

EL COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD INTRACICLO EN NATACIÓN

Jodi Jordà y Víctor Tella
Universitat de València

1. La velocidad intraciclo en la técnica de estilos
2. Índices de coordinación intraciclo en la técnica de estilos
3. Efecto de la fatiga en la velocidad intraciclo
4. Metodología para el estudio intraciclo
5. Influencia de la fatiga en el índice de coordinación y la velocidad intraciclo en nadadores crolistas.
6. Referencias bibliográficas

La velocidad en natación está determinada por una serie de movimientos cíclicos. Estos ciclos corresponden a la secuencia de inicio y final de las acciones propulsivas de brazos y de piernas. La velocidad que se alcanza durante un ciclo de nado no es uniforme. Muchos autores, que serán tratados en este capítulo, nos informan sobre las variaciones que se producen durante un ciclo de nado. Para ello, en el primer apartado presentamos una revisión de cómo se modifica la velocidad de desplazamiento intraciclo en los diferentes estilos. Posteriormente abordamos la importancia que tiene la coordinación de las acciones propulsivas en la eficacia de nado. Sin embargo, pocos estudios se han centrado en los efectos que tiene la fatiga sobre la velocidad intraciclo en crol. De ahí que en un tercer apartado se revisen aquellos trabajos que hasta ahora ahondan sobre como la fatiga incide sobre la velocidad intraciclo. También se considera relevante para nuestro objetivo conocer la validez del instrumental que se ha utilizado. De tal manera se realiza una revisión de las metodologías empleadas para este tipo de análisis. Finalmente, se presenta en el último apartado un estudio que analiza la incidencia de la fatiga en la velocidad y coordinación intraciclo. Se usó un velocímetro conectado a una cámara de filmación subacuática para que 17 nadadores simularan ambas condiciones con y sin fatiga. Se analizó en un ciclo completo, las velocidades medias de cuatro fases así como la coordinación de brazos en ambas condiciones. Dicho análisis conjunto de las velocidades parciales y el índice de coordinación (IC) nos ha aportado información relevante sobre las respuestas cinemáticas intraciclo de los nadadores crolistas.

1. LA VELOCIDAD INTRACICLO EN LA TÉCNICA DE ESTILOS

El estudio de las variaciones de la velocidad dentro de un ciclo nos informa de la mayor o menor contribución de las fuerzas que intervienen en la propulsión de los nadadores. Las acciones de aceleración y desaceleración que ejercen sobre el cuerpo del nadador tanto los movimientos propulsivos como las fuerzas de resistencia al avance son las responsables de la velocidad intraciclo. Entre otros, los estudios de Maglischo (1987), Costill y D'Acquisto (1987 y 1998), Chengalur y Brown (1992) confirman esta relación.

La interacción entre ambas genera fluctuaciones de la velocidad intraciclo que pueden determinar la eficiencia y eficacia en el desplazamiento del nadador. En este sentido, tanto los trabajos de Vilas-Boas y Santos (1994 y 1996), de Miyashita (1977) como de Colwin (1992) confirman que la uniformidad propulsiva es un excelente indicador del rendimiento en natación. En base a estos estudios se puede considerar que:

- A menor fluctuación, menor coste energético
- A mayor tiempo de aplicación de fuerzas propulsivas, mayor velocidad
- A menor tiempo de aplicación de las fuerzas propulsivas, mayor velocidad
- A menor solapamiento de fuerzas propulsivas y resistivas, mayor velocidad

Así, si las variaciones de la velocidad intraciclo establecen una mayor o menor eficacia propulsiva, el estudio tanto de la velocidad media, máxima y mínima, de la relación entre ambas y de sus efectos como son la frecuencia y la longitud de ciclo (LC), será indispensable para su optimización.

Maglischo (2003) basado en investigaciones previas y en la de otros autores como Counsilman y Wasilak (1982), Schleihauf, Higgings, Hinrichs, Luedtke, Maglischo y Thayer (1988), Mason, Patton, Newton (1989) entre otros, describe y plantea una serie de patrones o perfiles de la velocidad intraciclo para los estilos de natación, que relacionan la velocidad intraciclo de los brazos y/o de las piernas con la velocidad intraciclo de desplazamiento de los nadadores.

1.1. Perfil intraciclo del estilo Crol. El patrón de variaciones de velocidad de las manos es el siguiente: La velocidad de la mano izquierda disminuye después de la entrada en el agua hasta el agarre. La velocidad de la mano aumenta en el barrido hacia dentro y vuelve a acelerar la mano en el barrido hacia arriba. La velocidad de la mano vuelve a desacelerarse al aproximarse a la superficie e iniciar el recobro aéreo. Un patrón similar

ocurre al observar los cambios de velocidad de la mano derecha. Es de destacar la relación entre las aceleraciones-desaceleraciones de la mano con los aumentos o pérdidas de velocidad del nadador hacia delante.

Este patrón es típico en el resto de estilos de natación: cuando los nadadores cambian de dirección de las manos en los diferentes barridos se produce un aumento de su velocidad. Tanto Counsilman y Wasilak (1982) como Schleihauf y col (1988) encontraron velocidades máximas entre 4,5 y 6m/s en nadadores crolistas de alto nivel. Las mujeres no alcanzan velocidades máximas tan elevadas como los hombres. Maglischo (1993) destaca varios aspectos en relación a las velocidades de la mano y de propulsión en crol:

- Hay que establecer un buen agarre después del barrido para abajo para iniciar la propulsión del cuerpo.
- La disminución de velocidad durante este barrido no debe ser preocupante en cuanto a la eficacia del estilo crol. El brazo reduce su velocidad en la posición más hidrodinámica a la espera de que el otro termine su barrido hacia arriba.
- Los barridos hacia adentro son menos rápidos que los barridos hacia arriba
- Las velocidades de la mano desaceleran antes de salir del agua en la parte final del barrido hacia arriba.

Existen diferencias en la aplicación de velocidades entre los brazos. Generalmente el brazo izquierdo menos dominante o el brazo contrario a la respiración obtienen velocidades inferiores durante el ciclo completo de crol.

En la figura 1 podemos observar dos perfiles intraciclo del estilo crol. Con uno o dos picos de velocidad máxima en cada brazo. El perfil de sólo un pico de velocidad en cada brazo es debido a la tracción del brazo más abierta, es decir con menos componente del barrido adentro.

