

Monograph

Variabilidad en los Parámetros Coordinativos al Ritmo de una Prueba de Crol de 400

Christophe Schnitzler^{1,2}, Ludovic Seifert¹ y Didier Chollet¹¹C.E.T.A.P.S. Laboratory UPRES EA 3832: University of Rouen, Faculty of Sports Sciences, France.²Laboratory EA 1342, Marc Bloch University of Strasbourg, Faculty of Sports Sciences, France.

RESUMEN

El presente estudio examinó la variabilidad de los parámetros fisiológicos, perceptuales, coordinativos y de la brazada en sujetos de ambos sexos durante varias pruebas de natación a la velocidad de una prueba de 400 metros estilo libre (crol). Doce nadadores de nivel nacional (6 hombres, 6 mujeres) nadaron 400 m a máxima velocidad. Posteriormente realizaron tres etapas adicionales (100, 200 y 300 m) al ritmo (velocidad) de las pruebas previas de 400 m. Se utilizaron tres cámaras para determinar los parámetros del ciclo de brazada [velocidad (V), largo de brazada (SL), frecuencia de brazada (SR)] y de la coordinación [índice de coordinación (IdC) y fases de la brazada]. Los parámetros fisiológicos [frecuencia cardíaca (HR) y lactato [La] y perceptuales [carga subjetiva de trabajo (TWL)] fueron evaluados después de cada prueba de nado. Los datos entre las pruebas indicaron que la HR, la [La] y el TWL se incrementaron significativamente con la distancia nadada ($p < 0.05$). La comparación entre pruebas no mostró una variación significativa del ciclo de brazada y de los parámetros de coordinación. Se examinaron los datos entre las vueltas dentro de cada prueba de 400 m observándose una reducción significativa de la V y del SL al inicio de la prueba ($p < 0.05$), mientras que el IdC y la SR se mantuvieron sin cambios ($p > 0.05$). De este modo, a pesar de los cambios en las respuestas fisiológicas y perceptuales consecutivas al incremento en la fatiga, los parámetros de coordinación se mantuvieron estables durante todas las pruebas máximas de 400 m estilo libre. La examinación de estos parámetros en pruebas de corta distancia parece ser válida, lo cual ofrece interesantes perspectivas para la evaluación en natación.

Palabras Clave: evaluación, control motor, biomecánicas, variabilidad, fatiga, natación competitiva

INTRODUCCION

La velocidad de nado (V , en $m \cdot s^{-1}$) es el producto de la frecuencia de brazada (SR, en Hz) y la longitud de brazada (SL, en m), expresado como $V = (SR \times SL)$ (Craig et al., 1979). Se asume que una gran capacidad técnica está asociada con una gran longitud de brazada (Chollet et al., 1997; Wakayoshi et al., 1993). No obstante, otros parámetros han sido asociados también con la capacidad técnica, tal como la coordinación entre brazos. Si bien Nikodelis et al. (2005), no observó relación alguna entre el nivel de rendimiento y la coordinación entre brazos, diferentes estudios que utilizaron el Índice de Coordinación (IdC) (Chollet et al., 2000), demostraron que este parámetro es un rasgo importante para el rendimiento. El IdC mide el intervalo de tiempo que separa las fases propulsivas entre los brazos. Para un determinado ritmo de nado, los mejores nadadores son capaces de maximizar el tiempo dedicado a cada fase propulsiva dentro del ciclo de nado, mostrando así un mayor IdC (Chollet et al., 2000) en comparación con nadadores menos experimentados. Además, el IdC

cambia con la velocidad (o ritmo). A ritmos lentos, los nadadores experimentados tienen una mayor fase de deslizamiento ($IdC < 0\%$), mientras que en ritmos rápidos, superponen las fases propulsivas ($IdC > 0\%$); en comparación, la coordinación entre brazos de un nadador no experimentado se mantiene en un modo de nivelación ($IdC < 0\%$) (Seifert et al., 2004). Así, los nadadores experimentados son capaces de incrementar el tiempo dedicado a la propulsión (y del IdC) eficientemente, ya que maximizan la longitud de la brazada en comparación con los nadadores menos experimentados (Seifert et al., 2007). De esta manera, independientemente del nivel de rendimiento, el IdC ha mostrado ser sensible a las características antropométricas, ya que las mujeres generalmente exhiben valores significativamente menores de IdC en comparación con los hombres (Seifert et al., 2004).

Durante una prueba de natación de máxima intensidad, los nadadores experimentados también están caracterizados por exhibir una mayor estabilidad de sus patrones coordinativos en comparación con otros nadadores. Alberty et al. (2005) y Seifert et al. (2007) demostraron que la velocidad y el SL se reducían, mientras que el IdC se incrementaba desde el inicio al final de pruebas de 100 m y 200 m en estilo libre llevadas a cabo a máxima velocidad. Estos cambios se atribuyeron a la fatiga. No obstante, Toussaint et al. (2006) y Chollet et al. (1997) demostraron que los mejores nadadores en pruebas de 100 m se caracterizan por exhibir menores reducciones en la V y en el SL. Los mejores nadadores también mostraron una mayor estabilidad en sus parámetros coordinativos (IdC y fases de brazada) (Seifert et al., 2007), pero esta estabilidad nunca ha sido demostrada para distancias mayores de 200 m, aunque Craig et al. (1985) observaron patrones ligeramente diferentes en el manejo de una carrera de natación en distancias medias. Por lo tanto, sería interesante examinar la estabilidad del ciclo de brazada y los parámetros de coordinación para distancias que involucran mayormente la vía aeróbica. Nomura et al. (1998) demostraron que este es el caso para distancias mayores a los 400 m. Más precisamente, Laffite et al. (2004) estimaron la contribución del sistema aeróbico era del $81.1 \pm 3.9\%$ del total de la energía, donde el total de la energía empleada es computada basado a las fuentes de energía láctica aeróbica y anaeróbica, ya que las fuentes alácticas son insignificantes (Barbosa et al., 2006).

En general, los rendimientos en tareas que requieren de habilidad están caracterizados por una baja variabilidad en los patrones (Bartlett et al., 2000; Davids et al., 2006). De acuerdo con Bates et al. (2004), la variabilidad hace referencia a las variaciones de una misma respuesta para un conjunto específico de condiciones. En natación, Alberty et al., (2006) demostraron que los tests máximos a tiempo, distancia y velocidad constantes fueron todos reproducibles. Sin embargo, estos autores sólo investigaron los parámetros de velocidad y tiempo. En efecto, poco se conoce sobre la variabilidad de los parámetros en natación. Pero esta cuestión es importante, ya que estos parámetros son medidos con frecuencia en pruebas de nado a ritmos de carrera simulados en distancias cortas. Por esta razón e debería verificar la suposición de la estabilidad de los parámetros del ciclo de brazada y de la coordinación, para asegurar la validez de las medidas.

