magel, 1970; Morouço, 2009). Siguiendo un criterio de economía energética, el crol sería el más económico seguido de la espalda, la mariposa y la braza (T. M. Barbosa et al., 2006). Posiblemente la falta de correspondencia en estas jerarquías se deba a que las aceleraciones y en consecuencia la fuerzas que las producen estén más condicionadas por la

IV. Discusión

capacidad de coordinar las acciones propulsivas (Vilas-Boas, 1996). Dado que la RMS se considera el valor eficaz de la aceleración (Tella et al., 2008) y si la premisa anterior fuese cierta, el estilo que más eficacia obtendría de sus aceleraciones sería el estilo mariposa, seguido del crol y la braza, en los que no existen diferencias significativas, y finalmente la espalda.

Bajo este mismo criterio de mayor o menor valor eficaz de la aceleración (RMS), en este trabajo se establece que los nadadores en todos los estilos obtienen mayores valores eficaces de la aceleración que las nadadoras, aunque las diferencias no sean significativas en el estilo braza ($P > 0,05$).

Cuando el análisis intenta diferenciar estas variables en función del género y nivel, y como ocurre en las otras variables temporales analizadas, tampoco se encuentran diferencias significativas, aunque la tendencia es que los nadadores y nadadoras del nivel 1 obtienen valores superiores que los del nivel 2. Posiblemente, también por el criterio utilizado para diferenciar niveles en este estudio. Sólo una excepción, en la RMS en crol y en el género masculino. En este caso la RMS en los nadadores del nivel 2 es mayor que la de los nadadores del nivel 1.

En otros trabajos que estudian esta variable, los valores medios de la RMS de la aceleración para el estilo crol fueron de $7,95 \pm 0,62$ (Tella et al., 2008), con una muestra mayor (79) y con el mismo protocolo y nivel que el anterior trabajo, el valor medio (media \pm ET) fue de $5,59 \pm 0,20$ (Madera et al., 2010). Los valores superiores obtenidos por Tella et al. (Tella et al., 2008) pueden ser debidos a la mayor media de la velocidad de nado llevada a cabo por sus nadadores con respecto a la obtenida en este estudio ($1,60\text{m/s}$ vs $1,55\text{ m/s}$) (Tella et al., 2008).

El valor mínimo de la aceleración en el estilo braza del presente estudio muestra valores medios ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2} \pm \text{ET}$) de $-16,57 \pm 4,57$ y

el máximo $16,50 \pm 4,54$. Otro trabajo muestra valores diferentes y con menor rango en este estilo. Así Buchner y Reischle (2003) obtienen valores mínimos de $-3,1$ y máximos de $6,9$ para el nado en el estilo braza en un solo sujeto. En el estilo mariposa, los valores mínimos y máximos de la aceleración fueron de $-20,64 \pm 8,56$ y $25,46 \pm 10,46$. El trabajo antes mencionado (Buchner & Reischle, 2003) también difiere de los obtenidos en este estudio y muestra valores de $-6,7$ y $9,2$ en un estudio de un solo caso.

Las diferencias observadas entre estos estudios y el nuestro pueden ser debidas al diferente material y metodología utilizados en cada uno de los estudios.

En el caso del estilo crol, la mínima aceleración obtenida fue de $-17,29 \pm 6,40$ y la máxima $17,98 \pm 7,11$, mientras que Tella et al. (2008) obtienen los valores de $-22,97 \pm 1,80$ y $23,59 \pm 2,22$ respectivamente. La velocidad media de nado diferente de ambas muestras puede ser la justificación a estas diferencias.

En el análisis realizado para diferenciar estas variables cinemáticas temporales también se ha considerado el factor nivel de rendimiento. Quizás como ya se ha comentado, el criterio de establecer el nivel en función de una velocidad relativa y no absoluta, además de que en una parte de este análisis se hayan incluido a nadadores de ambos géneros, puede ser el motivo de las escasas diferencias encontradas entre nivel y nivel y género en cada uno de los estilos. Así, sólo la mayor velocidad y el I_c en el nivel 1 diferencia a los nadadores con respecto a los del nivel 2 en crol. También la mayor velocidad, I_c y RMS diferencia a los nadadores del nivel 1 con respecto a los del nivel 2 en mariposa.

IV.6. Sobre la relación de la velocidad con las variables cinemáticas en el dominio temporal

Los parámetros cinemáticos estudiados tradicionalmente (FC, LC e Ic) responden con relaciones contrapuestas (Arellano, Sánchez-Molina, Navarro, & Aymerich, 2003; T. M. Barbosa, Fernandes et al., 2008; Craig JR & Pendergast, 1979; Craig et al., 1985; Kennedy et al., 1990; Sanders, 1996; Sánchez-Molina, 1999). Por ello, ya Pai, Hay y Wilson (1984) propusieron que no era posible una relación óptima general para todos los nadadores y si que la combinación individualizada FC con la LC debía plantearse como objetivo para alcanzar la mejor velocidad (Keskinen & Komi, 1988). En este estudio, las relaciones encontradas en todos los estilos son positivas ($p < 0,01$). Sólo la FC en el estilo crol y la LC en el estilo braza no muestran esta relación. El amplio rango de edades de la muestra (12-25 años) y que esté formada por nadadores de ambos géneros puede ser el motivo de la mayor homogeneidad de las relaciones encontradas.

Con respecto a la relación FC y velocidad se observa que en crol la relación no es significativa y que en el resto de estilos, aún siendo significativa ($p < 0,01$), la relación no es alta ($r < 0,5$). Así, Morales (Morales, 2006) encontró correlaciones bajas entre la FC y la velocidad de nado ($r = 0,28$) pero significativas ($p < 0,05$), mientras que para el resto de estilos, otros estudios muestran la misma tendencia aunque con valores más altos (Sánchez-Molina, 1999) a los hallados en este estudio.

Con respecto a la relación LC y velocidad se observa que en braza no existe una relación significativa, mientras que en el resto de estilos la relación es positiva ($p < 0,01$) y alta ($r > 0,5$). Estos resultados concuerdan con los estudios que relacionan ambas variables (Craig JR & Pendergast, 1979; Keskinen & Komi, 1993b; Morales, 2006).

IV. Discusión

El I_c , sin embargo, presenta relaciones significativas en todos los estilos ($p < 0,01$) y sus valores excepto en la braza ($r = 0,57$) presentan valores próximos a 1 ($r > 0,8$). Estos resultados concuerdan con los estudios que relacionan ambas variables (Caputo, De Lucas, Greco, & Denadai, 2008; Sánchez-Molina & Arellano, 2002).

Las variables temporales que analizan la aceleración (RMS, Max y Min) tienen también relaciones positivas con la velocidad, excepto el Max en el estilo braza cuya relación no es significativa.

La RMS de la aceleración se correlacionó con la velocidad en los cuatro estilos, aunque solo fue alta en el estilo mariposa (0,78 $p < 0,01$). Existen pocos trabajos que analicen esta variable por lo que las referencias para establecer alguna comparación es compleja. El trabajo de Tella et al. (2008) muestra la misma tendencia al registrar una correlación significativa de 0,68 para estas dos variables en el test de máxima velocidad del estilo crol sin fatiga y de 0,75 con fatiga en nadadores de nivel regional y nacional. También la disminución de la velocidad en dicho trabajo mostró un descenso del valor de la RMS ($7,95 \pm 0,62$ vs $5,30 \pm 0,4$). Holmér (Holmér, 1979) relacionó en su trabajo el aumento de la velocidad (0,8 a $1,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) con el incremento de la RMS en el estilo crol durante el nado en piscina de corriente (*swimming flume*).

Al analizar la correlación entre la velocidad y el valor mínimo de la aceleración encontramos correlaciones negativas en los cuatro estilos, siendo estas altas solo en la mariposa (-0,715). En el mencionado trabajo de Tella et al. (Tella et al., 2008) las correlaciones para el crol son de -0,54.

Entre el máximo de la aceleración y la velocidad existen correlaciones en el crol, la espalda y la mariposa, siendo esta última la única alta (0,703). En el crol del trabajo de Tella et al. (2008) esta correlación fue de 0,53.

IV.7. Sobre diferencias encontradas en las variables cinemáticas en el dominio frecuencial

Los resultados obtenidos, muestran en primer lugar diferencias de PP, PPF y AS en los cuatro estilos. Según sus valores medios, el PP en crol es el que mayores registros alcanza, seguido de la mariposa, braza y la espalda, no siendo significativas las diferencias entre el crol y la mariposa y entre braza y la espalda ($p > 0,05$). Con respecto al PPF, la espalda es el que mayores frecuencias registra seguido del crol, mariposa y braza, no siendo significativa la diferencia entre crol y mariposa ($p > 0,05$). La mariposa presenta los mayores valores en la variable AS, seguido de crol, braza y espalda, no siendo significativa la diferencia entre mariposa y crol y crol y braza ($p > 0,05$).

De esta manera, podemos incidir en que el crol y la mariposa son los estilos que más PP alcanzan, que el estilo espalda es el que mayor PPF presenta y que el AS obtiene los valores más altos en mariposa, crol y braza ($p < 0,05$).

Los valores registrados en el PP de crol son inferiores a los registrados por Tella et al. (2008), posiblemente por la mayor velocidad media de sus nadadores. Razón por la cual los valores de PPF y AS obtenidos en este trabajo son ligeramente inferiores.

Más allá de las diferencias encontradas entre estilos en la variable PPF, conviene interpretar a que se deben estas frecuencias. En el trabajo de Tella et al. (2008) se discutió la correspondencia de las seis aceleraciones obtenidas durante un ciclo (Counsilman & Wasilak, 1982) con la PPF obtenida. En este estudio la PPF es de 5,68 Hz y si la FC es de 0,90 el tiempo medio de un ciclo sería de 1,11s. La extrapolación de estos datos para indicar la frecuencia de las aceleraciones principales por ciclo de nado sería 6,44, que representarían aproximadamente las seis aceleraciones producidas

IV. Discusión

por la coordinación de las acciones propulsivas de brazos y de piernas descrita en la introducción.

En el estilo braza, el valor medio obtenido en este trabajo de la PPF es de 2,63Hz y la FC de 0,83 (i.e. 1,20 segundos por ciclo). La extrapolación de estos datos para indicar la frecuencia de las aceleraciones principales por ciclo de nado sería 3,17. La posible coincidencia del valor de PPF extrapolado a un ciclo de nado en braza puede basarse en los movimientos de aceleración y deceleración mencionados en la introducción de este trabajo, en la que en función de su coordinación se podrían describir tres momentos propulsivos.