Figura 1. Patrones de velocidad de desplazamiento intraciclo y de manos en el estilo crol (Tomada y adaptada de Maglischo, 2003)

En un estudio realizado por Llana y col (2004) se muestran diferentes formas de analizar la velocidad intraciclo.

Con respecto a la uniformidad propulsiva en la figura 2, se registraron los valores máximos, mínimos y medios del brazo derecho ($V_{\text{máx D}}$, $V_{\text{min D}}$, $V_{\text{med D}}$), del brazo izquierdo ($V_{\text{máx I}}$, $V_{\text{min I}}$, $V_{\text{med I}}$), y del ciclo completo ($V_{\text{máx C}}$, $V_{\text{min C}}$, $V_{\text{med C}}$), de crol

de una nadadora infantil de nivel nacional con y sin fatiga en una simulación de la prueba de 100 metros en donde se obtuvieron las velocidades intraciclo del primer parcial de 25 (1^{er} 25) y el último parcial de 25 (últ 25).

Tabla 1. Valores de la velocidad en una nadadora durante el primer parcial y último en una simulación de la prueba de 100 metros

También, valoró el equilibrio en la aplicación de fuerzas durante el nado crol, analizando la modificación porcentual de cada una de ellas en las condiciones de fatiga con respecto a las condiciones iniciales de la prueba (figura 2).

Figura 2. Perdida porcentual de la velocidad intraciclo en una simulación de la prueba de 100 metros

Para profundizar sobre la uniformidad propulsiva del ciclo de nado se dividió el ciclo en cuatro fases (estas fases serán descritas en un siguiente apartado), aportando más información sobre las fluctuaciones de la velocidad de desplazamiento. En la figura 3, se aprecia como las fluctuaciones de velocidad en el último parcial de 25 son más elevadas, generando como así se ha citado un mayor coste energético. También, tomando como referencia a Maglisco (2003) y considerando que las fases 2 y 4 coinciden con las posiciones extremas derivadas del rolido en el estilo crol, nos permite incidir sobre la importancia de la posición del cuerpo para evitar la disminución de la velocidad, sobre todo, en condiciones de fatiga. En concreto en el primer 25 esta nadadora obtiene un porcentaje de variación de la velocidad del 4%, mientras que en el último 25 alcanza un porcentaje de variación de la velocidad del 13%

Figura 3. Variaciones de velocidad media en 4 fases diferentes durante un ciclo completo de brazos en el primer y último 25 en una simulación de la prueba de 100 m.

Cuando se ha analizado las modificaciones de la longitud y frecuencia de ciclo (FC) (figuras 4 y 5), se observa que la pérdida de velocidad responde a una reducción de la frecuencia y a un aumento de la LC. Si bien, la variación relativa obtenida en fatiga con respecto a los valores iniciales sin fatiga, es más importante en la frecuencia (disminución de 27,3%) que en la LC (aumento de 7,2%).

Figura 4. Cambios de frecuencia y longitud de ciclo en una simulación de 100 m.

Figura 5. Modificaciones porcentuales entre el último y el primer parcial de 25 en una simulación de la prueba de 100 m.

1.2. Perfil intraciclo del estilo Mariposa. A la simultaneidad de incrementos de velocidad de la mano con respecto a los incrementos de la velocidad de desplazamiento, hay que destacar en este estilo, el aumento de la velocidad de desplazamiento cuando la velocidad de las manos descienden desde que éstas entran en el agua hasta que se produce el agarre en la fase final del barrido hacia fuera. Este incremento es debido a la acción propulsiva del primer batido. Durante los cambios de orientación de los barridos afuera a adentro y adentro a arriba se producen ligeros descensos, tanto en la velocidad de las manos como la de desplazamiento, antes que se alcancen los mayores incrementos de velocidad en el barrido hacia adentro y en el barrido hacia fuera. Si bien, las velocidades de propulsión obtenidas en ambos barridos son similares, la velocidad de la mano en el barrido hacia adentro es superior que la alcanzada en el barrido hacia arriba (Maglischo, 1984 y Schleihau y col. 1988).

Aquellos nadadores que realizan una tracción más abierta con menor recorrido en el barrido hacia adentro registran una curva de velocidad intraciclo de un solo pico. Progresando en la velocidad tanto de la mano como de propulsión desde el inicio de barrido adentro hasta el final del barrido arriba.

La velocidad de propulsión desciende desde que las manos salen del agua hasta que las manos vuelven a entrar, excepto un incremento producido por el efecto de la “wave propulsión” (Figura 6) producida por el movimiento ondulatorio del cuerpo durante el inicio del recobro de brazos y de piernas del 2º batido (Mason y col, 1989).

La falta de incremento de velocidad de propulsión en la fase de entrada de manos, así como el menor tiempo en que mantienen el incremento de la velocidad durante los barridos hacia dentro y hacia fuera (0,3 segundos contra 0,6 segundos) es lo que diferencia a los nadadores de menor nivel.

Figura 6. Patrones de velocidad de desplazamiento intraciclo en el estilo mariposa (Tomada y adaptada de Maglischo, 2003)

1.3. Perfil intraciclo del estilo Espalda. En el patrón ideal de la velocidad de la mano y de la velocidad de propulsión, como ocurre en los otros estilos, éstas se simultanean. Como en crol, la existencia de dos picos máximos o uno en coincidencia con el barrido hacia arriba (abajo en crol) y abajo (arriba en crol) puede depender de la tracción más o

menos abierta en relación al eje longitudinal del cuerpo, de su mayor o menor componente adentro-afuera en estos barridos propulsivos.

En este patrón (figura 7) se observa un tercer pico que correspondería con el incremento de la velocidad de la mano en último y 4º barrido hacia arriba que suelen realizar los nadadores con una tracción más abierta.

Figura 7. Patrones de velocidad de desplazamiento intraciclo y de manos en el estilo espalda (Tomada y adaptada de Maglischo, 2003)

1.4. Perfil intraciclo del estilo Braza. Los barridos adentro de braza y los barridos afuera de piernas son los que provocan los mayores picos de velocidad de propulsión intraciclo.