El objetivo de este estudio fue determinar la variabilidad de los parámetros fisiológicos, perceptuales, de ciclo de brazada y de la coordinación en natación. Se hipotetizó que los parámetros del ciclo de brazada y coordinación en nadadores expertos, no variaría significativamente entre pruebas de distintas distancias nadadas al ritmo de 400 m o entre vueltas dentro de los 400 m nadados a máxima velocidad a pesar de incrementarse la fatiga con la distancia.

MÉTODOS

Sujetos

Doce nadadores expertos (6 hombres, 6 mujeres) que compiten a nivel nacional francés fueron voluntarios para este estudio. Los valores medios \pm DE para la edad, porcentaje de la velocidad del récord mundial de 400 m en piscina corta, tiempo en los 400 m (s), porcentaje del récord personal logrado durante el estudio, masa corporal (kg), talla (m) y envergadura (cm) fueron: 18.2 ± 2.2 años, $82.2 \pm 2.9\%$, 288 ± 11.1 s, $88.2 \pm 3.9\%$, 66.2 ± 9.9 kg, 1.77 ± 1.1 m, 184.3 ± 16.8 cm para los hombres y 18.7 ± 3.8 años, $82.1 \pm 2.9\%$, 308 ± 12 s, $88.1 \pm 3.9\%$, 54.5 ± 8.8 kg, 1.67 ± 0.04 m y 164.8 ± 8.2 cm para las mujeres.

El porcentaje del récord mundial (competición) fue tomado como un indicador del nivel de rendimiento. Para este estudio, este porcentaje se calculó en base al mejor tiempo competitivo de cada sujeto en el evento de 400 m de la temporada actual, en comparación con el tiempo del actual récord mundial en el evento de piscina corta (2007), y expresado como un porcentaje (%WR). El experimento se llevó a cabo durante una sesión de entrenamiento. El protocolo fue completamente explicado a los nadadores los cuales dieron su consentimiento informado para participar en este estudio, que fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad.

Pruebas de Nado

Para todas las pruebas, los nadadores realizaron una entrada en calor estandarizada bajo la supervisión de sus entrenadores. No se realizaron entrenamientos adicionales antes o después del experimento. Los nadadores realizaron una prueba de 400 m estilo libre a máxima velocidad en una piscina de 25 metros. Al día siguiente, llevaron a cabo pruebas de 100 m y 200 m con 20 minutos de recuperación activa entre las pruebas. Los sujetos fueron instruidos para realizar ejercicios de piernas y crol frontal de baja intensidad, los cuales fueron monitoreados por cada entrenador. Para asegurar que los sujetos habían descansado lo suficiente, se midió la concentración de lactato antes de la prueba de 200 m. Los sujetos fueron autorizados a nadar si estaban dentro del rango de los valores de reposo, i.e., entre 1 y 2.1 mmol·L⁻¹. Esto pareció ser adecuado en cada caso. Al día siguiente, nadaron 300 m a la misma velocidad. Para todas las pruebas la partida se llevó a cabo desde el agua (no desde los bloques). Para calcular la velocidad a la cual debían llevarse a cabo las pruebas de 100 m, 200 m, y 300 m, se calculó la velocidad promedio a partir de la prueba de 400 m. Para las pruebas de 100 m, 200 m y 300 m, un investigador dio a los nadadores una señal sonora cada 50 m para asegurar que sus velocidades se ajustaron a la velocidad promedio de los 400 m. El investigador hizo esto en referencia a una tabla de tiempo preparada para cada nadador, indicando el ritmo de tiempo por cada 50 m. Los nadadores tuvieron entonces que coordinar sus vueltas con la señal. Decidimos detener a los nadadores si transcurrían más de 2 segundos entre la señal y la vuelta. Esto tuvo lugar en dos ocasiones y los nadadores tuvieron que regresar al día siguiente para completar la prueba.

Análisis de Video

Las pruebas de nado fueron grabadas en por tres cámaras de video mini-dv (50 Hz, Sony DCRTRV6E, Tokyo, Japan). Dos cámaras fueron ubicadas bajo el agua en cajas especialmente diseñadas (Sony SPK-DVF3, Tokyo, Japan). La primera cámara, la cual grabó en el plano sagital, fue ubicada en el medio de la piscina. Un operador ubicado detrás de esta cámara subacuática siguió al nadador, filmando la prueba completa. La otra cámara subacuática estaba ubicada en el plano transversal, 20 cm debajo de la superficie del agua. Una tercer cámara grabó las pruebas de cada nadador con una vista de perfil desde arriba del agua. Se analizaron tres ciclos de brazada en cada tramo de 50 m. Como la cámara ubicada bajo el agua en vista lateral no se movía paralelamente al nadador, tomamos en consideración el ciclo de brazada durante el cual, el nadador estaba perpendicular a la cámara, el ciclo de brazada de nado previo y el ciclo de brazada posterior para corregir el efecto denominado *parallax*. Chollet et al. (2000) han mostrado que esta metodología es confiable, ya que el cálculo espacio temporal y los parámetros de coordinación se llevan a cabo en base al valor promedio de estos tres ciclos de brazada. Las tres cámaras fueron sincronizadas con el software *Dartfish* (Dartfish© ProSuite 4.0, 2005, Switzerland), siendo el punto de sincronización, la entrada de la mano en el agua.

Valores Fisiológicos

Durante y después de todas las pruebas, se midió la frecuencia cardiaca (HR) con un monitor Polar S810 (Polar, Kempele, Finland), y el sensor fue colocado en el pecho con una cinta especial utilizada en medicina (Elastoplaste HB, 2.5m × 6cm). El registro de los datos de la HR se llevó a cabo cada 5 s. La concentración de lactato capilar [La] fue medida en la yema del dedo a los 1, 3 y 5 minutos después de cada prueba con un analizador *LactatePro* (Accusport, Arkray, Tokyo). Para estos dos parámetros, se tuvieron en cuenta los valores pico.

Evaluación Subjetiva de la Carga de Trabajo

Inmediatamente después de que los sujetos abandonaron la piscina, después de cada prueba, los mismos se sentaron en una silla para completar el cuestionario NASA-TLX, para la valoración subjetiva de la carga de trabajo (Hart and Staveland, 1982), en su versión Francesa (Rubio et al., 2004). El cuestionario contiene seis sub-escalas que definen las diferentes dimensiones de la tarea: (i) demanda mental, (ii) demanda física, (iii) rendimiento propio, (iv) demanda temporal, (v) esfuerzo, y (vi) frustración. Se utilizaron métodos no ponderados, y la carga total de trabajo (TWL) fue el promedio de las seis sub-escalas, tal como lo realizado por Schnitzler et al. (2007).