El espectro de la aceleración en la mariposa tiene un PPF de 5,55Hz y la FC 0,94, lo que viene a significar que los nadadores realizaban un ciclo completo cada 1,06 segundos. La extrapolación de estos datos para indicar la frecuencia de las aceleraciones principales por ciclo de nado sería 5,88. Como se indica en la introducción, el perfil de las variaciones de la aceleración del centro de masas del nadador muestra cinco picos por cada ciclo (Mason et al., 1992; Sanders et al., 1995). Esto podría explicar esta frecuencia de aceleraciones obtenida. Ésta no correspondería con número coordinado de acciones propulsivas propuesto en la introducción y esta discordancia podría estar motivada por el hecho de que el análisis intraciclo del estilo mariposa a través de velocímetro en el que la cintura es el punto de anclaje, es el más cuestionado en cuanto a su validez (T. M. Barbosa et al., 2003; Mason et al., 1992; Psycharakis & Sanders, 2009).

En el estilo espalda el PPF se situó en 6,59 y la FC fue 0,74Hz. La frecuencia hallada supone que la duración de un ciclo completo en espalda fue de 1,35 segundos. La extrapolación de estos datos para indicar la frecuencia de las aceleraciones principales por ciclo de nado sería 8,90. La diferencia que muestra este dato con la posible coordinación de las acciones propulsivas cuestiona las

IV. Discusión

hipótesis planteadas al discutir este resultado en el resto de estilos. Ahora bien, aún identificando seis picos de velocidad en el ciclo de espalda (E. W. Maglischo, 2003), la observación visual de su perfil intraciclo no permite detectarlos tan claramente como en el resto de estilos. Posiblemente este perfil esté reflejando una menor coordinación temporal entre las acciones propulsivas de brazos y de piernas comparando los perfiles intraciclo con los de otros estilos.

Cuando los resultados del análisis realizado nos muestran las diferencias entre géneros por estilo, estas variables frecuenciales pierden relevancia, siendo inexistente cuando se analiza los estilos por género y nivel

Así el PP, sólo muestra diferencias entre géneros en el estilo mariposa ($p < 0,001$), siendo sus valores medios siempre superiores en el género masculino para todos los estilos.

De la misma manera a PPF sólo muestra diferencias entre géneros en el estilo mariposa ($p < 0,05$), siendo sus valores medios sólo superiores en el género masculino en mariposa, crol y braza.

La variable frecuencial AS es la que más capacidad tiene para diferenciar géneros en cada uno de los estilos. Los valores superiores en crol, mariposa y espalda ($p < 0,05$, $p < 0,001$, $p < 0,05$) así lo constatan.

Como ya se ha comentado este trabajo no presenta diferencias significativas entre niveles en ambos géneros. Sólo se ha encontrado una referencia sobre los valores de PP en nadadores de diferente nivel en crolistas (Holmér, 1979). Sin embargo Holmér (1979) en su estudio piloto con dos nadadores uno de ellos de nivel de élite y el otro considerado como un buen nadador muestra que el nadador de menor nivel obtiene valores de PP superiores. Este resultado hay que explicarlo en la medida de que los dos

nadadores realizaron la prueba a la misma velocidad. Así el nadador de élite tuvo que afrontar la prueba a una intensidad del 77,7% inferior al 87,5% del nadador bueno, y ésta puede ser la razón por la que el mayor PP correspondiera al nadador de menor nivel.

IV.8. Sobre la relación de la velocidad con las variables cinemáticas en el dominio frecuencial

El pico de potencia (PP) se correlaciona con la velocidad de nado en los cuatro estilos con valores desde 0,293 de la espalda hasta 0,672 en la mariposa. Tella et al. (2008) muestran una correlación de estas dos variables en el crol de 0,45. También Holmér (Holmér, 1979), aunque no correlaciona estas dos variables en una población determinada, muestra gráficamente que el PP del espectro de la aceleración aumenta si el nadador aumenta la velocidad de nado (1,2 a 1,6 m·s⁻¹).

La variable PPF tiene una baja y significativa correlación con la velocidad de 0,332 en el estilo mariposa. En los demás estilos no existe esa correlación. En el trabajo de Tella et al. (2008) tampoco se encontró correlación de estas dos variables en el estilo crol en dos situaciones de nado sin fatiga y con fatiga. Sobre este concepto, conviene mencionar el comportamiento que tiene el PPF al incrementar la velocidad de nado (Holmér, 1979). Este autor muestra que el PPF de un nadador aumenta con el incremento de la velocidad.

El área espectral (AS) y la velocidad se correlacionan en el presente estudio en todos los estilos. Mariposa y braza muestran relaciones altas (0,72 y 0,52) y espalda y crol medias (0,42 y 0,44). La correlación obtenida por Tella et al. (2008) en el estilo crol fue similar (0,53).

**V. LIMITACIONES, PROSPECTIVA DE
INVESTIGACIÓN Y APLICACIONES
PRÁCTICAS**

V. Limitaciones, prospectiva de investigación y aplicaciones prácticas

La principal limitación de este trabajo está ligada a la tecnología empleada. Nosotros hemos usado un transductor de posición para medir la aceleración. Esta elección se hizo con la intención de poder generalizar y comparar nuestros datos con otros obtenidos en investigaciones previas. Además, este tipo de aparataje ya ha sido probado con éxito en otros estudios y es de uso generalizado en el entrenamiento de nadadores de rendimiento.

No obstante, es necesario evidenciar que en nuestro trabajo la aceleración es la variable dependiente más importante, y en conclusión sería conveniente en futuros trabajos medir directamente este parámetro a través de acelerómetros. Estos acelerómetros nos darán una información más completa y detallada sobre lo que ocurre cerca del centro de gravedad durante el nado en los diferentes estilos, incluso en función de la complejidad del sensor se podrá aportar datos de aceleración en los tres ejes de movimiento. De forma adicional se pueden emplear varios acelerómetros en otros puntos anatómicos (e.g., manos, pies, etc) que enriquecerán la discusión de los resultados obtenidos.

Sin embargo a fecha de hoy el acceso a este tipo de material en entornos acuáticos no es de uso generalizado, siendo su diseño un campo de investigación en sí mismo que debe ser potenciado de forma paralela al análisis de las señales que genera.

La segunda limitación hace referencia a la categorización que hemos realizado. En este trabajo se ha categorizado el nivel atendiendo a los puntos obtenidos en función de la velocidad relativa en cada categoría de edad (i.e., rendimiento). Este rendimiento, obviamente está influenciado por un número muy

V. Limitaciones, prospectiva y aplicaciones

grande de variables. Bajo nuestro punto de vista se tendría que tener en cuenta en futuros trabajos la selección de los nadadores en función de parámetros principalmente cualitativos. Así se sugiere, el empleo de muestras heterogéneas en las cuales estén representados diferentes niveles técnicos.

Aunque ya se han explicitado en los párrafos anteriores algunas propuestas para futuros trabajos, el diseño y resultados de nuestra investigación deben ser tenidos en cuenta no sólo en trabajos de investigación básica sino también en futuras aplicaciones prácticas.

La principal aplicación práctica que se deriva de nuestro estudio tiene que ver con el diseño de sistemas expertos. Un sistema experto es aquel que emula el razonamiento de una persona con conocimientos profundos en una temática determinada. En el caso concreto de la natación un entrenador con amplia experiencia puede observar de forma intuitiva cualquier cambio técnico que se produzca en sus nadadores. Sin embargo, hay un gran número de técnicos que no pueden reconocer de forma sencilla los patrones técnicos que son correctos o incorrectos en la técnica de los diferentes estilos. Nuestro trabajo pretende distinguir diferentes perfiles técnicos a través del uso de procesos matemáticos complejos. Estos procesos deberán ser validados y estructurados de forma sencilla para que puedan ser empleados por personas sin bagaje matemático.

Los futuros estudios tendrán que incidir en el diseño de algoritmos matemáticos que tengan márgenes de error pequeños. Pero principalmente se tendrán que centrar en la "traducción" de los resultados matemáticos a un lenguaje cercano al empleado en entornos deportivos. De esta forma, si se consigue aplicar nuestro modelo a un gran número de nadadores con características técnicas muy dispares se podrá diseñar bases de datos fiables que podrán dar respuesta a los problemas cotidianos a los que se enfrentan los entrenadores, desde la valoración de una técnica

V. Limitaciones, prospectiva y aplicaciones

determinada hasta la eficacia de cualquiera de ellas ante diferentes intensidades y ritmos de nado.

Hay que tener en cuenta que el entrenamiento de la natación requiere de conocimientos profundos de diferentes ámbitos científicos, y en ocasiones los nadadores requieren de equipos multidisciplinares que resultan muy costosos. Nuestra propuesta permitirá a aquellos entrenadores con conocimientos en áreas de entrenamiento general poder acceder con ciertas garantías al entrenamiento técnico de nadadores, facilitándoles la interpretación técnica y posibilitando su corrección. Por supuesto, también servirá de apoyo a aquellos entrenadores que tengan conocimientos sobre la técnica correcta, cuantificando de forma correcta las decisiones intuitivas que realizan de forma cotidiana. Este tipo de sistemas expertos son los que usualmente se emplean en el entrenamiento de la condición física, como por ejemplo los numerosos sistemas expertos desarrollados con monitores de la frecuencia cardíaca.

VI. CONCLUSIONES

VI. Conclusiones

Las conclusiones del análisis en el dominio temporal y frecuencial de los parámetros cinemáticos estudiados en los cuatro estilos de competición de natación son:

- La metodología propuesta permite realizar el análisis cinemático temporal y frecuencial de la fase de nado de cada estilo de competición. Los registros obtenidos y las derivaciones correspondientes del espacio recorrido y del tiempo de nado invertido en cada estilo dan lugar a la obtención de los parámetros velocidad y aceleración. El tratamiento temporal (FC, LC, IC, V, RMS, Max y Min) y frecuencial (PP, PPF y AS) de éstos permite analizar los estilos de nado desde diferentes perspectivas.
- Los perfiles espectrales de la aceleración muestran dos tipos de perfiles. Tanto el tipo I como el II están presentes en todos los estilos, géneros y niveles.
- Las variables cinemáticas temporales y frecuenciales estudiadas tienen la capacidad de diferenciar a los estilos de competición.
- La capacidad de las variables cinemáticas temporales para diferenciar géneros en cada uno de los estilos es alta a excepción de la FC.
- El AS con valores superiores para el género masculino es la única variable frecuencial que diferencia a los nadadores de ambos géneros a excepción del estilo braza. En el estilo mariposa todas las variables frecuenciales (PP, PPF y AS) presentan valores superiores en el género masculino.
- Las variables temporales y frecuenciales estudiadas no muestran una capacidad importante para diferenciar niveles en función del género y del estilo de nado. Sólo la RMS en crol con valores superiores para los nadadores del nivel 1 muestra diferencias con los del nivel 2.

VI. Conclusiones

- La relación de la velocidad con las variables temporales estudiadas es positiva con valores medios y altos en todas ellas excepto la FC en el estilo crol y la LC en el estilo braza. El estilo mariposa es el estilo que presenta mayores relaciones excepto en la variable FC.
- La relación de la velocidad con las variables frecuenciales PP y AS es positiva con valores medios y altos. La variable PPF sólo muestra una relación media con el estilo mariposa. El estilo mariposa es el estilo que presenta relaciones en todas las variables frecuenciales.