Existe un tercer pico de velocidad que se produce por movimiento ondulatorio que según Mason y col (1989) se produce durante el inicio del recobro de brazos y de piernas. La braza es el estilo que más fluctuaciones presenta (Craig y Pendergast, 1979, Maglischo, 1993; Kolmogorov y col. 1997; Chollet y col. 1999). Los aumentos de velocidad lineal en fases propulsivas se suceden a descensos de velocidad lineal en las fases del recobro de los brazos y de las piernas (figura 8)

Figura 8. Patrones de velocidad de desplazamiento intraciclo en el estilo braza. Registros obtenidos con el velocímetro JLML MV30

La braza es el estilo que más fluctuaciones presenta (Craig y Pendergast, 1979, Maglischo, 1993; Kolmogorov, Rumyantseva, Gordon y Cappaert 1997; Chollet, Tourny y Gleize (1999): Aumentos de velocidad lineal en fases propulsivas contra descensos de velocidad lineal en fases de recobro.

2. LA COORDINACIÓN INTRACICLO EN LA TÉCNICA DE ESTILOS

Es conocido cuales son los momentos de cada estilo que deben darse para concluir que un nadador tiene una coordinación correcta. Se podría definir como aquella que permite alternar las fuerzas propulsivas con las fuerzas resistivas, aumentando el tiempo relativo de aplicación de las primeras en relación a la duración de un ciclo completo de nado.

En este apartado, además de hacer referencia a las secuencias espacio-temporales en las que se producen o suceden las diferentes acciones propulsivas y resistivas, se van a describir diferentes índices que pretenden cuantificar la coordinación. Si bien, por la

comunidad científica se sabía de las coordinaciones que se producían en los diferentes estilos, no fue hasta finales y principios del 2000 cuando se empezó a cuantificar la coordinación que un nadador determinado obtenía en el estilo utilizado. Éstos índices inciden fundamentalmente en cuantificar la relación entre los tiempos de propulsión con los tiempos en los que no actúan fuerzas propulsivas y solo intervienen fuerzas resistivas.

2.1. En la coordinación entre brazos en crol debe coincidir el inicio del barrido hacia abajo de un brazo con la finalización del barrido hacia arriba del otro. En cuanto a la coordinación brazos y piernas, la forma más corriente de expresar esta coordinación está de acuerdo con el número de batidos por ciclo de brazos. Los modelos mas conocidos son:

- batido de 6
- batido de 2
- batido de 2 cruzado
- batido de 4

Chollet, Chabies y Chatard (2000), establecieron para el crol un índice de coordinación (IC). Este índice porcentual se calculó atendiendo a la relación entre:

- el tiempo total del ciclo de nado, esto es, el tiempo transcurrido desde la entrada de la mano en el agua hasta que la misma volvía a entrar.
- y LT (lag time), que es la media de los tiempos de superposición o de oposición empleados en la coordinación de las acciones propulsivas de los dos brazos. Para ello, estableció dos puntos de coordinación entre ambos brazos, LT1 que se correspondía al inicio del barrido hacia abajo de un brazo con la finalización del barrido hacia arriba del otro y LT 2 que se correspondía con la misma posición de LT1 pero con los brazos cambiados. Si se producía una buena coordinación LT1 y LT2 tendrían que tener un valor temporal igual a cero.

Una vez establecidos estos puntos diseño una fórmula:

$$LT_{(\text{lag time})} = (LT1 + LT2) / 2 = 0$$

Con este cálculo se determinaba el tiempo medio por ciclo completo de nado en el que el nadador realizaba una “superposición” de brazos, es decir empezaba la fase propulsiva de un brazo sin haber terminado la fase propulsiva del brazo contrario. O por el contrario, el tiempo en oposición o en “punto muerto”. Es decir, el tiempo que tardaba en iniciar la acción propulsiva de un brazo una vez terminada la acción

propulsiva del otro. Finalmente se realizaba un cálculo porcentual del LT calculado en relación al tiempo total empleado en completar un ciclo completo.

Una vez establecida el índice, determinó que:

- IdC = 0% si existe una coordinación coincidente
- IdC < 0% si existe una coordinación en oposición
- IdC > 0% si existe una coordinación con superposición de las acciones propulsivas.

Chollet, Chalies, Mollet, Hue, Lerda, Cardelli, Seifert y Chatard (2003) estudian la evolución del IdC en el estilo crol, respecto a la distancia de nado, respecto al uso de neopreno, en relación a si se es triatleta o nadador y en relación a si se realiza el nado con o sin respiración. El método utilizado por este grupo costó de 5 cámaras, 3 de ellas subacuáticas, registrándose los valores de los metros 10 al 22,5. Los resultados establecieron que:

- a) Para las distancias largas existía una mayor oposición o punto muerto que para las cortas en donde había mayor coincidencia en la coordinación de las acciones propulsivas de los brazos, además de producirse un mejor nivel de coordinación entre los nadadores de mejor nivel que los de peor, que presentaban un mayor retraso.
- b) En nadadores y en triatletas el IdC de coordinación aumentaba con la velocidad, si bien con los triatletas era menos acentuada.
- c) Se producían mayores IdC con neopreno que sin neopreno.
- d) La respiración aumentaba la discontinuidad propulsiva (mayor punto muerto).

Alberty, Sydney, Deberle, Potdevin, Hespel y Pelayo (2003) analizan la influencia de la fatiga sobre la coordinación y la velocidad intraciclo en el estilo crol. Concluyeron que la fatiga implicaba una reducción de la LC. Además en condiciones de fatiga los nadadores reducen su IdC y aumentaban el tiempo de aplicación de fuerzas durante las fases propulsivas de los miembros superiores.

2. 2. En el estilo mariposa se produce una coordinación de dos patadas delfín por ciclo completo de brazos. El batido descendente de la primera patada debería ejecutarse durante la entrada y el barrido hacia fuera de los brazos, mientras que el batido descendente del segundo coincide con el barrido ascendente de la fase acuática de la acción de brazos.

Chollet y Boulesteix (2001) utiliza el índice de propulsión en mariposa (IBP) para medir el desajuste temporal entre las fases propulsivas de los brazos y piernas en mariposistas expertos. El índice de propulsión se calcula a través de un programa informático que se

basa en las variaciones de las desviaciones temporales en relación al porcentaje del ciclo total de nado, de tal forma que:

IBP (índice de propulsión de mariposa) = [PT1 (tiempo del batido de piernas de la primera patada) + PT2 (tiempo de propulsión de los brazos en donde se produce el segundo batido de piernas)].