Parámetros de Brazada

El video análisis permitió calcular la velocidad promedio cada 50 m (V50). El tiempo que llevó cubrir esta distancia fue medido a partir de la primera imagen registrada cuando el pie dejó la pared. El final de la prueba de nado fue tomado como el momento en que la mano del nadador tocó la pared. Todas las medidas fueron llevadas a cabo con una precisión de 0.02 segundos. La frecuencia de brazada (SR) fue calculada a partir de tres ciclos completos tomados en la mitad de la piscina cada 50 m y expresada en Hz. La longitud de brazada (SL) fue calculada a partir de los valores de V50 y SR ($SL = V \times SR$).

Fases de la Brazada y Coordinación

La brazada se dividió en cuatro fases distintas, similares a las presentadas en crol frontal a través del estudio de Chollet et al. (2000):

Fase A: Entrada y agarre de la mano en el agua, el cual corresponde al momento entre la entrada de la mano en el agua y el comienzo del movimiento hacia atrás de la brazada.

Fase B: Fase de tirón, el cual corresponde al momento entre el comienzo del movimiento de la mano hacia atrás y su entrada en plano vertical con respecto al hombro.

Fase C: Fase de empuje, la cual corresponde al momento entre el posicionamiento de la mano abajo del hombro y su salida fuera del agua. Las fases de tirón y empuje corresponden al tiempo de propulsión del brazo.

Fase D: Fase de recuperación, la cual se consideró que corresponde al momento entre la salida de la mano fuera del agua y su posterior entrada en ella.

La duración absoluta de estas fases de brazada fue medida para cada brazo a partir de tres ciclos completos de brazada. La duración de cada fase fue medida cada 50 m en todas las pruebas con una precisión de 0.02 segundos y fue expresada como un porcentaje de la duración de un ciclo completo de brazada. La suma de la duración de las fases de tirón y empuje fue considerada como el tiempo propulsivo del brazo (Ppr). La duración promedio de un ciclo completo de brazada fue la suma de las fases propulsiva y no propulsiva. El Índice de Coordinación (IdC) se calculó como el intervalo de tiempo entre la propulsión de los dos brazos y se expresó como un porcentaje de la duración del ciclo completo de brazada (Chollet et al., 2000). El IdC fue el promedio entre el IdC izquierdo y el IdC derecho:

$$IdC_{izquierdo} = [(Tiempo\ finalización\ de\ la\ fase\ C\ para\ el\ brazo\ izquierdo - Tiempo\ de\ comienzo\ de\ la\ fase\ B\ para\ el\ brazo\ derecho) \times 100] / Duración\ Completa\ del\ ciclo$$

$$IdC_{derecha} = [(Tiempo\ de\ finalización\ de\ la\ fase\ C\ para\ el\ brazo\ derecho - Tiempo\ de\ comienzo\ de\ la\ fase\ B\ para\ el\ brazo\ izquierdo) \times 100] / Duración\ Completa\ del\ ciclo.$$

Cada 50 m, se calculó un promedio del IdC cada tres ciclos completos de brazada. Así el IdC se calculó 8, 6, 4 y 2 veces para las pruebas de nado de 400 m, 300 m, 200 m y 100 m, respectivamente. El IdC se expresó como un porcentaje de la duración promedio del ciclo de brazada. Cuando hubo una demora entre las fases propulsivas de los dos brazos, la coordinación del ciclo de brazada fue denominada "recuperación" (IdC < 0). Cuando la fase propulsiva de un brazo comenzaba al momento en que el otro brazo finalizaba su fase propulsiva, la coordinación se llamó "oposición" (IdC = 0). Cuando las fases propulsivas de los dos brazos se superponían, la coordinación fue llamada "superposición" (IdC > 0).

Análisis Estadístico

Análisis Exploratorio

Los análisis estadísticos fueron realizados con el *software* Minitab 14 (Minitab Inc., State College, PA, USA, 2003). La normalidad de la distribución (Prueba de Ryan-Joiner, similar a Shapiro-Wilk) y la homogeneidad de la varianza entre poblaciones (Prueba de Bartlett) fueron revisadas para todos los parámetros lo que permitió la utilización de análisis paramétricos.

Comparación entre Pruebas

Los cambios fisiológicos (HR, [La]), perceptuales (TWL), del ciclo de la brazada (V50, SL, SR) y de la coordinación (IdC, A, B, C, D, Ppr) entre las pruebas de 100 m, 200 m, 300 m y 400 m fueron analizados mediante el análisis de varianza ANOVA de tres vías [(factores fijados: prueba de nado (4 niveles: 100 m, 200 m, 300 m, 400 m), sexo (2 niveles); factor aleatorio: sujetos (12 niveles)]. Se utilizó la prueba post-hoc de Tukey para examinar las diferencias. Por lo tanto el número de valores tomados en cuenta fueron $n = 12 \text{ nadadores} \times 4 \text{ pruebas} = 48$. Se calculó el coeficiente de variación global (CV) como la media \pm DE de los CV individuales sobre las cuatro pruebas. Se utilizó el análisis de varianza ANOVA de una vía para comparar los valores medios del CV entre pruebas.

Se estableció una matriz de correlación test-retest entre todas las distancias de prueba para el ciclo de brazada y los parámetros de la coordinación. Se utilizó el análisis de varianza ANOVA de una vía para comparar estos coeficientes de correlación entre los ciclos de brazada y los parámetros de coordinación.

Comparación entre Vueltas

Se utilizó el análisis de varianza ANOVA de tres vías [(factores fijos: distancia de nado (8 niveles: 50 m, 100 m, 150 m, 200 m, 250 m, 300 m, 350 m, 400 m); sexo (2 niveles); factor aleatorio: sujetos (12 niveles)] para examinar las diferencias entre las vueltas en los parámetros del ciclo de brazada (V50, SL, SR) y coordinación (IdC, A, B, C, D, Ppr) durante la prueba de 400 m. El número de valores tenidos en cuenta fue el siguiente $n = 12 \text{ nadadores} \times 8 \text{ vueltas} = 96$. Se utilizó la prueba

post-hoc de Tukey para examinar las diferencias. Para todas las pruebas el nivel de significancia fue establecido a $p < 0.05$.

RESULTADOS

Variabilidad en los Parámetros Fisiológicos, Perceptuales, del Ciclo de la Brazada y de la Coordinación entre Pruebas al Ritmo de una Prueba de 400 Metros

La Tabla 1 presenta los cambios en los parámetros fisiológicos y perceptuales en pruebas de 100-m a 400-m.