VII. BIBLIOGRAFÍA

VII. Bibliografía

- Adams, T. A., Martin, R. B., Yeater, R. A., & Gilson, K. A. (1983). Tethered force and velocity relationships. *Swimming Technique*, 20(3), 21-28.
- Adrian, M. J., Singh, M., & Karpovich, P. V. (1966). Energy cost of leg kick, arm stroke, and whole crawl stroke. *Journal of Applied Physiology*, 21(6), 1763-1766.
- Alberty, M., Sidney, M., Dekerle, J., Potdevin, F., Hespel, J. M., & Pelayo, P. (2002). Effects of an exhaustive exercise on upper limb coordination and intracyclic variations in front crawl stroke. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 81-85). St. Etienne, FRA.
- Alberty, M., Sidney, M., Hespel, J. M., Huot-Marchand, F., & Pelayo, P. (2003). Effet de la fatigue sur la vitesse de nage instantanee et sur les coordinations en crawl. En P. Pelayo (Ed.), *Actes Des 3èmes Journées Spécialisées De Natation* (pp. 107-108). Lille, FRA.
- Alberty, M., Sidney, M., Huot-Marchand, F., Hespel, J. M., & Pelayo, P. (2005). Intracyclic velocity variations and arm coordination during exhaustive exercise in front crawl stroke. *International Journal of Sports Medicine*, 26(6), 471-475.
- Alves, F. (1995). *Economia de nado e prestação competitiva*. Tesis doctoral. (Faculdade de Motricidade Humana. Universidade Técnica de Lisboa).
- Alves, F., Costa, M., & Gomes-Pereira, J. (1998). The influence of swimming velocity on the kinematic characteristics of backstroke swimming. En H. J. Riehle & M. M. Vieten (Eds.),

VII. Bibliografía

- 16 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 104-107). Konstanz, GER.
- Alves, F., Machado, M. L., Botelho, A., Rama, L., & Martins-Silva, A. (2005). Active drag changes between training seasons in young swimmers. En Q. Wang (Ed.), *23 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 919-922). Beijing, CHN.
- Alves, F., Santos, P. M., Veloso, A., Correia, I. P., & Gomes-Pereira, J. (1994). Measurement of intracycle power variation in swimming. *Motricidade Humana*, *10*(1), 69-75.
- Alves, F., Santos, P. M., Veloso, A., Pinto, I., & Gomes-Pereira, J. (1994). A method to evaluate intracycle propulsive force and body velocity changes. En A. Barabás & G. Fábíán (Eds.), *12 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 35-37). Budapest-Siófok, HUN.
- Araújo, C. S. (1978). Somatotipying of top swimmers by Heath-Carter method. En B. Eriksson & B. Furberg (Eds.), *Swimming Medicine IV* (pp. 188-198). Baltimore, USA.
- Arellano, R. (1994). El análisis cinemático de la competición: su utilización en el entrenamiento. *NSW*, *XVI*(1), 24-35.
- Arellano, R. (2004). *Applying biomechanical testing to swimming training*. Seminario Europeo de Entrenadores de Natación. Madrid, SPA.
- Arellano, R., Brown, P., Cappaert, J., & Nelson, R. C. (1994). Analysis of 50-, 100-, and 200-m freestyle swimmers at the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*, *10*(2), 189-199.
- Arellano, R., Domínguez-Castells, R., Pérez-Infantes, E., & Sánchez, E. (2010). Effect of stroke drills on intra-cycle hip velocity in front crawl. En P. L. Kjendlie, R. K. Stallman & J.

VII. Bibliografía

- Cabri (Eds.), *XI International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 45-47). Oslo, NOR.
- Arellano, R., López-Contreras, G., & Sánchez-Molina, J. A. (2003). Qualitative evaluation of technique in international Spanish junior and pre-junior swimmers: an analysis of error frequencies. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 87-92). St. Etienne, FRA.
- Arellano, R., & Pardillo, S. (1992). An evaluation of changes in the crawl-stroke technique during training periods in a swimming season. En D. P. MacLaren, T. Reilly & A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp. 123). London, UK.
- Arellano, R., Pardillo, S., & García, F. (1999). A system for quantitative measurement of swimming technique. En K. L. Keskinen, P. V. Komi & A. P. Hollander (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (pp. 269-275). Jyväskylä, FIN.
- Arellano, R., Sánchez-Molina, J. A., Navarro, F., & Aymerich, J. (2003). Analysis of 100-M backstroke, breaststroke, butterfly and freestyle swimmers at the 2001 European Youth Olympic Days. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 255-260). St. Etienne, FRA.
- Bale, P. (1986). The relationship of somatotype and body composition to strength in a group of men and women sport science students. En J. A. P. Day (Ed.), *Perspectives in Kinanthropometry* (pp. 187-198). Champaign, USA: Human Kinetics.
- Balonas, A., Gonçalves, P., Silva, J., Marinho, D. A., Moreira, P., Lima, A. B., . . . Vilas-Boas, J. P. (2006). Time limit at the minimum velocity of vo₂max and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(2), 189-192.

VII. Bibliografía

- Barbosa, A. C., Dopsaj, M., Okičić, T., & Andries, O. (2010). The usefulness of the fully tethered swimming for 50-m breaststroke performance prediction. En P. L. Kjendlie, R. K. Stallman & J. Cabri (Eds.), *XI International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 47-49). Oslo, NOR.
- 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.
- Barbosa, T. M., Fernandes, R., Keskinen, K. L., Colaço, P., Cardoso, C., Silva, J., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *International Journal of Sports Medicine*, *27*(11), 894-899.
- Barbosa, T. M., Fernandes, R., Morouço, P., & Vilas-Boas, J. P. (2008). Predicting the intra-cyclic variation of the velocity of the centre of mass from segmental velocities in butterfly stroke: A pilot study. *Journal of Sports Science and Medicine*, *7*(2), 201-209.
- Barbosa, T. M., Fernandes, R. J., Keskinen, K. L., & Vilas-Boas, J. P. (2008). The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, *103*(2), 139-149.
- Barbosa, T. M., Keskinen, K. L., Fernandes, R., Colaço, P., Carmo, C., & Vilas-Boas, J. P. (2005). Relationships between energetic, stroke determinants, and velocity in butterfly. *International Journal of Sports Medicine*, *26*(10), 841-846.
- Barbosa, T. M., Keskinen, K. L., Fernandes, R., Colaço, P., Lima, A. B., & Vilas-Boas, J. P. (2005). Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly

VII. Bibliografia

- stroke. *European Journal of Applied Physiology*, 93(5-6), 519-523.
- 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. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(2), 192-194.
- Barbosa, T. M., Santos Silva, J. V., Sousa, F., & Vilas-Boas, J. P. (2002). Measurement of butterfly average resultant impulse per phase. En K. E. Gianikellis (Ed.), *20 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 35-38). Cáceres, SPA.
- Barbosa, T. M., Santos Silva, J. V., Sousa, F., & Vilas-Boas, J. P. (2003). Comparative study of the response of kinematical variables from the hip and the center of mass in butterflyers. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 93-98). St. Etienne, FRA.
- Berger, M. A., de Groot, G., & Hollander, A. P. (1995). Hydrodynamic drag and lift forces on human hand/arm models. *Journal of Biomechanics*, 28(2), 125-133.
- Bixler, B. (2005). Resistance and propulsion. En J. M. Stager, & D. A. Tanner (Eds.), *Swimming* 2nd ed., (pp. 59-101). Bloomington, USA: Blackwell Science.
- Bixler, B., Pease, D. L., & Fairhurst, F. (2007). The accuracy of computational fluid dynamics analysis of the passive drag of a male swimmer. *Sports Biomechanics*, 6(1), 81-98.
- Bixler, B., & Riewald, S. (2002). Analysis of a swimmer's hand and arm in steady flow conditions using computational fluid dynamics. *Journal of Biomechanics*, 35(5), 713-717.

VII. Bibliografía

- Bompa, T. O., & Jones, D. (1983). *Theory and methodology of training: the key to athletic performance*. Dubuque, USA: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Brown, R. M., & Counsilman, J. E. (1971). The role of lift in propelling the swimmer. En J. M. Cooper (Ed.), *Selected topics in biomechanics*(pp. 178-188). Chicago, USA: Chicago Athletic Institute.
- Buchner, M., & Reischle, K. (2003). Measurements of the intracyclical acceleration in competitive swimming with a newly developed accelometer-goniometer-device. En J. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 57-62). St. Etienne, FRA.
- Buckwitz, R., Bähr, H., & Ungerechts, B. (2003). Direct measurement of intra-cyclic velocity fluctuations in a swimming flume. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 105-109). St. Etienne, FRA.
- Callaway, A. J., Cobb, J. E., & Jones, I. (2009). A comparison of video and accelerometer based approaches applied to performance monitoring in swimming. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 4(1), 139-153.
- Camarero, S. (2002). Tablas de puntuación por edades. *Comunicaciones Técnicas*, 4, 3-7.
- Capitão, F. (2005). *Variações intracíclicas da velocidade na Técnica de Bruços*. Seminário, do 5º ano do Curso de Licenciatura em Ciências do Desporto e de Educação Física. Porto, POR.
- Capitão, F., Lima, A. B., Gonçalves, P., Morouço, P., Silva, M., Fernandes, R., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Videogrametrically and velocimetrically assessed intra-cyclic variations of the velocity in breaststroke. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(2), 212-214.

VII. Bibliografia

- Cappaert, J. M., Pease, D. L., & Troup, J. P. (1995). Three-dimensional analysis of the men's 100-m freestyle during the 1992 Olympic games. *Journal of Applied Biomechanics*, *11*, 103-112.
- Caputo, F., De Lucas, R. D., Greco, C. C., & Denadai, B. S. (2008). Características da braçada em diferentes distâncias no estilo crawl e correlações com a performance. *Revista Brasileira De Ciência e Movimento*, *8*(3), 7-14.
- Caty, V., Aujouannet, Y., Hintzy, F., Bonifazi, M., Clarys, J. P., & Rouard, A. H. (2007). Wrist stabilisation and forearm muscle coactivation during freestyle swimming. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *17*(3), 285-291.
- Cavanagh, P. R. (1976). Recent advances in instrumentation and methodology of biomechanical studies. En P. V. Komi (Ed.), *Biomechanics V-B*1st ed., (pp. 399-411). Baltimore, USA: University Park Press.
- Chatard, J. (1986). Influence des facteurs morphologiques et de l'entraînement sur le rendement énergétique. In A.R.N. (Ed.), *Le message de l'association reflection natation. Compte rendue des Journées de Natation* (1^{re} ed., pp. 53-63). Canet, FRA: A.R.N.
- Chatard, J. C., Collomp, C., Maglischo, E. W., & Maglischo, C. W. (1990). Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, *11*(2), 156-161.
- Chatard, J. C., Lavoie, J. M., & Lacour, J. R. (1991). Energy cost of front-crawl swimming in women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *63*(1), 12-16.