Chollet y Boulesteix (2003) estudian los efectos de la velocidad sobre el IBP. Sus resultados muestran que un aumento de la velocidad, trae aparejado un aumento del IBP, reduciéndose el tiempo existente entre PT1 y PT2, esto es, el tiempo entre la fase propulsiva de piernas y la fase propulsiva de brazos. En nadadores expertos el IBP representa más de la mitad del ciclo total de brazos para velocidades de nado bajo (400 metros), y esta relación aumenta conforme aumenta la velocidad. La relación porcentual del IBP sobre el tiempo de un ciclo completo nos va a determinar el nivel de rendimiento de un nadador. A mayor valor porcentual mayor rendimiento, es decir mejor coordinación

2.3. En espalda, casi sin excepción, se utiliza una coordinación de 6 batidos. Se efectúa 6 batidos ascendentes y descendentes, entre ambas piernas, durante cada ciclo completo de brazos. Estos se coordinan con los tres barridos de cada brazada.

Respecto a los brazos, el brazo que esta en fase de recobro debería entrar en el agua cuando el brazo propulsor haya completado el segundo barrido abajo. El primer barrido abajo del brazo que realiza la entrada, debería empezar cuando el brazo que termina la tracción está volviendo a la superficie ejecutando el segundo barrido ascendente.

2.4. Existen tres estilos de coordinación en braza propuestos por distintos expertos en natación (continua, de deslizamiento y superpuesta). Cuando se utiliza una coordinación continua, la brazada empieza después de que se junten las piernas. En la coordinación de deslizamiento existe un corto intervalo entre la finalización de la patada y el principio de intervención de los brazos, durante el cual los nadadores se deslizan o se dejan llevar. En la coordinación superpuesta, la acción de brazos empieza antes de que haya finalizado la fase propulsora de la patada.

Chollet, Seifert, Leblanc y Pedroletti (2003) estudiaron las variaciones que tenía la coordinación de brazos y piernas en estilo braza en diferentes velocidades. Se calcularon las fases propulsivas y no propulsivas gracias a la utilización de un velocímetro (Fahnemann 12045) sincronizado a un video. Se establecieron 5 intervalos temporales.

Dos intervalos de tiempo relacionados con fases en las que no actúan fuerzas propulsivas de brazos y de piernas:

- T1a: Tiempo entre el fin de la propulsión de piernas y el inicio de la propulsión de braza.
- T1b: Tiempo entre los pies juntos y el inicio de la propulsión de brazos

Tres intervalos en los que actúan fases resistivas de brazos y/o de piernas

T2: Tiempo entre el inicio del recobro de brazos y el inicio del recobro de piernas

T3: Tiempo entre el fin de recobro de brazos y el fin del recobro de piernas

T4: Tiempo entre la flexión de 90° de los brazos y las piernas en las fases de recobro.

Sus resultados indican que el aumento de la velocidad es debida a una disminución significativa del tiempo de deslizamiento representado por los intervalos T1a y T1b. También se relaciona, el incremento de la velocidad, para los mejores nadadores con una reducción de los intervalos relacionados con las fases resistivas (T2, T3 y T4). Por lo que la mejor coordinación la definen como una relativa continuidad de las acciones propulsivas de brazos y de piernas derivada de la reducción de tiempos o intervalos implicados en las fases de deslizamiento y/o resistivas.

3. EFECTO DE LA FATIGA EN LA VELOCIDAD INTRACICLO

Llop (2001) presenta en su tesis doctoral realiza una revisión bibliográfica de aquellos trabajos más relevantes que relacionan la influencia de la fatiga en el ciclo de nado.

Cuando la fatiga aparece no se puede aumentar la FC y la LC disminuye enormemente (Keskinen, 1997). En general estas afirmaciones son válidas cuando se refieren a los últimos parciales, en los que, efectivamente, la LC y la velocidad de nado disminuyen. No obstante, esto no puede trasladarse a la FC, ya que en algunos casos disminuye, en otros permanece constante y en otros se incrementa conforme transcurre la prueba (Hay, 1994)

Parece ser que la estabilidad de la FC a lo largo de la prueba indica un mayor nivel de nado, y que ésta no refleja la fatiga muscular. En un principio, la FC durante la competición depende de la estrategia individual del nadador.

La incapacidad por parte del nadador para desarrollar la fuerza necesaria y vencer la resistencia del movimiento hacia delante parece ser uno de los motivos que, cuando aparece la fatiga, reduce la LC; aunque no hay que descartar la posibilidad de asociar esta reducción al incremento de la resistencia debido a una menor atención en la alineación del cuerpo (di Prampero, Pendergast, Wilson y Rennie, 1974; Pendergast, di

Prampero, Craig, Wilson y Rennie, 1978, citados por Craig, Skehan, Pawelczy y Boomer, 1985)

Con lactatos muy elevados pocos nadadores pueden mantener una gran LC, además la FC, en estas condiciones, también se ve ampliamente reducida. Esto último parece indicar que la fatiga muscular durante el trabajo anaeróbico, provoca una pérdida de la técnica de nado óptima. Por tanto, la tolerancia láctica es importante a la hora de mantener la técnica adecuada cuando se nada a altas velocidades y con una elevada FC (Weiss, Reischle, Bouws, Simon, y Weicker, 1988)

Por otro lado, en crol, el descenso de velocidad se produce paralelamente al descenso de la LC y el mantenimiento de la FC según Alves y Madeira (1995). También disminuye tanto la profundidad como la longitud de la brazada, mientras en espalda se mantienen durante todo el nado. La distancia entre el punto de entrada y el punto de salida de la mano no se modifica de forma significativa en ambos estilos. En crol, la duración relativa en la fase de entrada-deslizamiento decrece de la misma manera que el barrido arriba. En espalda decrece la duración relativa del barrido abajo.

Martins-Silva, Alves y Gomes-Pereira (1997) analizando los cambios que se producen durante los 200 metros mariposa observan que:

- se reducen las velocidades de la mano en los barridos afuera, y adentro en sus tres componentes 3-D
- se incrementa la velocidad horizontal de la mano en el barrido hacia arriba hasta la salida de la mano del agua
- se reduce la velocidad de la mano en sus tres componentes durante los barridos afuera y adentro y se aumenta la velocidad en sus tres componentes 3-D en la última parte del barrido arriba

Los resultados también apuntaban a que la velocidad alta estaba relacionada con una velocidad horizontal y lateral alta en el barrido arriba, así como con una baja velocidad horizontal durante el barrido adentro.