	HR		La	TWL
	Hombres	100	165 (12)	3.6 (.6)
200		174 (9)	6.6 (1.0)	4.5 (1.7)
300		180 (9)	7.5 (1.4)	5.0 (1.9)
400		188 (5)	10.5 (2.0)	6.3 (1.1)
Efecto de la distancia de la prueba		*	*	*
Mujeres	100	167 (6)	4.1 (1.0)	2.8 (1.4)
	200	176 (7)	5.9 (1.7)	4.1 (1.5)
	300	180 (4)	6.2 (2.0)	5.0 (1.6)
	400	186 (5)	8.3 (2.5)	5.0 (.5)
Efecto de la distancia de la prueba		*	*	*

Tabla 1. Valores de los parámetros fisiológicos y perceptuales entre las pruebas. Los datos son medidas (\pm DE). *Efecto significativo de la prueba con $p < 0.05$. HR: Frecuencia cardíaca (latidos por minuto); La: Valor de la concentración pico de lactato post-ejercicio (mmol.l^{-1}); TWL: Carga de trabajo total.

En ambos sexos, la frecuencia cardíaca (HR), la $[\text{La}^+]$ y la carga total de trabajo (TWL) se incrementaron significativamente con la distancia ($p < 0.05$). Las pruebas post-hoc de Tukey demostraron que en ambos sexos: (i) La HR se incrementó de manera significativa desde los 100 m a los 400 m, a pesar que entre los 200 y 300 m los valores no fueron estadísticamente diferentes; (ii) los valores de lactato, excepto entre los 200 y 300 m, aumentaron de manera significativa desde los 100 a los 400 m; y (iii) la TWL difirió significativamente entre los 100 y los 300 m y entre los 100 y los 400 m.

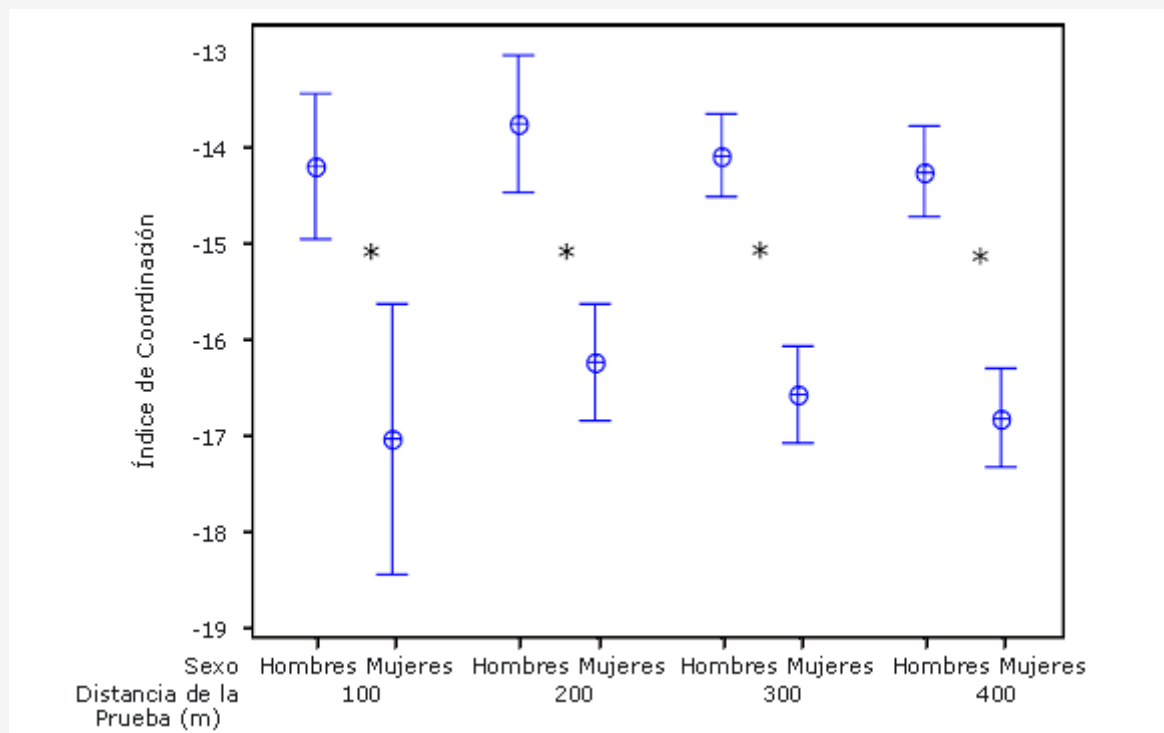


Figura 1. Índice de coordinación entre pruebas para ambos sexos. *Diferencia significativa entre hombres y mujeres para cada distancia de prueba ($p < 0.05$).

Los hombres presentaron fases V, SL, IdC, B y Ppr significativamente mayores, mientras que la duración de la fase A (agarre) fue significativamente mayor en mujeres ($p < 0.05$). No se observaron diferencias significativas para ningún otro parámetro del ciclo de brazada (V, SR, SL) o parámetro de coordinación (IdC, A, B, C, D, Ppr) entre las pruebas. La Figura 1 ilustra los valores promedio del IdC para todas las pruebas. Los CV para las pruebas de nado se presentan en la Tabla 2. No hubo diferencias significativas en el efecto de la distancia detectada para cualquier parámetro del ciclo de brazada o de la coordinación. Los resultados de los coeficientes de correlación test-retest se presentan en la Tabla 3. La correlación test-retest fue significativa para todos los parámetros. No se detectaron diferencias significativas en los coeficientes de correlación para los parámetros de los ciclos de brazada o de la coordinación.

Variabilidad entre Vueltas de los 400-m totales de nado

Los cambios en los parámetros de brazada y coordinación para las pruebas de nado en 400 m a máxima velocidad se presentan en la Tabla 4. Los análisis de varianza ANOVA indicaron efectos de la distancia sobre la V y el SL para los parámetros de los ciclos de brazada, y A y D para los parámetros de coordinación ($p < 0.05$).