VII. Bibliografía

- Chengalur, S. N., & Brown, P. L. (1992). An analysis of male and female Olympic swimmers in the 200-meter events. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 17(2), 104-109.
- Chollet, D. (2004). *Natación deportiva* (2ª ed.). Barcelona: Inde.
- Chollet, D., Carter, M., & Seifert, L. (2006). Effect of technical mistakes on arm coordination in backstroke. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(2), 30-32.
- Chollet, D., Chalies, S., & Chatard, J. C. (2000). A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *International Journal of Sports Medicine*, 21(1), 54-59.
- Chollet, D., Leblanc, H., Brabant, G., & Pedroletti, M. (2002). Evolution of breaststroke arm-leg synchronization as a function of expertise. En D. Lehénaff & C. Thépaut-Mathieu (Eds.), *Expertise in Elite Sport* (pp. 33-36). Paris, FRA.
- Chollet, D., Madani, M., & Micallef, J. P. (1992). Effects of two types of biomechanical bio-feedback on crawl performance. En D. P. MacLaren, T. Reilly & A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp. 57-62). London, UK.
- Chollet, D., Millet, G., Lerda, R., Hue, O., & Chatard, J. C. (2003). Crawl evaluation with index of coordination. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 115-120). St. Etienne, FRA.
- Chollet, D., Pelayo, P., Delaplace, C., Tourny, C., & Sydney, M. (1997). Stroking characteristic variations in 100m freestyle in different skill levels swimmers. *Perceptual and Motor Skills*, 85(1), 167-177.
- Chollet, D., Pelayo, P., Tourny, C., & Sidney, M. (1996). Comparative analysis of 100m and 200m events in the four

VII. Bibliografía

- strokes in top level swimmers. *Journal of Human Movement Studies*, 31(1), 25-38.
- Chollet, D., Seifert, L., Boulesteix, L., & Carter, M. (2006). Arm to leg coordination in elite butterfly swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 27(4), 322-329.
- Chollet, D., Seifert, L., Leblanc, H., Boulesteix, L., & Carter, M. (2004). Evaluation of arm-leg coordination in flat breaststroke. *International Journal of Sports Medicine*, 25(7), 486-495.
- Chollet, D., Seifert, L. M., & Carter, M. (2008). Arm coordination in elite backstroke swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 26(7), 675-682.
- Chollet, D., Tourny-Chollet, C., & Gleizes, F. (1999). Evolution of co-ordination in flat breaststroke in relation to velocity. En K. L. Keskinen, P. V. Komi & A. P. Hollander (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (pp. 29-32). Jyväskylä, FIN.
- Christensen, C. L., & Smith, G. W. (1987). Relationship of maximum sprint speed and maximal stroking force in swimming. *Journal of Swimming Research*, 3(2), 18-20.
- Clarys, J. P. (1978). Relationship of human body form to passive and active hydrodynamic drag. *Biomechanics VI-B*, 120-125.
- Clarys, J. P. (1979). Human morphology and hydrodynamics. En J. Terauds & E. W. Bedingfield (Eds.), *Swimming III* (pp. 3-41). Baltimore, USA.
- Clarys, J. P., & Jiskoot, J. (1975). Total resistance of selected body positions in the front crawl. En L. Lewillie & J. P. Clarys (Eds.), *Swimming II* (pp. 110-117). Bruxelles, BEL.
- Clauser, C. E., McConville, J. T., & Young, J. W. (1969). *Weight, volume and center of mass of segments of the human body*.

VII. Bibliografía

(DTIC Document No. NTIS AD-710-622). Wright Patterson Air Force Base, Ohio, USA:

- Cohen, J. (1992). Statistical power analysis. *Current Directions in Psychological Science*, 1(3), 98-101.
- Colman, V., Persyn, U., Daly, D., & Stijnen, V. (1998). A comparison of the intra-cyclic velocity variation in breaststroke swimmers with flat and undulating styles. *Journal of Sports Sciences*, 16(7), 653-665.
- Colwin, C. M. (1984). Fluid dynamics: vortex circulation in swimming propulsion. En T. F. Welsh (Ed.), *ASCA World Clinic Year*(pp. 38-46). Fort Lauderdale, USA: American Swimming Coaches Association.
- Colwin, C. M. (1992). *Swimming into the 21st century*. Champaign, USA: Leisure Press.
- Colwin, C. M. (2002). *Breakthrough swimming* (2nd ed.). Champaign, USA: Human Kinetics Publishers.
- Cordain, L., & Kopriva, R. (1991). Wetsuits, body density and swimming performance. *British Journal of Sports Medicine*, 25(1), 31-33.
- Costill, D. L., Kovalski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R., & King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *International Journal of Sports Medicine*, 6(5), 266-270.
- Costill, D. L., Lee, G., & D'Acquisto, L. J. (1987). Video-computer assisted analysis of swimming technique. *Journal of Swimming Research*, 3(2), 5-9.
- Costill, D. L., Maglischo, E. W., & Richardson, A. B. (1992). *Swimming* (4th ed.). Bodmin, UK: Blackwell Science Ltd.

VII. Bibliografía

- Counsilman, J. E. (1968). *The science of swimming* (2nd ed.). Englewood Cliffs, USA: Prentice-Hall.
- Counsilman, J. E. (1983). *La Natación: Ciencia y Técnica para la preparación de campeones* (E. Alonso Trans.). (3ª ed.). Barcelona: Edit. Científico Técnica.
- Counsilman, J. E., & Wasilak, J. (1982). The importance of hand speed and hand acceleration. En R. M. Ousley (Ed.), *1981 ASCA World Clinic Yearbook*(pp. 41-55). Fort Lauderdale, USA: American Swimming Coaches Association.
- Craig JR, A. B., & Pendergast, D. R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine and Science in Sports*, *11*(3), 278-283.
- Craig, A. B., Boomer, W. L., & Skehan, P. L. (1988). Patterns of velocity in competitive breaststroke swimming. En B. E. Ungerechts, K. Wilke & K. Reischle (Eds.), *Swimming Science V*(pp. 73-77). Champaign, USA.
- Craig, A. B., Skehan, P. L., Pawelczyk, J. A., & Boomer, W. L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *17*(6), 625-634.
- Craig, A. B., Termin, B., & Pendergast, D. R. (2006). Simultaneous recordings of velocity and video during swimming. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, *6*(2), 32-35.
- Cureton, T. K. (1971). Biomechanics of swimming with interrelationship to fitness and performance. En L. Lewillie & J. P. Clarys (Eds.), *Biomechanics in Swimming* (pp. 31-52). Bruxelles, BEL.
- D'Acquisto, L. J., Costill, D. L., Gehlsen, G. M., Young, W. T., & Lee, G. (1988). Breaststroke economy, skill, and performance: study of breaststroke mechanics using a computer based

VII. Bibliografía

- "velocity-video" system. *Journal of Swimming Research*, 4(2), 9-13.
- Dal Monte, A. (1971). Presenting an apparatus for motion picture, television and scan shots of the movement of swimming. En L. Lewillie & J. P. Clarys (Eds.), *Biomechanics in Swimming* (pp. 127-128). Bruxelles, BEL.
- Dapena, J. (1978). A method to determine the angular momentum of a human body about three orthogonal axes passing through its center of gravity. *Journal of Biomechanics*, 11(5), 251-256.
- De Jesus, K. (2008). *Análise das variações intracíclicas da velocidade horizontal do centro de gravidade ao longo da distância dos 100 m mariposa. Estudo realizado em três análises das variações intracíclicas da velocidade horizontal do centro de gravidade*. Dissertação de mestrado em Ciências do Desporto – Desenvolvimento Motor. Porto, POR.
- Dekerle, J., Nesi, X., Lefevre, T., Depretz, S., Sidney, M., Huot-Marchand, F., & Pelayo, P. (2005). Stroking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed. *International Journal of Sports Medicine*, 26(1), 53-58.
- Dekerle, J., Sidney, M., Hespel, J. M., & Pelayo, P. (2002). Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate, and anaerobic capacity in relation to front crawl swimming performances. *International Journal of Sports Medicine*, 23(2), 93-98.
- Deleaval, P. (1990). Un autre regard sur la performance. *EPS*, 21, 49-53.
- DeVries, H. A. (1959). A cinematographical analysis of the dolphin swimming stroke. *Research Quarterly*, 30(4), 413-422.

VII. Bibliografía

- Di Prampero, P. E., Pendergast, D. R., Wilson, D. R., & Rennie, D. W. (1974). Energetics of swimming in man. *Journal of Applied Physiology*, 37(1), 1-5.
- Dopsaj, M., Matković, I., Thanopoulos, V., & Okičić, T. (2003). Reliability and validity of basic kinematics and mechanical characteristics of pulling force in swimmers measured by the method of tethered swimming with maximum intensity of 60 seconds. *Physical Education and Sport*, 1(10), 11-22.
- East, D. J. (1971). Stroke frequency, length and performance. *Swimming Technique*, 8(3), 68-73.
- Faulkner, J. A. (1968). Physiology of swimming and diving. En H. B. Falls (Ed.), *Exercise physiology* (pp. 415-445). Baltimore, USA: Academic Press.
- Ferrer, V., Borràs, X., Turró, C., Balius i Matas, X., & Roig Tomás, A. (2000). Método de análisis de la técnica del nadador. *Apunts*, 59, 40-43.
- Figueiredo, P., Morales, E., Pereira, S., Goç Alves, P., Arellano, R., Seifert, L., . . . Fernandes, R. (2008). Intracyclic speed fluctuations of the center of mass and its relationship with the index of coordination - A pilot study. En Y. Kwon, J. K. Shim, J. K. Shim & I. Shin (Eds.), *26 International Conference on Biomechanics in Sports* (pp. 412-415). Seoul, KOR.
- FINA. (2011). *Federation Internationale de Natation*. 9 de agosto, 2011, de <http://www.fina.org>
- Fish, F. E. (1994). Influence of hydrodynamic-design and propulsive mode on mammalian swimming energetics. *Australian Journal of Zoology*, 42(1), 79-101.
- Fujishima, M., & Miyashita, M. (1999). Velocity degradation caused by its fluctuation in swimming and guidelines for improvement of average velocity. En K. L. Keskinen, P. V. Komi & A. P.

VII. Bibliografía

- Hollander (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (pp. 41-45). Jyväskylä, FIN.
- García López, J. (2008). Dinámica de fluidos: el efecto del agua y del aire. In M. Izquierdo (Ed.), *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte* (1ª ed., pp. 299-330). Buenos Aires, ARG: Editorial médica panamericana.
- Gavilán, A. (2002). *Análisis de las variables que inciden en la técnica del movimiento ondulatorio subacuático y valoración de su entrenabilidad*. Tesis doctoral. (Universidad de Granada).
- Grimston, S. K., & Hay, J. G. (1986). Relationships among anthropometric and stroking characteristics of college swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *18*(1), 60-68.
- Hahn, A., & Krug, T. (1992). Application of knowledge gained from the coordination of partial movements in breaststroke and butterfly swimming for the development of technical training. En D. P. MacLaren, T. Reilly & A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp. 167-171). London, UK.
- Haljand, R. (2011). <http://www.swim.ee>. 10 de agosto, 2011, de <http://www.swim.ee/competition/index.html>
- Hay, J. G., Guimaraes, A. C. S., & Grimston, S. K. (1983). A quantitative look at swimming biomechanics. *Swimming Technique*, *20*(2), 11-17.
- Hay, J. G., Liu, Q., & Andrews, J. G. (1993). Body roll and handpath in freestyle swimming: a computer simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*, *9*(3), 227-237.