Estos mismos autores cuando estudian las diferencias de velocidad intraciclo del CDG (centro de gravedad) del nadador de mariposa entre niveles de rendimiento, concluyen:

- Los nadadores de más nivel muestran un descenso menor en las velocidades del CDG
- Los nadadores de más nivel muestran valores más altos de la velocidad del CDG durante el recobro de brazos

- Los nadadores de más nivel muestran menores variaciones en el coeficiente de velocidad del CDG en el ciclo completo. Siendo el coeficiente de velocidad la relación entre la velocidad máxima y mínima intraciclo

Un estudio presentado por Tella (2002) analiza dos maneras diferentes de modificar la velocidad intraciclo en nadadores braicistas durante una distancia de 25 metros. En éste se compara la velocidad intraciclo de un nadador (nadador 1) cuya tendencia es la de ir aumentando la velocidad de forma progresiva (figura 9). Por otro lado se analiza la variación intraciclo de un nadador (nadador 2) que en un esfuerzo máximo de 25 metros tiende a disminuir la velocidad de nado de forma progresiva (figura 10).

Figura 9. Tendencia creciente de la velocidad de un braicista en parciales de 2,5 m.

Figura 10. Tendencia decreciente de la velocidad de un braicista en parciales de 2,5 m.

Se analiza la evolución desde el ciclo 4 en el caso del nadador 1 (figura 12) y desde el ciclo 3 en el caso del nadador 2 (figura 13) por considerar que los ciclos precedentes han sido influidos por las acciones previas de la salida. De esta forma, se obtuvo el cambio de perfil de las variables intraciclo (figura 11) referidas a LC, velocidad media (Vmed), velocidad máxima (Vmax), velocidad mínima (Vmin), el índice de ciclo (CI), FC y la relación entre la velocidad máxima y la velocidad mínima (RV) para poder determinar como se comportan y en que se diferencian ante ganancias o pérdidas de velocidad en esfuerzos máximos de 25 metros.

Figura 11. Variables intraciclo en braza

Los resultados de ambos (tabla 2) permiten indicar que la reducción de la FC y el incremento de la diferencia entre la velocidad máxima y mínima en cada ciclo y en consecuencia de la relación velocidad máxima/velocidad mínima son los principales causantes de la pérdida de velocidad.

Tabla 2. Comparación de cómo evolucionan las variables intraciclo entre dos nadadores que realizan un esfuerzo máximo de 25 metros. Nadador 1 aumenta y nadador 2 disminuye.

Figura 12. Evolución variables intraciclo de un nadador bracista que incrementa su velocidad en un esfuerzo máximo de 25 m.

Figura 13. Evolución variables intraciclo de un nadador bracista que incrementa su velocidad en un esfuerzo máximo de 25 m.

En la figura 14, se puede apreciar las diferencias intraciclo detectadas entre uno de los primeros ciclos (ciclo 3) y el último ciclo (ciclo 10) en el caso del nadador que disminuye su velocidad de desplazamiento.

Figura 14. Diferencias intraciclo en braza ante una tendencia de pérdida de velocidad ante un esfuerzo máximo de 25 m.

En un análisis más detallado se ha comparado las modificaciones intraciclo entre la brazada y la patada. Esta comparación (figura 15) se ha realizado tomando como ejemplo los ciclos realizados por el nadador 2:

- Comparación entre las variables intraciclo de la brazada y la patada en el ciclo 3 y en el último ciclo. En este caso la fase de la brazada tanto en el ciclo 3 como en el último alcanza valores inferiores, excepto en la LC alcanzada.
- Comparación entre las variables intraciclo de la brazada del ciclo 3 con el último ciclo y comparación de la patada en el ciclo 3 y en el último ciclo. En este caso cuando se compara los cambios de la fase de la patada entre el ciclo 3 y el último ciclo el resultado es similar al analizado sobre el ciclo completo, es decir, una reducción de la FC, un incremento de la diferencia entre la velocidad máxima y mínima en cada ciclo y en consecuencia un aumento de la relación velocidad máxima/velocidad mínima. Sobre los cambios observados en la fase de brazada, además hay que destacar que la velocidad máxima alcanzada en el último ciclo se reduce. Este análisis puede apuntar hacia la importancia de la pérdida de velocidad máxima de los brazos como una de las causantes de la pérdida de velocidad en esfuerzos máximos.

Figura 15. Diferencias intraciclo en braza ante una tendencia de pérdida de velocidad ante un esfuerzo máximo de 25 m de la fase de patada o de brazada

4. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO INTRACICLO

En la natación actual se ha demostrado tener gran importancia los estudios relacionados con el análisis de la técnica. Los nadadores necesitan obtener información de sus movimientos para poder mejorar su rendimiento.

Sin embargo existe una diferencia metodológica con otras disciplinas no acuáticas, en tanto que el medio donde se produce la actividad dificulta la toma de datos. Los dispositivos para la obtención de datos técnicos acuáticos son más específicos que los normalmente utilizados para el análisis técnico en el medio terrestre.

En estos estudios es común el uso de cámaras subacuáticas, Madeira y Alves (1995), velocímetros, Buckwitz i Bähr (2003), acelerómetros, Buchner i Reischle (2002), tanto del centro de gravedad, Maglischo (1993) como de los segmentos propulsores del cuerpo, Ichikawa i Ohgi (1998).

En la década de los 30 aparecen los primeros estudios con instrumentos específicos para la medición de la velocidad en el medio acuático, Karpovich (1930) citado en Miyashita (1998). El nadador iba sujeto a una cuerda que formaba parte del mecanismo de medición. Dicho mecanismo tenía dos poleas que permitía el desplazamiento del nadador. Al pasar la cuerda por una de las poleas se captaba la velocidad de la cuerda y por tanto del nadador.

Más adelante Miyashita, (1970) utiliza un aparato similar al de Karpovich aunque capta las diferencias de velocidad en un ciclo de nado en crol.

El trabajo de Kent y Atta (1975) supone 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, Vollers, 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 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.

En 1994, Keskinen, (1994) filmó a 12 nadadores con una cámara subacuática y concluyó 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 Dr. Craig de la Universidad de Rochester. Maglischo (1993)

Gracias a estos aparatos las variaciones de velocidad se solapaban con la filmación de la cámara subacuática 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). En contra de los velocímetros está el hecho de que únicamente miden la velocidad lineal de los nadadores por lo que la exactitud de los resultados se ve algo influenciada por las oscilaciones verticales, si bien estas son de poca importancia.