	CV V	CV SR	CV SL	CV IdC	CV A	CV B	CV C	CV D	CV Ppr
100	2.8 (1.9)	3.5 (1.8)	3.6 (2.3)	10.2 (4.5)	3.1 (2.3)	10.1 (8.2)	4.2 (2.3)	4.5 (2.6)	4.1 (2.6)
200	3.2 (1.9)	3.8 (1.4)	4.7 (1.9)	10.6 (3.1)	4.1 (1.7)	9.1 (3.4)	5.8 (2.6)	6.2 (2.7)	4.4 (1.0)
300	2.8 (1.2)	2.9 (1.3)	3.8 (1.5)	8.6 (4.4)	3.5 (1.0)	6.2 (2.2)	6.7 (2.3)	6.1 (2.0)	4.0 (1.8)
400	4.2 (1.6)	3.8 (1.7)	4.1 (1.3)	7.9 (2.7)	3.7 (1.6)	7.1 (2.4)	4.4 (1.7)	6.0 (2.0)	3.5 (1.4)

Tabla 2. Coeficiente de variación inter-prueba para los parámetros de distancia de prueba, brazada y coordinación. Los datos son medias (\pm DE). CV V: Coeficiente de variación de la velocidad; CV SR: coeficiente de la variación de la frecuencia de brazada; CV SL: coeficiente de variación de la longitud de brazada; CV IdC: coeficiente de variación del índice de coordinación; CV A, B, C, D, Ppr: Coeficiente de variación para el agarre (A), tirón (B), empuje (C), recuperación (D), tiempo de propulsión del brazo (Ppr).

Como se muestra en la Figurar 2, la prueba post-hoc de Tukey indicó diferencias entre los 50 m iniciales y el resto de la

prueba para V (Figura 2a), A y D ($p < 0.05$), y entre los 50 m iniciales y 350 m y 400-m para SL (Figura 2c). Se observaron diferencias significativas a lo largo de la prueba de 400 m para SR e IdC (Figura 2b, d), o para B, C, y Ppr. No se encontró interacción entre el sexo y la distancia para ningún parámetro cinemático o de coordinación.

V	SR	SL	IdC	A	B	C	D	PPr	Promedio
0.89 (0.04)	0.90 (0.04)	0.90 (0.04)	0.84 (0.07)	0.91 (0.04)	0.84 (0.09)	0.82 (0.05)	0.89 (0.05)	0.82 (0.08)	0.87 (0.07)

Tabla 3. Coeficiente de correlación para la confiabilidad test-reste en los parámetros de brazada y coordinación. Los datos son medias (\pm DE).

DISCUSION

El objeto de este estudio fue examinar la variabilidad de las pruebas de nado, entre pruebas y entre vueltas al ritmo de 400 m en nadadores experimentados. El principal resultado muestra que los parámetros de coordinación permanecen estables a través de las pruebas de nado a pesar del incremento de la fatiga durante el máximo esfuerzo.

		V	SR	SL	IdC	A	B	C	D	Ppr
		($m \cdot s^{-1}$)	(Hz)	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Distancia	50	1.35 (0.08)	0.63 (0.06)	2.16 (.25)	15.4 (2.9)	41.8 (3.6)	14.7 (2.4)	19.7 (1.2)	23.9 (2.6)	34.4 (2.9)
	100	1.25 (0.07)	0.59 (0.06)	2.12 (.24)	15.9 (2.3)	44.1 (3.3)	14.3 (2.2)	19.9 (1.5)	21.7 (2.5)	34.2 (2.1)
	150	1.25 (0.07)	0.60 (0.06)	2.12 (.26)	15.9 (2.3)	43.7 (4.0)	14.4 (3.0)	19.8 (1.6)	22.2 (2.5)	34.2 (2.4)
	200	1.24 (0.06)	0.59 (0.05)	2.11 (.22)	15.7 (2.3)	44.2 (3.2)	14.1 (2.6)	20.0 (1.8)	21.7 (2.3)	34.1 (2.2)
	250	1.25 (0.06)	0.60 (0.05)	2.12 (.21)	15.4 (1.5)	43.8 (3.5)	14.6 (2.6)	20.1 (2.0)	21.5 (2.7)	34.7 (1.6)
	300	1.24 (0.07)	0.60 (0.05)	2.08 (.24)	15.5 (2.4)	44.3 (3.4)	14.0 (2.4)	20.3 (1.7)	21.4 (2.3)	34.3 (2.3)
	350	1.25 (0.06)	0.61 (0.04)	2.07 (.18)	15.0 (2.4)	43.6 (3.7)	14.9 (2.9)	20.2 (2.0)	21.3 (2.5)	35.1 (2.4)
	400	1.25 (0.09)	0.62 (0.05)	2.04 (.19)	15.6 (2.6)	44.0 (4.0)	14.5 (2.9)	20.0 (1.7)	21.5 (2.4)	34.4 (2.7)
Sexo	Mujeres	*	NS	*	NS	*	NS	NS	*	NS
		1.22 (0.01)	0.60 (0.01)	2.05 (.03)	16.8 (0.3)	44.8 (0.5)	13.0 (0.4)	20.2 (0.2)	22.1 (0.4)	332 (0.3)
	Hombres	1.29 (0.01)	0.60 (0.01)	2.15 (.03)	14.2 (0.3)	42.6 (0.4)	15.9 (0.2)	19.8 (0.2)	21.7 (0.3)	35.7 (0.3)
		Δ	NS	Δ	δ	δ	δ	NS	NS	δ

Tabla 4. Efecto de la distancia entre vueltas sobre los parámetros de brazada y coordinación. *Efecto de la distancia de prueba con $p < 0.05$. δ : efecto del sexo $p < 0.05$. NS: cambio no significativo. V: velocidad; SR: frecuencia de brazada; SL: Longitud de brazada; IdC: Índice de coordinación; A: fase de agarre; B: fase de tirón; C: fase de empuje; D: fase de recuperación; Ppr: tiempo propulsivo del brazo.

La velocidad de nado para las pruebas de 400 m fue bastante baja en comparación con el tiempo de competición, ya que solo representó el 88.7% de la velocidad de competición. Sin embargo, los nadadores fueron estudiados durante una sesión de entrenamiento. Cada sujeto nadó la prueba solo, sin tener la presión de los oponentes, y comenzó en el agua; estos factores podrían haber modificado el rendimiento y el manejo de la carrera. Más aún, los nadadores no estuvieron en su mejor forma, ya que el estudio se llevó a cabo 4 a 6 semanas antes de la competencia principal (momento en el cual ellos

alcanzaron su mejor nivel de rendimiento). Finalmente el ritmo circadiano habría jugado un rol en el rendimiento global. De hecho, el experimento tuvo lugar a la mañana temprano, en un horario (entre las 6 y las 8 a.m.) en el cual el rendimiento atlético es afectado por la baja temperatura corporal y el nivel de activación (Atkinson et al., 1996). En este contexto particular de evaluación, los nadadores mostraron así una acentuación de la fase de deslizamiento y esto fue confirmado por los valores IdC, los cuales fueron menores que los usualmente hallados en la literatura para este ritmo de carrera (Chollet et al., 2000). Al promover la fase no propulsiva, y el deslizamiento, este manejo de la estrategia de carrera parece reducir el costo metabólico del esfuerzo. La sincronización entre las extremidades tiene influencia sobre los parámetros del ciclo de brazada, ya que influencia la velocidad de nado, la cual se ve reducida. No obstante, los nadadores aún mostraron un alto compromiso con el estudio, evidenciado por los valores de la HR (187 ± 4.9 latidos/minuto), $[La^-]$ (9.9 ± 1.73 mmol.L⁻¹) y TWL (6.3 ± 1.1) posterior a la prueba máxima de 400 m. Estos valores son comparables a aquellos encontrados en protocolos de pruebas similares (Laffite et al., 2004; Schnitzler et al., 2007; Wakayoshi et al., 1993).