VII. Bibliografía

- Hay, J. G., & Thayer, A. M. (1989). Flow visualization of competitive swimming techniques: the tufts method. *Journal of Biomechanics*, 22(1), 11-19.
- Hellard, P., Dekerle, J., Avalos, M., Caudal, N., Knopp, M., & Hausswirth, C. (2008). Kinematic measures and stroke rate variability in elite female 200-m swimmers in the four swimming techniques: Athens 2004 Olympic semi-finalists and French National 2004 Championship semi-finalists. *Journal of Sports Sciences*, 26(1), 35-46.
- Hochmuth, G. (1973). *Biomecánica de los movimientos deportivos: Delegación nacional de educación física y deportes* (1ª ed.). Madrid, SPA: Instituto Nacional de Educación Física.
- Holmér, I. (1974). Energy cost of arm stroke, leg kick, and the whole stroke in competitive swimming styles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 33(2), 105-118.
- Holmér, I. (1979). Analysis of acceleration as a measure of swimming proficiency. En J. Terauds & E. W. Bedingfield (Eds.), *Swimming III* (pp. 118-124). Baltimore, USA.
- Hopper, R. T., Hadley, C., Piva, M., & Bambauer, B. (1983). Measurement of power delivered to an external weight. En A. P. Hollander, P. A. Huijing & G. De Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IV* (pp. 113-119). Champaign, USA.
- Ichikawa, H., Ohgi, Y., & Miyaji, C. (1999). Analysis of stroke of the freestyle swimming using accelerometer. En K. L. Keskinen, P. V. Komi & A. P. Hollander (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (pp. 159-164). Jyväskylä, FIN.
- Ichikawa, H., Yuji, O., Miyaji, C., & Nomura, T. (2003). Estimation of arm motion in front crawl swimming using accelerometer.

VII. Bibliografía

- En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 133-138). St. Etienne, FRA.
- Invernizzi, P. L., Scurati, R., Michielon, G., & Pizzini, G. (2006). Perfecting of the crawl in non-skilled swimmers: comparison between the drag reduction and improvement of the propulsion. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(2), 225-227.
- Jensen, R., & McIlwain, J. (1979). Modeling of lower extremity forces in the dolphin kick. En J. Terauds & E. W. Bedingfield (Eds.), *Swimming III* (pp. 137-147). Baltimore, USA.
- Kamata, E., Miwa, T., Matsuuchi, K., Shintani, H., & Nomura, T. (2006). Analysis of sculling propulsion mechanism using two components particle image velocimetry. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(2), 50-52.
- Karpovich, P. V. (1930). Swimming speed analyzed. *Scientific American, March*, 224-225.
- Karpovich, P. V. (1933). Water resistance in swimming. *Research Quarterly*, 4, 21-28.
- Kennedy, P., Brown, P., Chengalur, S. N., & Nelson, R. C. (1990). Analysis of male and female Olympic swimmer's in the 100-meter events. *International Journal of Sports Biomechanics*, 6, 187-197.
- Kent, M. R., & Atha, J. (1973). Intra-cycle retarding force fluctuations in breaststroke. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 13(4), 274-280.
- Kent, M. R., & Atha, J. (1975). A device for the on-line measurement of instantaneous swimming velocity. En J. P. Clarys & L. Lewillie (Eds.), *Swimming II* (pp. 58-63). Bruxelles, BEL.

VII. Bibliografia

- Keskinen, K. L., & Komi, P. V. (1988). Interaction between aerobic/anaerobic loading and biomechanical performance in freestyle swimming. En B. E. Ungerechts, K. Wilke & K. Reischle (Eds.), *Swimming Science V* (pp. 285-293). Champaign, USA.
- Keskinen, K. L., & Komi, P. V. (1993a). Intracycle variation in force, velocity and power as a measure of technique performance during front crawl swimming. En S. Bouisset, S. Métral & H. Mond (Eds.), *Abstracts of the International Society of Biomechanics, XIVth ISB Congress* (pp. 676-677). Paris, FRA.
- Keskinen, K. L., & Komi, P. V. (1993b). Stoking characteristics of front crawl swimming during exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, 9(3), 219-226.
- Kilani, H., & Zeidan, W. (2004). A kinematic comparison between the semi-finals and the finals for 50m swimming races of the four strokes. En M. Lamontagne, D. Gordon, E. Robertson & H. Sveistrup (Eds.), *22 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 125-128). Ottawa, CAN.
- Kjendlie, P. L., Haljand, R., Fjortoft, O., & Stallman, R. K. (2006). Stroke frequency strategies of international and national swimmers in 100-m races. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(2), 52-54.
- Kjendlie, P. L., Ingjer, F., Stallman, R. K., & Stray-Gundersen, J. (2004). Factors affecting swimming economy in children and adults. *European Journal of Applied Physiology*, 93(1), 65-74.
- Kjendlie, P. L., & Thorsvald, K. (2006). A tethered swimming power test is highly reliable. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(2), 231-233.

VII. Bibliografía

- Kolmogorov, S. V., & Duplishcheva, O. A. (1992). Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *Journal of Biomechanics*, 25(3), 311-318.
- Kornecki, S., & Bober, T. (1978). Extreme velocities of a swimming cycle as a technique criterion. En B. Eriksson, & B. Furberg (Eds.), *Swimming Medicine IV*(pp. 402-407). Baltimore, USA: Human Kinetics Publishers.
- Lavoie, J. M., Leger, L. A., Leone, M., & Provencher, P. J. (1985). A maximal multistage swim test to determine the functional and maximal aerobic power of competitive swimmers. *Journal of Swimming Research*, 1, 17-22.
- Lavoie, J. M., & Montpetit, R. R. (1986). Applied physiology of swimming. *Sports Medicine*, 3(3), 165-189.
- 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.
- Letzelter, H., & Freitag, W. (1983). Stroke length and stroke frequency variations in men's and women's 100-m freestyle swimming. En A. P. Hollander, P. A. Huijing & G. De Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IV* (pp. 315-322). Champaign, USA.
- Liu, Q., Hay, J. G., & Andrews, J. G. (1993). Body roll and handpath in freestyle swimming: an experimental study. *Journal of Applied Biomechanics*, 9(3), 238-253.
- Llana, S., Pérez, P., & Tella, V. (2004). Bañadores de última generación, ¿Disminuyen la resistencia hidrodinámica? *III*

VII. Bibliografía

Congreso De La Asociación Española De Ciencias Del Deporte,
Valencia, SPA. 166-171.

Llop, F., Arellano, R., González, C. S., Navarro, F., & García, J. M. (2002). Variaciones en la técnica de crol durante el nado resistido con paracaídas. *Motricidad*, 8, 7-20.

Llop, F., Tella, V., Colado, J. C., Diaz, G., & Navarro, F. (2006). Evolution of butterfly technique when resisted swimming with parachute using different resistances. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(2), 302-304.

Loetz, C., Reischle, K., & Schmitt, G. (1988). The evaluation of highly skilled swimmers via quantitative and qualitative analysis. En B. E. Ungerechts, K. Wilke & K. Reischle (Eds.), *Swimming Science V* (pp. 361-367). Champaign, USA.

López, G., Gutiérrez, M., & Arellano, R. (2002). Upper extremity kinematics during different breathing pattern and selected stroke drills in front crawl swimming. En K. E. Gianikellis (Ed.), *20 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 48-51). Cáceres, ESP.

Lukášek, M. (1999). Swimming velocity determination by crucial points of swimming technique. *Gymnica*, 29(2), 27-30.

Madera, J., González, L. M., García Massó, X., Benavent, J., Colado, J. C., & Tella, V. (2010). Different frequential acceleration spectrums in front crawl. En P. L. Kjendlie, R. K. Stallman & J. Cabri (Eds.), *XI International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 119-122). Oslo, NOR.

Magel, J. R. (1970). Propelling force measured during tethered swimming in the four competitive swimming styles. *Research Quarterly*, 41(1), 68-74.

VII. Bibliografía

- Maglischo, C. W., Maglischo, E. W., & Santos, T. R. (1987). The relationship between the forward velocity of the center of gravity and the forward velocity of the hip in the four competitive strokes. *Journal of Swimming Research*, 3(2), 11-17.
- Maglischo, C. W., Maglischo, E. W., Sharp, R. L., Zier, D. J., & Katz, A. (1984). Tethered and nontethered crawl swimming. En J. Terauds, K. M. Barthels, E. Kreighbaum, R. Mann & J. Crakes (Eds.), *2 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 163-176). Colorado Springs, USA.
- Maglischo, E. W. (1982). *Swimming faster: a comprehensive guide to the science of swimming*. Mountain View, USA: Mayfield.
- Maglischo, E. W. (1993). *Swimming even faster* (2nd ed.). Mountain View, USA: Mayfield Pub. Co.
- Maglischo, E. W. (2003). *Swimming fastest* (5th ed.). Champaign, USA: Human Kinetics Publishers.
- Manley, P. K., & Atha, J. (1992). Intra-stroke velocity fluctuations in paced breaststroke swimming. En D. P. MacLaren, T. Reilly & A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp. 151-159). London, UK.
- Marques, C., Ribeiro-Martins, M., Moreira, A., & Silva, A. (2006). Chronometric parameters analysis of national and world swimming competition events. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(1), 100-101.
- Martins-Silva, A., & Alves, F. (2000). Determinant factors related to variation in butterfly velocity. En Y. Hong, D. P. Johns & R. H. Sanders (Eds.), *18 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 73-74). Hong Kong, CHN.
- Martins-Silva, A., Alves, F., & Gomes-Pereira, J. (1997). Fatigue related technical changes in 3-D directional components of

VII. Bibliografía

hand velocity in butterfly swimming during a 200 m maximum trial: a pilot study. En B. O. Eriksson & L. Gullstrand (Eds.), *Proceedings of the XII FINA World Congress on Sports Medicine* (pp. 463-467). Göteborg, SWE.

Martins-Silva, A., Alves, F., & Gomes-Pereira, J. (1999). Determinant factors in a 200 m butterfly swim as related to the fluctuation in horizontal velocity of the body centre of gravity. En K. L. Keskinen, P. V. Komi & A. P. Hollander (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (pp. 21-24). Jyväskylä, FIN.

Mason, B. R., & Cossor, J. (2000). What can we learn from competition analysis at the 1999 pan pacific swimming championships? En Y. Hong, D. P. Johns & R. H. Sanders (Eds.), *18 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 75-82).