Los protocolos empleados para el registro de la velocidad utilizando el velocímetro se han caracterizado por la similitud de estos (Costill, Lee y D'Acquisto, 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 recoge Maglischo, 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 (Maglischo y col 1987, Costill y col 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 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, establece 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 había 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 (Barbosa, Santos Silva, Sousa y Vilas-Boas 2002).también encuentra una correlación alta entre la velocidad horizontal del centro de gravedad con la de la cadera.

Los trabajos en donde se ha utilizado el velocímetro como instrumento para registrar los datos intraciclo han tenido como objetivo:

- Analizar la técnica del estilo de nado sometido a estudio. En la mayoría de ellos respecto al estilo braza, y sus diferentes formas de nado como el de Tourny, Chollet, Micallef y Macabies (1992).
- Analizar y comparar aspectos cinemáticos del estilo como las fluctuaciones de velocidad del estilo respecto a la velocidad media tratados en Miyashita (1970)
- Establecer las modificaciones del estilo atendiendo a factores tales como la fatiga, la respiración, entre otros, como el aparecido en el estudio de Alves y Madeira (1995)

D'Acquisto y col. (1988) validan el velocímetro al compararlo con la digitalización de la filmación subacuática al establecer un coeficiente de correlación de 0.95.

Roig, Ferrer, Balias, Turró i Borrás (2000) realizan un estudio comparativo de la fiabilidad de la medida de la velocidad 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 actuales realizados por Tella, Jordá, Madera, Saavedra, Benavent y Llana (2005) suponen una reducción del material utilizado para el estudio de la velocidad intraciclo. La empresa JLML diseñó para este estudio un velocímetro (modelo MV-30) que sincronizaba directamente en el ordenador las señales de video y las de velocidad (figura 16). Esto suponía que a cualquier valor de gráfica se le correspondiera un fotograma de la imagen. Esto ha supuesto un avance respecto a metodologías anteriores

en tanto que la sincronización en el ordenador permite atribuir valores de velocidad a momentos concretos del nadador. Actualmente el grupo trabaja en la evolución de un nuevo velocímetro de la marca “Sportsmetrics” al que se le simultanearan dos cámaras, una frontal y la otra lateral para obtener información en los dos planos y un acelerómetro inalámbrico.

Figura 16. Patrones de velocidad y e imágenes correspondientes al inicio de cada fase de desplazamiento intraciclo en el estilo crol.

INFLUENCIA DE LA FATIGA EN EL ÍNDICE DE COORDINACIÓN Y LA VELOCIDAD INTRACICLO EN NADADORES CROLISTAS.

El análisis de las variaciones de velocidad aporta información sobre la contribución de las diferentes fases en el movimiento del nadador (Chollet, 1997). La aplicación desigual de las fuerzas de avance propulsivas y resistidas es la causa de los cambios de aceleración, y como consecuencia, de la variación de la velocidad durante el ciclo completo (D’Aquisto y Costill, 1998). La interacción entre ambas fuerzas genera fluctuaciones en la velocidad intraciclo (Kreighbaum y Barthels, 1990). Para la valoración de la coordinación en crol se utiliza un índice de coordinación (CI) que atiende a la posición de los miembros superiores (Chollet, Chabies, y Chatard 2000). Para el estudio de la velocidad intraciclo se pueden establecer 4 fases en nadadores crolistas (Tella, Jordá, Madera, Saavedra, Benavent, Llana, 2005). Antes y después de aparecer la fatiga muscular a intensidad máxima, el ciclo completo disminuye la velocidad media, aumenta los tiempos de propulsión de las fases propulsivas y no se diferencia en las variaciones porcentuales de la velocidad máxima y mínima, ni en el coeficiente de variación de la velocidad (Alberty, Hespel, Huot-Marchand, Pelayo, 2003). El objeto del estudio es establecer un patrón de cambios de velocidad intraciclo en crolistas en esfuerzos de máxima intensidad con y sin fatiga y su relación con la coordinación de nado.

5.1 MÉTODO

Muestra: 17 nadadores de nivel nacional en edades comprendidas entre los 14 y los 16 años (10 chicos, 7 chicas)

Material: Para el registro de la velocidad intraciclo se utilizó un velocímetro JLML de MV-30 m que se sujetaba al nadador a través de un cinturón. La frecuencia de registro era de 1000 Hz. Dicho registro se sincronizó con una cámara subacuática con una

frecuencia de registro de 50 Hz. La información del velocímetro y de la cámara se sincronizaba gracias a un software de un ordenador.

La cámara se colocaba a 15 metros de la línea de salida y perpendicularmente a 5 metros del movimiento del nadador.

Protocolo: Los nadadores realizaban dos series a máxima velocidad. Una primera distancia de 25 metros que se consideró como una situación “sin fatiga” (A), y una segunda de 25 metros, tras un 75 previo también a máxima velocidad que se consideró como una situación “con fatiga” (B). En esta segunda había unos 10” entre los 75 metros iniciales y el último 25 en el que se colocaba el cinturón con el cable del acelerómetro. Entre ambas situaciones existía un descanso de 10 minutos. El ciclo completo seleccionado fue aquel que apareció de forma completa en la cámara subacuática.

Datos: El ciclo filmado se dividió en 4 fases (tabla 3) atendiendo a las acciones propulsoras realizadas con los brazos, de tal forma que el barrido hacia dentro de un brazo no coincide con la acción propulsora del otro. Sin embargo, en algunos momentos las acciones propulsoras del barrido hacia abajo de un brazo coinciden con las acciones propulsoras de barrido hacia arriba del otro. Por consiguiente, la fase 1 coincide con el barrido hacia dentro del brazo derecho y la fase 3 con el barrido hacia dentro del brazo izquierdo. Las fases 2 y 4 empiezan con el barrido hacia arriba de uno de los brazos y finalizan con el barrido hacia abajo del brazo opuesto. Para la evaluación de la coordinación se utilizó el IC. Este índice es un valor porcentual sobre el tiempo total de un ciclo completo y es nulo cuando coinciden el fin de la propulsión de un brazo con el inicio del otro. IC es negativo en el caso de realizarse un retraso (tiempo muerto). Es positivo si existe superposición de las acciones de los dos brazos (Chollet y col. 2000). Las variables dependientes han sido: LC, FC, CI, V_{media} , IC así como la velocidad media de cada una de las fases (V de F1, F2, F3 y F4). El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico SPSS 11.5 y consistió en un análisis descriptivo (comparación de muestras relacionadas e independientes) y en un análisis correlacional (coeficiente de correlación de Pearson) para las variables antes comentadas.