Variabilidad entre Pruebas

Costill (1992) observó que la combinación de los parámetros fisiológicos y perceptuales indica de manera confiable el estrés impuesto a los nadadores. Para este estudio se analizaron los cambios en la HR y en la $[La^-]$ como parámetros fisiológicos y el TWL como el parámetro perceptual. Los datos indicaron que la HR y la $[La^-]$ se incrementaron gradualmente con la distancia de la prueba.

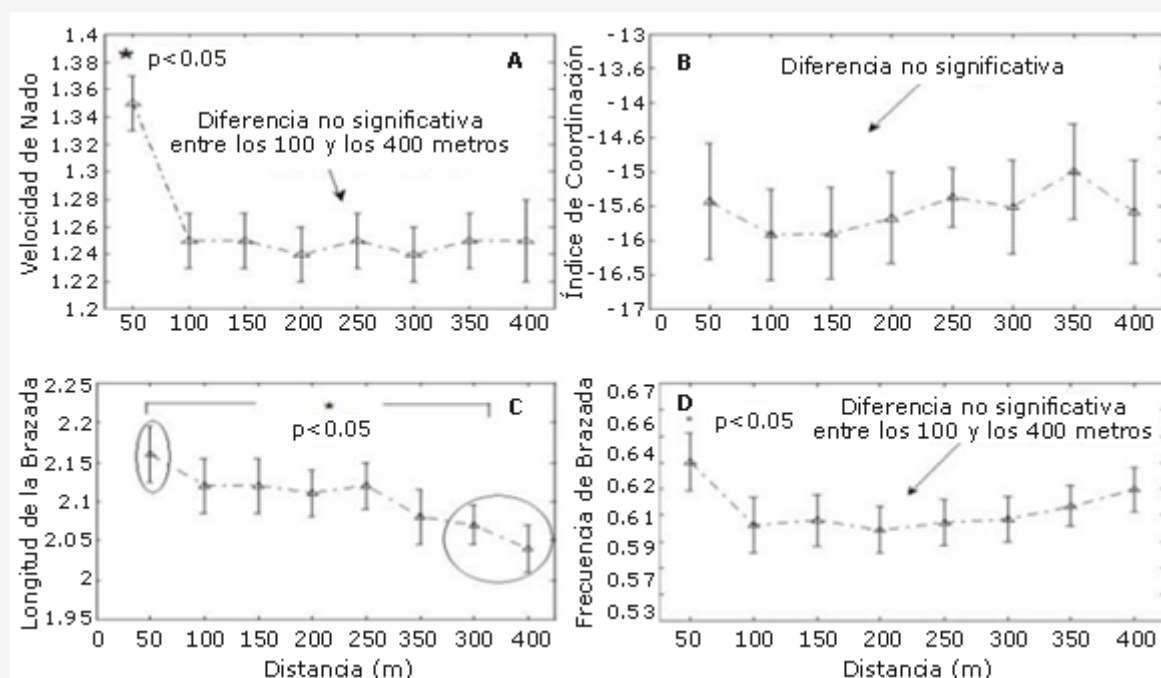


Figura 2. Efecto de la distancia sobre los parámetros cinemáticos y de coordinación durante la prueba de 400-m. (a) sobre la velocidad de nado, (b) sobre el índice de coordinación, (c) sobre la longitud de brazada, (d) sobre la frecuencia de brazada.

El valor de la $[La^-]$ es considerado un indicador confiable de la contribución anaeróbica al gasto total de energía (Barbosa et al., 2006), y el valor de la máxima $[La^-]$ ha sido asociado con la imposibilidad de continuar el ejercicio (di Prampero, 1981; Gladden, 2001). De acuerdo a Keskinen et al. (1988), el cambio en la $[La^-]$ con la distancia, indica que los nadadores pasan progresivamente de una intensidad media ($[La^-] < 8$ mmol.L⁻¹) a una alta intensidad ($[La^-] > 8$ mmol.L⁻¹), especialmente durante los últimos 100 m. Conjuntamente, los cambios en la HR y la $[La^-]$ durante la prueba indicaron que la dificultad de la tarea se incrementó con la distancia de la carrera. Esta conclusión fue respaldada por el análisis de las respuestas de los nadadores al cuestionario NASA-TLX. En efecto, la percepción del TWL se incrementó progresivamente con la distancia de la prueba, en concordancia con lo observado en estudios previos (Garcin and Billat, 2001). Así inclusive, si el rendimiento exhibido por los nadadores estuvo lejos de su máximo, la dificultad se incrementó con la distancia a partir de ambos puntos de vista, fisiológico y psicológico, y podría relacionarse con la aparición de la fatiga. La valoración de los parámetros del ciclo de brazada y de la coordinación mostró que en las mujeres estuvo caracterizado por una menor velocidad promedio, SL, IdC y duración de la fase propulsiva (Ppr). Estos resultados son característicos de la comparación

entre sexos. Más interesante fue la ausencia de la interacción sexo \times distancia, la cual indica que pueden utilizarse poblaciones mixtas para estudiar la variabilidad en los parámetros del ciclo de brazada y coordinación. Los coeficientes de variación para los parámetros del ciclo de brazada y coordinación no cambiaron significativamente con la distancia de la prueba, y sus valores (desde 2.2% a 10.6%) fueron ligeramente menores que los observados en estudios previos (Jeukendrup et al., 1996; McLellan et al., 1995) pero cercanos a los valores reportados en similares condiciones (Alberty et al., 2006). Estos últimos autores compararon la variabilidad en tres tipos de procedimientos: en pruebas de distancia constante (400 m nadados a máxima velocidad), en pruebas de tiempo constante (distancia máxima recorrida en 5 min), y en pruebas a velocidad constante hasta el agotamiento. Sus resultados sugirieron que la confiabilidad de la prueba mejoró cuando el final de la prueba fue planificada de antemano, porque las pruebas a velocidad constante fueron menos confiables que las pruebas a tiempo y distancia constantes. La evaluación en nuestro estudio incluyó una prueba de distancia constante, seguida por tres pruebas a velocidad constante llevadas a cabo bajo condiciones submáximas (a partir de que los nadadores fueron detenidos antes del agotamiento). Aquí, no se hallaron diferencias significativas entre los coeficientes de variación para ninguna de las distancias de la prueba. Sin embargo, se podría objetar que el CV entre pruebas podría verse influenciado por el hecho de que teníamos diferentes valores contados en cada vuelta. Por otro lado, como el CV fue sensible a la desviación estándar (a partir de que la velocidad fue la misma entre pruebas), una pequeña variación en la velocidad podría tener un importante impacto sobre los valores de CV para distancias cortas (100 m) y podría así tener una variación en su extensión. Pero este no es el caso, el cual sugiere la conclusión que la variabilidad entre pruebas no fue significativo.