Mason, B. R., Tong, Z., & Richards, R. (1992). Propulsion in the butterfly stroke. En D. P. MacLaren, T. Reilly & A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp. 81-86). London, UK.

Mathie, M. J., Coster, A. C. F., Lovell, N. H., & Celler, B. G. (2004). Accelerometry: providing an integrated, practical method for long-term, ambulatory monitoring of human movement. *Physiological Measurement*, 25(2), R1-20.

Mazza, J. C., Alarcón, N., Galasso, C., Bermudez, C., Cosolito, P., & Gribaudo, G. (1991). Proporcionalidad y antropométrica fracción de masa corporal en nadadores sudamericanos. En J. M. Cameron (Ed.), *Aquatic sports medicine* (pp. 230-244). London, UK: Farrand Press.

McElroy, K., & Blanksby, B. A. (1976). Intra-cycle velocity fluctuations of highly skilled breaststroke swimmers. *Australian Journal of Physical Education and Recreation*, 71, 25-34.

VII. Bibliografía

- McGrain, P., Rose, D., & Davison, R. (1984). Temporal analysis of competitive male swimmers. En J. Terauds, K. M. Barthels, E. Kreighbaum, R. Mann & J. Crakes (Eds.), *2 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 149-160). Colorado Springs, USA.
- McLean, S. P., & Hinrichs, R. N. (1998). Sex differences in the centre of buoyancy location of competitive swimmers. *Journal of Sports Sciences*, *16*(4), 373-383.
- McMurray, R. G., DeSelm, R. L., & Johnston, L. F. (1990). The use of arm stroke index to indicate improvement in swimming training during a competitive season. *Journal of Swimming Research*, *6*(2), 10-15.
- Menz, H. B., Lord, S. R., & Fitzpatrick, R. C. (2003). Acceleration patterns of the head and pelvis when walking on level and irregular surfaces. *Gait and Posture*, *18*(1), 35-46.
- Mercadé, J. J., Arellano, R., & Soto, V. M. (2002). Modificaciones de curva velocidad-tiempo de la cadera en el estilo braza a distintas velocidades de nado. *Biomecánica*, *10*(2), 105-110.
- Miller, D. I. (1975). Biomechanics of swimming. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *3*(1), 219-248.
- Miwa, T., Matsuuchi, K., Shintani, H., Kamata, E., & Nomura, T. (2006). Unsteady flow measurement of dolphin kicking wake in sagittal plane using 2C-PIV. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, *6*(2), 64-66.
- Miyashita, M. (1971). An analysis of fluctuations of swimming speed. En L. Lewillie & J. P. Clarys (Eds.), *Biomechanics in Swimming* (pp. 53-58). Bruxelles, BEL.
- Miyashita, M. (1974). Method of calculating mechanical power in swimming the breaststroke. *Research Quarterly*, *45*(2), 128-137.

VII. Bibliografía

- Miyashita, M. (1997). *The bio-physics of swimming: three decades of research* (1st ed.). Tokyo, JAP: Graduate School of Education, University of Tokyo.
- Miyashita, M. (1999). Biomechanics of Swimming: past, present and future studies. En K. L. Keskinen, P. V. Komi & A. P. Hollander (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (pp. 1-8). Jyväskylä, FIN.
- Morales, E. (2006). *Estudio de la evolución de las características antropométricas, condicionales y técnicas de nadadores andaluces de grupos de edad*. Tesis doctoral. (Universidad de Granada).
- Morales, E., Arellano, R., Femia, P., & Mercadé, J. J. (2010). Regression analysis model applied to age-group swimmers: study of stroke rate, stroke length and stroke index. En P. L. Kjendlie, R. K. Stallman & J. Cabri (Eds.), *XI International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 127-129). Oslo, NOR.
- Morouço, P. (2009). *Force production in tethered swimming and its relationship with performance. A new approach to evaluate the anaerobic capacity of swimmers?* Tesis doctoral. (University of Porto, Faculty of Sport).
- Morouço, P., Keskinen, K. L., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2011). Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(2), 161-169.
- Morouço, P., Lima, A. B., Semblano, P., Fernandes, D., Gonçalves, P., Sousa, F., . . . Vilas-Boas, J. P. (2006). Validation of a cable speedometer for butterfly evaluation. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(2), 236-239.

VII. Bibliografía

- Morouço, P., Lima, A. B., & Vilas-Boas, J. P. (2005). Medição das variações intracíclicas de velocidade de um nadador na técnica de mariposa. En J. A. Simões, H. C. Rodrigues, M. A. Vaz & A. P. Veloso (Eds.), *Livro De Resumos do Encontro Biomecânica* (pp. 209-213). Martinchel, POR.
- Navarro, F. (1996). *Relación de la concentración de lactato en sangre con los parámetros cinemáticos en nadadores de alto rendimiento*. Tesis doctoral. (E.T.S. De Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid).
- Nomura, T., & Shimoyama, Y. (2003). The relationship between stroke parameters and physiological responses at the various swim speeds. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 355-360). St. Etienne, FRA.
- Ohgi, Y. (2002). Microcomputer-based acceleration sensor device for sports biomechanics-stroke evaluation by using swimmer's wrist acceleration. En IEEE (Ed.), *Sensors, 2002. Proceedings of IEEE* (pp. 699-704). Orlando, USA.
- Ohgi, Y., & Ichikawa, H. (2002). Microcomputer-based data logging device for accelerometry in swimming. *The Engineering of Sport*, 4, 699-704.
- Ohgi, Y., Yasumura, M., Ichikawa, H., & Miyaji, C. (2000). Analysis of stroke technique using acceleration sensor IC in freestyle swimming. En A. J. Subic, & S. J. Haake (Eds.), *The Engineering of Sport: Research, Development and Innovation*(pp. 503-511). Oxford, UK: Blackwell Science.
- Ohgi, Y., Yasumura, M., Ichikawa, H., & Miyaji, C. (2002). Analysis of stroke technique using acceleration sensor IC in freestyle swimming. *Engineering of Sport*, 7, 503-511.

VII. Bibliografia

- Pai, Y. C., Hay, J. G., Wilson, B. D., & Thayer, A. L. (1984). Stroking techniques of elite swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 2(3), 225-239.
- Parsons, L., & Day, S. J. (1986). Do wet suits affect swimming speed? *British Journal of Sports Medicine*, 20(3), 129-131.
- Payton, C. J., Bartlett, R. M., & Baltzopoulos, V. (1999). The contribution of body roll to hand speed in front crawl swimming-an experimental study. En K. L. Keskinen, P. V. Komi & A. P. Hollander (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (pp. 65-70). Jyväskylä, FIN.
- Payton, C. J., Bartlett, R. M., Baltzopoulos, V., & Coombs, R. (1999). Upper extremity kinematics and body roll during preferred-side breathing and breath-holding front crawl swimming. *Journal of Sports Sciences*, 17(9), 689-696.
- Payton, C. J., Hay, J. G., & Mullineaux, D. R. (1997). The effect of body roll on hand speed and hand path in front crawl swimming-A simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(3), 300-315.
- Payton, C. J., & Wilcox, C. (2006). Intra-cyclic speed fluctuations of uni-lateral arm amputee front crawl swimmers. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(2), 73-75.
- Pedersen, T., & Kjendlie, P. L. (2006). The effect of the breathing action on velocity in front crawl sprinting. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(1), 75-79.
- Pelarigo, J. G., Figueira, T. R., Perandini, L. A. B., Denadai, B. S., & Greco, C. C. (2007). Technical indexes corresponding to the critical speed and the maximal speed of 30 minutes in swimmers with different aerobic performance levels. *Revista Brasileira De Medicina do Esporte*, 13(3), 148-152.

VII. Bibliografía

- Pelayo, P., Sidney, M., Kherif, T., Chollet, D., & Tourny, C. (1996). Stroking characteristics in freestyle swimming and relationships with anthropometric characteristics. *Journal of Applied Biomechanics*, 12(2), 197-206.
- Pelayo, P., Sidney, M., Weissland, T., Carpentier, C., & Kherif, T. (1995). Variations de la fréquence de nage spontanée en natation. *Congrès ACAPS 6 à Pointe à Pitre, Guadeloupe, GUY*. 113-114.
- Pelayo, P., Wille, F., Sidney, M., Berthoin, S., & Lavoie, J. M. (1997). Swimming performances and stroking parameters in non skilled grammar school pupils: relation with age, gender and some anthropometric characteristics. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 37(3), 187-193.
- Pelham, T. W., Robinson, M. G., & Holt, L. E. (2006). Assessing human movement with accelerometry. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 27(1), 21-28.
- Pendergast, D. R., Di Prampero, P. E., Craig JR, A. B., Wilson, D. R., & Rennie, D. W. (1977). Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *Journal of Applied Physiology*, 43(3), 475-479.
- Pérez-Soriano, P., & Llana, S. (2007). Evaluación y asesoramiento biomecánico para la mejora de la técnica. In S. Llana, & P. Pérez-Soriano (Eds.), *Natación y Actividades Acuáticas* (1ª ed., pp. 185-200). Valencia, SPA: Marfil.
- Persyn, U., & Colman, V. (1989). Suivi informatique de la technique de nage. *Actes of Third Colloque of the Association Reflexion Natation*, Canet, FRA.
- Persyn, U., & Colman, V. (1997). Flow visualisation and propulsion in undulated swimming techniques. Anonymous *Técnicas*

VII. Bibliografia

Simultaneas e Ondulatorias: Desafios Contemporaneos En Natacao Porto, POR.