Tabla 3. Fases seleccionadas para el análisis intraciclo

5.2 RESULTADOS

La tabla 4 muestra tanto las diferencias entre las variables dependientes FC (cyclos/minuto), LC (metros/ciclo), CI ($LC \cdot V$), V (metros/segundo) e IC (%). Según el tipo de serie tanto los nadadores como las nadadoras obtienen diferencias significativas en FC, V y CI. Según el género en la serie A las diferencias significativas se obtienen en la LC, V y CI. En la serie B sólo se obtienen diferencias significativas en V y en CI entre géneros.

Tabla 4. Diferencias entre las variables dependientes CF, CL, CI, V e IC

El análisis intraciclo expresa las diferencias entre las velocidades medias en cada una de las fases (tabla 5). Así, cuando se comparan las diferentes velocidades entre géneros, sólo la VF4 en la serie B no muestra diferencias significativas. Del análisis de la evolución de las velocidades de las diferentes fases en nadadores, sólo se encuentran diferencias significativas entre la VF1 y la VF2 en la serie B. En nadadoras, se encuentran diferencias significativas tanto entre VF1 y VF2, como con VF2 y VF3 y entre VF3 y VF4 en la serie A. Las diferencias encontradas en las velocidades medias por fases en la serie A con respecto a la serie B son significativas en ambos géneros.

Tabla 5. Estadísticos de la velocidad media en cada fase

El análisis correlacional muestra en A y B, que V tiene una correlación alta y positiva ($r > 0,8$; $p < 0,01$) con Vf1 y Vf3 para ambos géneros (tabla 4). En B, Vf2 para los nadadores ($r = 0,8$; $p < 0,01$) y Vf4 para las nadadoras ($r = 0,9$; $p < 0,01$) obtienen una correlación positiva. Sobre IC en B se muestra una correlación alta y positiva ($r = 0,9$; $p < 0,01$) en las nadadoras con Vf4 (tabla 5)

Tabla 6. Relación entre la velocidad media e IC con VF1, VF2, VF3 y VF4 en nadadores y nadadoras.

5.3 DISCUSIÓN

La LC y el IC en fatiga no se diferencian con los valores obtenidos sin fatiga. FC, V y CI reducen sus valores de forma significativa. Estos datos contrastan con la reducción de LC e IC en otros estudios que analizan estas variables al principio y al final de un esfuerzo máximo (Alberty y col, 2003). La diferencia entre los resultados obtenidos con

el presente estudio puede deberse a la variabilidad con que los nadadores responden a la pérdida de velocidad. Los análisis correlacionales de estas variables con la velocidad de nado intraciclo podrían facilitar información sobre como modifican la LC e IC los mejores nadadores.

En cuanto a las velocidades obtenidas en las diferentes fases estudiadas, las nadadoras obtienen velocidades inferiores que los nadadores en todas las fases y series, excepto en la fase 4 y en condiciones de fatiga. Sin fatiga la velocidad de las fases 2 y 4 es más alta que la velocidad de las fases 1 y 3. Esto es significativo en el caso de las nadadoras. Con fatiga las diferencias entre las velocidades no son significativas. Según estos resultados sólo se puede destacar como un patrón repetitivo los cambios de velocidad por fases que se producen en las nadadoras en la serie A.

También la pérdida de velocidad de las 4 fases en fatiga si que responde a un patrón repetitivo en ambos géneros. Sobre los cambios de velocidades en las fases descritas en este estudio sería necesario realizar nuevos trabajos con poblaciones mayores que pudieran determinar, si fuese el caso, los patrones de cambio que realizan los mejores nadadores.

Los resultados permiten determinar que los mejores nadadores obtienen mayores velocidades en las fases 1 y 3 en ambas series. De esta manera se destaca la importancia de estas fases en el rendimiento tanto del nadador como de la nadadora. Por el contrario, sólo los mejores nadadores tienen mayores velocidades en la fase 2 en situación de fatiga, así como las mejores nadadoras obtienen las mayores velocidades en la fase 4 en situación de fatiga. Estas relaciones en las fases 2 y 4 pueden obedecer a que los mejores nadadores tengan un mejor equilibrio entre las fuerzas propulsivas y las fuerzas resistivas. Así como la fatiga, en los peores nadadores podría dificultar la coordinación cuerpo/brazos/piernas en unas fases donde el rolido es máximo (D'Aquisto y col, 1998; Kreighbaum y col 1990).

En este estudio, el IC no varía cuando los nadadores están fatigados. Este hecho contrasta con la disminución de IC en otros estudios (Alberty y col, 2003). De esta manera, el incremento de IC obtenido ante velocidades decrecientes (Chollet, Chalies, y Chatard, 2000) puede no producirse cuando la pérdida de velocidad es debida a una situación de fatiga como así se describe en el presente estudio. Por lo que el IC puede no aportar información relevante sobre los cambios de coordinación en situaciones de fatiga.

El estudio relacional del IC con las velocidades medias intraciclo y con las velocidades medias en las diferentes fases nos informa en este estudio que en los nadadores no existe ninguna relación entre los mejores nadadores y el tipo de coordinación. En cambio en las nadadoras, la relación establecida indica que las mejores nadadoras en situación de fatiga tienen un IC mayor. También obtienen una relación alta entre la velocidad en la fase 4 y los valores de IC, que puede destacar la importancia de mantener valores altos de IC para reducir las pérdidas de velocidad en condiciones de fatiga. La velocidad de la fase 4 en condiciones de fatiga no obtiene diferencias significativas entre nadadores y nadadoras. Este dato descriptivo podría ser justificado por el aumento del IC en las nadadoras en condiciones de fatiga y su alta correlación con la velocidad en la fase 4.

5.4 CONCLUSIONES

- Cuando se nada sin fatiga, Vf1 y Vf3 parecen ser buenos indicadores del rendimiento.
- Cuando se nada con fatiga, Vf1, Vf2 y Vf3 para los nadadores y Vf1, Vf3 y Vf4 para las nadadoras son buenos indicadores del rendimiento.
- En las nadadoras, un IC alto cuando se nada con fatiga está relacionado con un mejor rendimiento en V y en Vf4.