Así, a pesar de las condiciones de velocidad constante, se aseguró la reproducibilidad de los parámetros del ciclo de brazada y de la coordinación, probablemente debido a que el final de cada prueba fue establecido de antemano, como lo sugirieron Alberty et al. (2006). Esta conclusión fue confirmada a través de la examinación de los coeficientes de correlación entre los parámetros del ciclo de nado y la coordinación. Nuestros resultados indicaron altos coeficientes de correlación test-retest (0.87 ± 0.07), los cuales no difirieron entre los parámetros del ciclo de brazada y de coordinación. Estos datos confirmaron que el IdC y otras mediciones de las fases del brazada pueden ser obtenidas sobre la base de pruebas de nado submáximas. Esto es importante, a partir que muchos experimentos usando IdC y fases de ciclo de brazada, se han basados en este supuesto (Chollet et al., 2000; Potdevinet al., 2005; Schnitzler et al., 2008; Seifert et al., 2004; Seifert et al., 2004; Seifert et al., 2007), los cuales no fueron previamente evaluados. Los parámetros del ciclo de brazada y coordinación comienzan a ser más sensibles a la velocidad promedio que a la magnitud esperada del esfuerzo a ser realizado.

Variabilidad entre Vueltas de los Parámetros de Brazada y Coordinación Durante una Prueba de Nado Máxima de 400 m

Durante la prueba máxima de 400 m, se observó una reducción tanto de la V50 como de la SL, a pesar de que la SR se mantuvo sin cambios. Estos cambios son característicos de protocolos llevados a cabo bajo condiciones similares (Laffite et al., 2004; Schnitzler et al., 2007). No obstante, se observó un cambio no significativo en el IdC. Esta estabilidad también fue observada para las diferentes fases (A, B, C, D, Ppr) del ciclo de brazada. Esta población fue caracterizada por parámetros estables de coordinación, a pesar de los incrementos en la dificultad fisiológica y perceptual, y del cambio en los parámetros del ciclo de brazada (V50 y SL). Esto sugiere que cambios en los parámetros del ciclo de brazada no están únicamente relacionados con la coordinación, sino también con los parámetros cinéticos. Toussaint et al. (2006) demostró que durante las cuatro vueltas de 25 m en una prueba de 100 m, la producción de potencia mecánica se redujo debido a la fatiga. Seifert et al (2007) mostró que el IdC y la duración de la fase de empuje se incrementaron durante una prueba de 100 m, pero fueron ineficientes, debido a que la V y la SL se redujeron.

Nuestros resultados muestran una reducción en la V y la SL pero una estabilidad en el IdC y en las distintas fases del ciclo de brazada. Esto sugiere que las variaciones podrían ser mejor explicadas por una pérdida en la producción de potencia consecutiva a la fatiga, que por modificaciones en el IdC y en las fases de los ciclos de brazada, aunque se requieren investigaciones adicionales para probar esta hipótesis. Estos resultados respaldan la estabilidad de los parámetros de coordinación durante una prueba máxima de 400 m a pesar del incremento en la fatiga. Sin embargo, estos datos fueron obtenidos en condiciones de entrenamiento, y por esto no indicaron que el manejo de la carrera usado aquí es lo mejor para optimizar el rendimiento. Okuno et al. (2003) analizaron las finales del campeonato mundial de 2001 y observaron que los finalistas en promedio tenían un comportamiento comparable al de nuestro grupo (Una salida rápida seguida de una estabilización de la velocidad de nado), adoptando una "aproximación neutral en la vuelta" para el manejo de la carrera. No obstante, también se registraron algunos casos de "aproximación positiva de vuelta" (la segunda parte de la carrera más rápida que la primera) o, a la inversa, una "aproximación negativa de vuelta" (Okuno et al., 2003), con la consecutiva modificación de la SR y la SL. Estas diferentes aproximaciones en el manejo de la carrera podrían tener un efecto sobre los parámetros de coordinación, pero en este estudio no hicimos la distinción entre ellos. Por lo tanto, nuestros resultados deben ser interpretados con cuidado y ser limitados a los nadadores de media y larga distancia que adoptan una "aproximación neutral de vuelta"

CONCLUSION

La combinación de los valores de la SL y el IdC es un interesante medio para discriminar el nivel de habilidad (Chollet et al., 2000; Seifert et al., 2007). Sin embargo, ningún estudio a la fecha ha investigado la variabilidad de los parámetros de coordinación entre pruebas y entre vueltas para eventos de media distancia. Nuestro estudio mostró dos importantes resultados: (i) Los nadadores experimentados fueron capaces no sólo de reproducir los parámetros ciclo de brazada, sino también los de coordinación al ritmo de 400 m, y (ii) a pesar del incremento en la fatiga durante el nado en estilo libre de 400 m, los parámetros de coordinación se mantuvieron estables. La pequeña variabilidad de los parámetros entre pruebas y entre vueltas indicó que un protocolo basado en pruebas de nado corto desarrollado a diferentes ritmos de carrera, es apropiado para examinar los parámetros del ciclo de brazada y coordinación utilizados en condiciones de prueba máximas. Esto tiene importantes implicancias en pruebas de nado en las que se facilita la evaluación a la adaptación de los nadadores a las diferentes distancias de carrera, permitiendo procedimientos que consuman menos tiempo y de esta forma con menores efectos sobre el proceso de entrenamiento.

Puntos Claves

- Durante una prueba máxima de 400 m, la fatiga conduce al incremento de ambos parámetros, tanto los fisiológicos (frecuencia cardíaca y lactato en sangre) como los perceptuales (trabajo subjetivo).
- La consecuencia fue una reducción en el largo de la brazada y en la velocidad de nado.
- Sin embargo, la coordinación entre los brazos no varió durante el ejercicio aeróbico.
- Esto indica que la coordinación entre brazos puede examinarse de mejor manera en base a pruebas de corta distancia que en una prueba de distancia completa.