- Persyn, U., Colman, V., & Ungerechts, B. (2000). Diagnosis and advice in the undulating strokes requires information on global body flexibility and upper limb strength. Anonymous *18 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 88-95). Hong Kong, CHN.
- Persyn, U., Vervaecke, H., & Verhetsel, D. (1983). Factors influencing stroke mechanics and speed in swimming the butterfly. En H. M. Matsui & K. Kobayashi (Eds.), *Biomechanics VIII-B* (pp. 833-841). Human Kinetics, Champaign, USA.
- Peyrebrune, M., Robinson, J., Lakomy, H., & Nevell, M. (2003). Effects of controlled frequency breathing on maximal tethered swimming performance. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 289-294). St. Etienne, FRA.
- Pollock, D. S. G. (1999). *A handbook of time-series analysis, signal processing and dynamics* (1st ed.). London, UK: Academic Press.
- Potdevin, F., Delignieres, D., Dekerle, J., Albery, M., Sidney, M., & Pelayo, P. (2003). Does stroke rate determine swimming velocity values and coordination? En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 163-167). St. Etienne, FRA.
- Psycharakis, S. G., & McCabe, C. (2011). Shoulder and hip roll differences between breathing and non-breathing conditions in front crawl swimming. *Journal of Biomechanics*, *44*(9), 1752-1756.
- Psycharakis, S. G., Naemi, R., Connaboy, C., McCabe, C., & Sanders, R. H. (2010). Three-dimensional analysis of intracycle

VII. Bibliografía

- velocity fluctuations in frontcrawl swimming. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(1), 128-135.
- Psycharakis, S. G., & Sanders, R. H. (2009). Validity of the use of a fixed point for intracycle velocity calculations in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(2), 262-265.
- Reischle, K. (1993). *Biomecánica de la natación* (1ª ed.). Madrid, SPA: Gymnos.
- Reischle, K., Gaisser, G., & Vollers, B. (1981). A kinematic analysis of intra-cycle speed fluctuations and movement patterns in swimming using chronocyclographic LED drivers. En A. Morecki, K. Fidelus, K. Kedzior & A. Wit (Eds.), *Biomechanics VII-B* (pp. 460-464). Warszawa, PWN-Polish Scientific Publishers and University Press, Baltimore.
- Richardson, A. B. (1986). The biomechanics of swimming: the shoulder and knee. *Clinics in Sport Medicine*, 5(1), 103-113.
- Richardson, A. B., Jobe, F. W., & Collins, H. R. (1980). The shoulder in competitive swimming. *The American Journal of Sports Medicine*, 8(3), 159-163.
- Roberts, B. S., Kamel, K. S., Hedrick, C. E., McLean, S. P., & Sharp, R. L. (2003). Effect of Fastskin suit on submaximal freestyle swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(3), 519-524.
- Rouboa, A., Silva, A., Leal, L., Rocha, J., & Alves, F. (2006). The effect of swimmer's hand/forearm acceleration on propulsive forces generation using computational fluid dynamics. *Journal of Biomechanics*, 39(7), 1239-1248.
- Sánchez-Molina, J. A. (1999). *Análisis de la actividad competitiva en natación: Diferencias en función de la longitud del vaso, el nivel de ejecución, el sexo, el estilo y la distancia de la prueba*. Tesis doctoral. (Universidad de Granada).

VII. Bibliografía

- Sánchez-Molina, J. A., & Arellano, R. (2002). Stroke index values according to level, gender, swimming style and event race distance. En K. E. Gianikellis (Ed.), *20 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 56-59). Cáceres, SPA.
- Sánchez-Molina, J. A., & Maañón, R. (2007). Sistemas de registro de parámetros cinemáticos intracíclicos en el nado: el acelerómetro. In S. Llana, & P. Pérez (Eds.), *Natación y Actividades Acuáticas* (1ª ed., pp. 211-223). Valencia, SPA: Marfil.
- Sanders, R. H. (1996). Some aspects of butterfly technique of New Zealand Pan Pacific squad swimmers. En J. P. Troup, A. P. Hollander, D. Strasse, S. W. Trappe, J. M. Cappaert & T. A. Trappe (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VII* (pp. 23-28). London, UK.
- Sanders, R. H. (1999). Mid-pool technique analysis: An alternative to the stroke length/stroke frequency approach. En F. H. Fu, E. P. Chien & P. K. Chung (Eds.), *Proceedings of the XIII FINA World Sports Medicine Congress: Aquatic Sports Medicine for the New Century* (pp. 83-96). Hong Kong, CHN.
- Sanders, R. H., Cappaert, J. M., & Devlin, R. K. (1995). Wave characteristics of butterfly swimming. *Journal of Biomechanics*, *28*(1), 9-16.
- Sanders, R. H., Rushall, B., Toussaint, H., Stager, J., & Takagi, H. (2001). Bodysuit yourself: but first think about it. *American Swimming Magazine*, *5*, 23-32.
- Santos, M. (2009). *Relação do índice de coordenação com as flutuações intracíclicas de velocidade num teste a velocidade constante até à exaustão, nas técnicas de costas, bruços e mariposa*. Seminário do 5º ano da licenciatura em Desporto e Educação Física. Porto, POR.

VII. Bibliografia

- Schleihauf, R. E. (1979). A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. En J. Terauds & E. W. Bedingfield (Eds.), *Swimming III* (pp. 70-109). Baltimore, USA.
- Schleihauf, R. E. (1982). 3-D computer stroke analysis. *Swimming Technique*, 19(2), 20-25.
- Schleihauf, R. E., Higgins, J. R., Hinrichs, R. N., Luedtke, D., Maglischo, C. W., Maglischo, E. W., & Thayer, A. (1988). Propulsive techniques: front crawl stroke, butterfly, backstroke, and breaststroke. En B. E. Ungerechts, K. Wilke & K. Reischle (Eds.), *Swimming Science V* (pp. 53-59). Champaign, USA.
- Schnitzler, C., Ernwein, V., Seifert, L., & Chollet, D. (2006a). Intracyclic velocity signal as a tool to evaluate propulsive phase duration. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(1), 88-90.
- Schnitzler, C., Ernwein, V., Seifert, L., & Chollet, D. (2006b). Use of index of coordination to assess optimal adaptation: a case study. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(2), 257-259.
- Schnitzler, C., Seifert, L., Alberty, M., & Chollet, D. (2010). Hip Velocity and Arm Coordination in Front Crawl Swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 31(12), 875-881.
- Schnitzler, C., Seifert, L., Ernwein, V., & Chollet, D. (2008). Arm coordination adaptations assessment in swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 29(6), 480-486.
- Seifert, L., Boulesteix, L., & Chollet, D. (2004). Effect of gender on the adaptation of arm coordination in front crawl. *International Journal of Sports Medicine*, 25(3), 217-223.
- Seifert, L., Boulesteix, L., Chollet, D., & Vilas-Boas, J. P. (2008). Differences in spatial-temporal parameters and arm-leg

VII. Bibliografia

coordination in butterfly stroke as a function of race pace, skill and gender. *Human Movement Science*, 27(1), 96-111.

Seifert, L., & Chollet, D. (2005). A new index of flat breaststroke propulsion: A comparison of elite men and women. *Journal of Sports Sciences*, 23(3), 309-320.

Seifert, L., & Chollet, D. (2008). Inter-limb coordination and constraints in swimming: a review. En N. P. Beaulieu (Ed.), *Physical activity and children: new research* 1st ed., (pp. 65-93) Nova Biomedical.

Seifert, L., Chollet, D., & Bardy, B. G. (2004). Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl: a dynamic analysis. *Journal of Sports Sciences*, 22(7), 651-660.

Seifert, L., Chollet, D., & Chatard, J. C. (2007). Kinematic changes during a 100-m front crawl: effects of performance level and gender. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(10), 1784-1793.

Seifert, L., Chollet, D., & Rouard, A. (2007). Swimming constraints and arm coordination. *Human Movement Science*, 26(1), 68-86.

Seifert, L., Delignieres, D., Boulesteix, L., & Chollet, D. (2007). Effect of expertise on butterfly stroke coordination. *Journal of Sports Sciences*, 25(2), 131-141.

Seifert, L., Toussaint, H., Schnitzler, C., Alberty, M., Chavallard, F., Lemaitre, F., . . . Chollet, D. (2008). Effect of velocity increase on arm coordination, active drag and intra-cyclic velocity variations in front crawl. En T. Nomura & B. Ungerechts (Eds.), *The Book of Proceedings of the 1st International Scientific Conference of Aquatic Space Activities* (pp. 254-259). Tsukuba, JAP.

VII. Bibliografía

- Shahbazi, M. M., Mohammad, R. B., & Hojjat, S. (2008). A mechanical method for finding correlations between drag force and human anthropometrical measures in water. *European Journal of Scientific Research*, 22(1), 129-139.
- Sharp, R. L., Hackney, A. C., Cain, S. M., & Ness, R. J. (1988). The effect of shaving body hair on the physiological cost of freestyle swimming. *Journal of Swimming Research*, 4(1), 9-13.
- Sharp, R. L., Troup, J. P., & Costill, D. L. (1982). Relationship between power and sprint freestyle swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14(1), 53-56.
- Sidney, M., Delhaye, B., Baillon, M., & Pelayo, P. (1999). Stroke frequency evolution during 100-m and 200-m events front crawl swimming. En K. L. Keskinen, P. V. Komi & A. P. Hollander (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (pp. 71-76). Jyväskylä, FIN.
- Sidney, M., Paillette, S., Hespel, J. M., Chollet, D., & Pelayo, P. (2001). Effect of swim paddles on the intra-cyclic velocity variations and on the arm coordination of front crawl stroke. En J. R. Blackwell & R. H. Sanders (Eds.), *19 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 39-42). San Francisco, USA.
- Silva, A., Colman, V., Soons, B., Alves, F., & Persyn, U. (2003). Performance relevant time-space variables for breaststroke: sex differentiation and whole group. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 295-300). St. Etienne, FRA.
- Silva, J. (1999). Velocity, stroke rate, stroke length and stroke index values of a female swimming team during a short course competitive season. En K. L. Keskinen, P. V. Komi & A. P.

VII. Bibliografía

- Hollander (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (pp. 449-451). Jyväskylä, FIN.
- Slawson, S. E., Justham, L. M., West, A. A., Conway, P. P., Caine, M. P., & Harrison, R. (2008). Accelerometer profile recognition of swimming strokes. *The Engineering of Sport 7*, 81-87.
- Smith, D. J., Norris, S. R., & Hogg, J. M. (2002). Performance evaluation of swimmers: scientific tools. *Sports Medicine*, 32(9), 539-554.
- Soares, S., Machado, L., Lima, A. B., Santos, I., Fernandes, R., Correia, M., . . . Vilas-Boas, J. P. (2006). Velocimetric characterization of a 30 sec maximal test in swimming: consequences for bioenergetical evaluation. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(2), 265-268.
- Stager, J. M., Cordain, L., & Becker, T. J. (1984). Relationship of body composition to swimming performance in female swimmers. *Journal of Swimming Research*, 1, 21-26.
- Stefani, R. T. (2006). The relative power output and relative lean body mass of World and Olympic male and female champions with implications for gender equity. *Journal of Sports Sciences*, 24(12), 1329-1339.
- Takagi, H., Sugimoto, S., Nishijima, N., & Wilson, B. (2004). Differences in stroke phases, arm-leg coordination and velocity fluctuation due to event, gender and performance level in breaststroke. *Sports Biomechanics*, 3(1), 15-27.
- Takagi, H., & Wilson, B. (1999). Calculating hydrodynamic force by using pressure differences in swimming. En K. L. Keskinen, P. V. Komi & A. P. Hollander (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (pp. 101-106). Jyväskylä, FIN.
- Takamoto, M., Ohmichi, H., & Miyashita, M. (1985). Wave height in relation to swimming velocity and proficiency in front crawl

VII. Bibliografía

- stroke. En D. A. Winter, R. W. Norman, R. P. Wells, K. C. Hayes, & A. E. Patla (Eds.), *Biomechanics IX-B* (pp. 486-491). Champaign, USA: Human Kinetics Publishers.
- Tella, V. (1998). *Modificaciones de variables cinemáticas y antropométricas en nadadores infantiles y juniors*. Tesis doctoral. (Universidad de Valencia).
- Tella, V., Jordá, J., Saavedra, J. M., Madera, J., Benavent, J., & Llana, S. (2006). Fatigue effects on intra-cycle speed in freestylers. En P. Hellard, M. Sidney, C. Fauguet & D. Lehénaff (Eds.), *First International Symposium Sciences and Practices in Swimming* (pp. 83-86). Paris, FRA.
- Tella, V., Llana, S., Madera, J., & Navarro, F. (2002). Evolution of anthropometric and kinematic parameters in young swimmers: a longitudinal study. En K. E. Gianikellis (Ed.), *20 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 64-67). Cáceres, SPA.
- Tella, V., Llana, S., Madera, J., & Navarro, F. (2003). Evolution of anthropometric and kinematic parameters in young breaststroke, backstroke and butterfly swimmers. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 433-438). St. Etienne, FRA.
- Tella, V., Llop, F., Jordá, J., Madera, J., & Benavent, J. (2006). Intracycle speed and coordination vs fatigue in swimming. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 6(2), 105-107.
- Tella, V., Madera, J., Colado, J. C., Mateu, J., García Massó, X., & González, L. M. (2010). A study about the 3D acceleration in front crawl and its relation with performance. En P. L. Kjendlie, R. K. Stallman & J. Cabri (Eds.), *XI International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 173-174). Oslo, NOR.

VII. Bibliografía

- Tella, V., Toca-Herrera, J. L., Gallach, J. E., Benavent, J., González, L. M., & Arellano, R. (2008). Effect of fatigue on the intra-cycle acceleration in front crawl swimming: A time-frequency analysis. *Journal of Biomechanics*, *41*(1), 86-92.
- Termin, B., & Pendergast, D. R. (2000). Training using the stroke frequency-velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms. *Journal of Swimming Research*, *14*, 9-17.
- Thayer, A. L., & Hay, J. G. (1984). Motivating start and turn improvement. *Swimming Technique*, *20*(4), 17-20.
- Thompson, K. G., & Haljand, R. (1997). The secrets of competitive breaststroke swimming. *Swimming Times*, Nov, 26-28.
- Thompson, K. G., Haljand, R., & MacLaren, D. P. (2000). An analysis of selected kinematic variables in national and elite male and female 100-m and 200-m breaststroke swimmers. *Journal of Sports Sciences*, *18*(6), 421-431.
- Tittel, K., & Wutscherk, H. (1972). *Sportanthropometrie* (1. ed.). Leipzig, GER: Johann Ambrosius Barth.
- Togashi, T., & Nomura, T. (1992). A biomechanical analysis of the novice swimmer using the butterfly stroke. En D. P. MacLaren, T. Reilly & A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp. 87-90). London, UK.
- Tourny, C., Chollet, D., Micallef, J. P., & Macabies, J. (1992). Comparative analysis of studies of speed variations within a breaststroke cycle. En D. P. MacLaren, T. Reilly & A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp. 161-166). London, UK.
- Toussaint, H. M. (1992). Performance determining factors in front crawl swimming. En D. P. MacLaren, T. Reilly & A. Lees (Eds.),

VII. Bibliografía

Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI (pp. 13-32). London, UK.

Toussaint, H. M. (2002). Biomechanics of propulsion and drag in front crawl swimming. En K. E. Gianikellis (Ed.), *20 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 13-22). Cáceres, SPA.

Toussaint, H. M., Beelen, A., Rodenburg, A., Sargeant, A. J., de Groot, G., Hollander, A. P., & Van Ingen Schenau, G. J. (1988). Propelling efficiency of front-crawl swimming. *Journal of Applied Physiology*, *65*(6), 2506-2512.

Toussaint, H. M., Hollander, A. P., de Groot, G., Van Ingen Schenau, G. J., Vervon, K., De Best, H., . . . Schreurs, W. (1988). Measurement of efficiency in swimming man. En B. E. Ungerechts, J. Wilke & K. Reischle (Eds.), *Swimming Science V* (pp. 45-52). Champaign, USA.

Toussaint, H. M., Hollander, A. P., Van den Berg, C., & Vorontsov, A. R. (2000). Biomechanics of swimming. En W. E. Garrett, & D. J. Kirkendall (Eds.), *Exercise and Sport Science* (pp. 639-660). Philadelphia, USA: Lippincott, Williams & Wilkins.

Toussaint, H. M., Janssen, T., & Kluft, M. (1991). Effect of propelling surface size on the mechanics and energetics of front crawl swimming. *Journal of Biomechanics*, *24*(3-4), 205-211.

Toussaint, H. M., Knops, W., De Groot, G., & Hollander, A. P. (1990). The mechanical efficiency of front crawl swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *22*(3), 402-408.

Toussaint, H. M., & Truijens, M. (2005). Biomechanical aspects of peak performance in human swimming. *Animal Biology*, *55*(1), 17-40.

VII. Bibliografía

- Toussaint, H. M., Truijens, M., Elzinga, M. J., Van De Ven, A., De Best, H., Snabel, B., & Groot, G. (2002). Effect of a Fast-Skin 'Body' Suit on drag during front crawl swimming. *Sport Biomechanics*, 1, 1-10.
- Toussaint, H. M., Van Der Helm, F. C. T., Elzerman, J. R., Hollander, A. P., De Groot, G., & Van Ingen Schenau, G. J. (1983). A power balance applied to swimming. En A. P. Hollander, P. A. Huijing & G. De Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IV* (pp. 165-172). Champaign, USA.
- Toussaint, H. M., van Stralen, M., & Stevens, E. (2002). Wave drag in front crawl swimming. En K. E. Gianikellis (Ed.), *20 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 279-282). Cáceres, SPA.
- Ungerechts, B. E. (1983). The validity of the Reynolds number for swimming bodies which change form periodically. En A. P. Hollander, P. Huijing, & G. De Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IV* (pp. 81-88). Champaign, USA: Human Kinetics.
- Ungerechts, B. E. (1988). The relation of peak body acceleration to phases of movements in swimming. En B. E. Ungerechts, J. Wilke & K. Reischle (Eds.), *Swimming Science V* (pp. 61-66). Champaign, USA.
- Ungerechts, B. E. (1992). The interrelation of hydrodynamic forces and swimming speed in breaststroke. En D. P. MacLaren, T. Reilly & A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp. 69-73). London, UK.
- Ungerechts, B. E., Buckwitz, R., & Bähr, H. (2003). Principles of non-stationary swimming - A preliminary attempt. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 45-49). St. Etienne, FRA.

VII. Bibliografía

- Vannozzi, G., Donati, M., Gatta, G., & Cappozzo, A. (2010). Analysis of swim turning, underwater gliding and stroke resumption phases in top division swimmers using a wearable inertial sensor device. En P. L. Kjendlie, R. K. Stallman & J. Cabri (Eds.), *XI International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 178-180). Oslo, NOR.
- Vennell, R., Pease, D. L., & Wilson, B. (2006). Wave drag on human swimmers. *Journal of Biomechanics*, *39*(4), 664-671.
- Vervaecke, H., & Persyn, U. (1981). Some differences between men and women in various factors which determine performance. En J. Borms, M. Hebbelinck, & A. Venerando (Eds.), *The female athlete* (pp. 150-156). Basel, SWI: Karger.
- Vezos, N., Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Christoforidis, C., & Mavromatis, G. (2007). Underwater stroke kinematics during breathing and breath-holding front crawl swimming. *Journal of Sports Science and Medicine*, *6*(Dic), 58-62.
- Vilas-Boas, J. P. (1992). A photo—optical method for the acquisition of biomechanical data in swimmers. En R. Rodano, G. Ferrigno & G. C. Santambrogio (Eds.), *10 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 142-145). Milan, ITA.
- Vilas-Boas, J. P. (1996). Speed fluctuations and energy cost of different breaststroke techniques. En J. P. Troup, A. P. Hollander, D. Strasse, S. W. Trappe, J. Cappaert & T. A. Trappe (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VII* (pp. 167-171). London, UK.
- Vilas-Boas, J. P. (1997). Estado actual da investigação científica sobre técnica desportiva em natação. En A.E.T.N. (Ed.), *17º Congreso Da Asociacion Española De Técnicos De Natación y 4ª Congreso Ibérico* (pp. 1-44). Camargo, ESP.

VII. Bibliografía

- Vilas-Boas, J. P. (2001). A importância da depilação no rendimento desportivo em natação. *Revista Portuguesa De Ciências do Desporto*, 1(2), 65-72.
- Vorontsov, A. R., & Bevevsky, D. (2003). Swimming Speed, Stroke Rate and Stroke Length During Maximal 100 m Freestyle of Boys 11-16 Years of Age. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 195-200). St. Etienne, FRA.
- Vorontsov, A. R., & Rummyantsev, V. A. (2000). Resistive forces in swimming. En M. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention* 1st ed., (pp. 184-204). Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.
- Wakayoshi, K., Nomura, T., Takahashi, G., Mutoh, Y., & Miyashita, E. (1992). Analysis of swimming races in the 1989 pan pacific swimming championships and 1988 japanese olimpic trials. En D. P. MacLaren, T. Reilly & A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp. 135-141). London, UK.
- Wakayoshi, K., Yoshida, T., Ikuta, Y., Mutoh, Y., & Miyashita, M. (1993). Adaptations to six months of aerobic swim training, changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate. *International Journal of Sports Medicine*, 14(7), 368-372.
- Wilson, B., & Thorp, R. (2003). Active drag in swimming. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 15-20). St. Etienne, FRA.
- Wirtz, W., Wilke, K., & Zimmermann, F. (1992). Velocity, distance per stroke and stroke frequency of highly skilled swimmers in 50 m freestyle sprint in a 50 and 25 m pool. En D. P. MacLaren, T. Reilly & A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp. 131-134). London, UK.

VII. Bibliografía

- Wright, B. V., Hinman, M. G., & Stager, J. M. (2010). Accelerometry as a means of quantifying training distance and speed in competitive swimmers. En P. L. Kjendlie, R. K. Stallman & J. Cabri (Eds.), *XI International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 305-307). Oslo, NOR.
- Xu-Hong, L., & Hong-Hui, Y. (2006). Comparison of some biomechanic parameters of breaststroke swimming in flume and swimming pool. En H. Schwameder, G. Strutzenberger, V. Fastenbauer, S. Lindinger & E. Müller (Eds.), *24 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 254-257). Salzburg, AUT.
- Yeater, R. A., Martin, R. B., White, M. K., & Gilson, K. H. (1981). Tethered swimming forces in the crawl, breast and back strokes and their relationship to competitive performance. *Journal of Biomechanics*, *14*(8), 527-537.
- Zamparo, P. (2006). Effects of age and gender on the propelling efficiency of the arm stroke. *European Journal of Applied Physiology*, *97*(1), 52-58.
- Zamparo, P., Lazzer, S., Antoniazzi, C., Cedolin, S., Avon, R., & Lesa, C. (2008). The interplay between propelling efficiency, hydrodynamic position and energy cost of front crawl in 8 to 19-year-old swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, *104*(4), 689-699.