Agradecimientos

Quisieramos agradecer a la Dr. Viviane Ernwein y Stéphane Metzger por su asistencia en el proceso de recolección de datos. Los autores también agradecen a Cathy Carmeni por la revisión del artículo en el idioma inglés.

REFERENCIAS

1. Albery, M., Sidney, M., Huot-Marchand, F., Dekerle, J., Bosquet, L., Gorce, P. and Lensel, G (2006). Reproducibility of performance in three types of training test in swimming. *International Journal of Sports Medicine* 27(8), 623-628
2. Albery, M., Sidney, M., Huot-Marchand, F., Hespel, J.M. and 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
3. Atkinson, G. and Reilly, T (1996). Circadian variation in sports performance. *Sports Medicine* 21(4), 292-312
4. Barbosa, T.M., Fernandes, R., Keskinen, K.L., Colaco, P., Cardoso, C., Silva, J. and Vilas-Boas, J.P (2006). Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *International Journal of Sports Medicine* 27(11), 894-899
5. Bartlett, R., Wheat, J. and Robins, M (2000). Is movement variability important for sports biomechanists?. *Sports Biomechanics* 66, 224-243
6. Bates, B. T., James, C. R. and Dufek, J (2004). Single-subject analysis. In: Innovative analyses of human movement. Ed: Stergiou, N. *Champaign: Human Kinetics*. 3-28
7. Chollet, D., Chaliés, S. and Chatard, J.C (2000). A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *International Journal of Sports Medicine* 21(1), 54-59
8. Chollet, D., Pelayo, P., Delaplace, C., Tourny, C. and Sidney, M (1997). Stroking characteristic variations in the 100-M freestyle for male swimmers of differing skill. *Perceptual and Motor Skills* 85(1), 167-177
9. Costill, D (1992). Lactate metabolism for swimming. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming: swimming and science VI* Eds: Maclaren, D., Reilly, T. and Lees, A. London: E & FN Spon. 3-12
10. Craig, A.B., Jr. and Pendergast, D.R (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 11(3), 278-283
11. Craig, A.B., Jr., Skehan, P.L., Pawelczyk, J.A. and Boomer, W.L (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 17(6), 625-634
12. Davids, K., Bennett, S. and Newell, K (2006). Movement system variability. *Champaign, IL: Human Kinetics*
13. Di Prampero, P.E (1981). Energetics of muscular exercise. *Review of Physiology, Biochemistry & Pharmacology* 889, 143-222
14. Garcin, M. and Billat, V (2001). Perceived exertion scales attest to both intensity and exercise duration. *Perceptual and Motor Skills*, 93(3), 661-671
15. Gladden, L.B (2001). Lactic acid: New roles in a new millenium. *Proceedings of the National Academy of Science* 98, 395-397
16. Hart, S.G. and Staveland, L.E (1982). Development of NASA-TLX, results of empirical and theoretical research. In: *Human mental workload*. Ed: Hancock, M. N.E. 129-133

17. Jeukendrup, A., Saris, W.H., Brouns, F. and Kester, A.D (1996). A new validated endurance performance test. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 228(2), 266-270
18. Keskinen, K. and Komi, P (1988). Interaction between aerobic/anaerobic leading and biomechanical performance in freestyle swimming. In: *Swimming science V. Eds: Ungerechts, B., Wilke, K. and Reischle, K.* 285-294
19. Laffite, L., Vilas-Boas, J.P., Demarle, A., Silva, J., Fernandes, R. and Billat, V (2004). Changes in physiological and stroke parameters during a maximal 400-m free swimming test in elite swimmers. *Canadian Journal of Applied Physiology* 229 Suppl, S17-31
20. McLellan, T.M., Cheung, S.S. and Jacobs, I (1995). Variability of time to exhaustion during submaximal exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology* 220(1), 39-51
21. Nikodelis, T., Kollias, I. and Hatzitaki, V (2005). Bilateral inter-arm coordination in freestyle swimming: effect of skill level and swimming speed. *Journal of Sports Sciences* 223(7), 737-745
22. Nomura., T., Wakayoshi, K., Miyashita, M. and Mutoh, Y (1998). Physiological evaluation of the 400m freestyle race. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming: Swimming and science VIII*. E & FN Spon
23. Okuno, K., Ikuta, Y., Wakayoshi, K., Nomura, T., Takagi, H., Ito, S., Ogita, F., Ohgi, Y., Tachi, M. and Miyashita, M (2003). Stroke characteristics of world class male swimmers in free style events of the 9th Fina World Swimming Championships 2001 Fukuoka. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming IX. Ed: Chatard, J.C. Université de Saint Etienne.* 157-162
24. Potdevin, F., Bril, B., Sidney, M. and Pelayo, P (2005). Stroke frequency and arm coordination in front crawl swimming. *International Journal of Sports Medicine* 226, 1-6
25. Rubio, S., Diaz, E., Martin, J. and Puente, J. M (2004). Evaluation of subjective mental workload: A comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile. *Applied Psychology: An international Review* 553(1), 61-86
26. Schnitzler, C., Ernwein, V., Seifert, L. and Chollet, D (2007). Comparison of spatio-temporal, metabolic, and psychometric responses in recreational and highly trained swimmers during and after a 400-m freestyle swim. *International Journal of Sports Medicine* 228(2), 164-171
27. Schnitzler, C., Seifert, L., Ernwein, V. and Chollet, D (2008). Arm coordination adaptations assessment in swimming. *International Journal of Sports Medicine* 229(6), 480-486
28. Seifert, L., Boulesteix, L. and Chollet, D (2004). Effect of gender on the adaptation of arm coordination in front crawl. *International Journal of Sports Medicine* 225(3), 217-223
29. Seifert, L., Chollet, D. and Bardy, B. G (2004). Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl: a dynamic analysis. *Journal of Sports Sciences* 222(7), 651-660
30. Seifert, L., Chollet, D. and Chatard, J.C (2004). Kinematic changes during a 100-m front crawl: effects of performance level and gender. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 339(10), 1784-1793
31. Seifert, L., Chollet, D. and Rouard, A (2007). Swimming constraints and arm coordination. *Human Movement Sciences* 226(1), 68-86
32. Toussaint, H.M., Carol, A., Kranenborg, H. and Truijens, M.J (2006). Effect of fatigue on stroking characteristics in an arms-only 100-m front-crawl race. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 338(9), 1635-1642
33. Wakayoshi, K., Yoshida, T., Ikuta, Y., Mutoh, Y. and 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* 114(7), 368-372

Cita Original

Christophe Schnitzler, Ludovic Seifert and Didier Chollet. Variability of Coordination Parameters at 400-M Front Crawl Swimming Pace. *Journal of Sports Science and Medicine* (2009) 8, 203 - 210.