En conclusión, el análisis conjunto del IC y de las Vf1, Vf2, Vf3 y Vf4, puede aportar información relevante sobre el tipo de coordinación más adecuado cuando nada en condiciones diferentes de fatiga.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alberty M., Hespel J.M., Huot-Marchand F., Pelayo, P. (2003). Effect de la fatigue sur la vitesse de nage instantanee et sur les coordinations en crawl. 3èmes Journées Spécialisées de notation. Publibook, Lille

Alberty M., Sydney M., Deberle J., Potdevin F., Hespel J., Pelayo P (2003) Effects of an exhaustive exercise velocity variations in front crawl stroke. *Biomechanics and Medicine in Swimming Science IX* (pp 81-85) University de Saint Etienne

Alves, F y Madeira, R. (1995). Kinematic changes whit fatigue in front-crawl and backstroke swimming. En: Hakkinen, K. (ed) et al. XVth Congress of the International Society of Biomechanics: book of abstracs. University of Jyvaskyla. Jyvaskila. 46-47

Barbosa T., Santos Silva V., Sousa F., Vilas-Boas J.P. (2002) Comparative study of the response of kinematical variables from the hip and the center of mas I butterflies.

Biomechanics and Medicine in Swimming Science IX (pp 93-97) University de Saint Etienne.

Buchner M., Reischle K (2002) Measurements of the horizontal intracyclic acceleration in competitive swimming with a newly developed accelerometer-goniometer-device. *Biomechanics and Medicine in Swimming Science IX* (pp57-62) University de Saint Etienne.

Buckwitz R., Bähr H., Ungerechts B. (2003). Direct measurement of intra-cyclic velocity fluctuations in a swimming flume. In *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, (edited by J.C. Chatard), pp. 105-109, Saint Etienne, Université de Saint Etienne

Chengalur S.N., Brown P. (1992) Analysis of male and female olympics swimmers in the 200 meter events. *Canadian Journal of Sports Sciences*, 17, 104-109.

Chollet D., Boulesteix L. (2001) Evolution of the butterfly coordination in relation to velocity and skill levels of swimmers, in J.R. Sanders (Eds), *XIX International Symposium on Biomechanics in Sports*, 22-26. University of San Francisco

Chollet D., Boulesteix L. (2003) Evaluation de la coordination par l'index de propulsion en fonction de la vitesse chez des nageurs experts en papillon. *3^{èmes} Journées Spécialisées de Natation* (pp77-79) Publibook

Chollet, D.; Tourny, C. y Gleizes, F. (1999). Evolution of co-ordination in flat breaststroke in relation to velocity. En: Keskinen, K.L., Komi, P.V. y Hollander, A.P. (ed) *Biomechanics and medicine and swimming VIII*. University of Jyvaskyla. Jyvaskyla. 29-32

Chollet D., Chabies S., Chatard J.C. (2000) A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *International Journal Sport Medicine*, 21 (pp 54-59)

Chollet D., Chabies S., Millet G., Hue O., Lerda R., Cardelli C., Seifert L y Chatard J.C (2003) Evaluation du crawl par l'index de coordination. *3^{èmes} Journées Spécialisées de Natation* (pp72-75) Publibook

Chollet D., Seifert L., Leblanc H., Pedroletti M. (2003) Evolution de la coordination bras-jambe en brasse en fonction du niveau d'expertise. *3^{èmes} Journées Spécialisées de Natation* (pp79-83) Publibook

Chollet, D. (1997). *Natation sportive. Approche scientifique*. Ed Vigot

Colwin, C. (1992). *Swimming into the 21 st century*. Leisure Press, Champaign.

Costill D.L., Lee G., D'Acquisto L (1987) Video computer assisted analysis of swimming technique. *Swimming Research*, 3,5-9

Costill D.L., Maglischo E.W., Richardson A.B. (1992) *Swimming*. Blackwell Scientific Publications

Counsilman J.E. y Wasilak, J. (1982). The importance of hand speed and hand acceleration. In 1981 ASCA World Clinic Yearbook, edited by R.M. Ousley, 41-45. Fort Lauderdale, F.L.: American Swimming Coaches Association.

Craig A.B., Skehan P.L., Pawelczyk J.A. y Boomer W.L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and science in sports and exercise*. Indianapolis. 17 (6), 625-634

Craig A.B. y Pendergast D.R. (1979). Relationship of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming. *Med. Sci. Sports*, 11(3), 278-283

D'Acquisto L., Costill D.L (1998) "Breaststroke economy, skill and performance: study of breaststroke mechanics using a computer based "Velocity-Video System". *The Journal of Swimming Research*, 4, 9-13

D'Acquisto L., Costill D.L. (1998) Relationship between intra-cycle linear body velocity fluctuations, power and sprint breaststroke performance. *The Journal of Swimming Research*, 13, 8-14.

Ichikawa H., Ohgi Y., Miyaji C. (1998) Analysis of stroke of the freestyle swimming using accelerometer. *Biomechanics and Medicine in Swimming Science VIII* (pp159-164) Department of biology of physical activity. University of Jyväskylä.

Kent M.R., Atha J. (1975). Intracycle kinematics and body configuration changes in the breaststroke. In: L. Lewillie, J.P. Clarys (Eds.), *International Series on Sports Sciences, Vol.2, swimming II* (pp. 125-129). Baltimore: University Park Press

Keskinen, K.L (1994) Measurement of technique in crawl swimming. In: *Medicine and Science in Aquatic Sports* Eds. M Miyashita y Mutoh and AB Richardson, Karger, (pp 117-125)

Keskinen, K.L. (1997). The relation of fatigue on stroking technique. En Abstrac XII FINA World Congress on Swimming Medicine. Fina, Svenska Simförbundet. Göteborg.

Kolmogorov, S.V.; Rumyantseva, O.A.; Gordon, B.J.; y Cappaert, J.M. (1997). Hydrodynamic characteristics of competitive swimmers of different genders and performance levels. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 88-89

Kreighbaum, E. & Barthels, K. M. (1990) *Biomechanics. A Qualitative Approach for Studying Human Movement*. Macmillan Publishing Company, New York

Llana y col. , 2004

- Llop (2001). Variación de parámetros cinemáticos y fisiológicos entre el nado normal y el nado resistido con paracaídas en el estilo de crol, durante 10 y 45 segundos. Tesis doctoral. Universidad de Granada
- Maglischo E.W (1984). A 3-dimensional cinematographical análisis of competitive swimming strokes. In 1983 ASCA World Clinic Yearbook, edited by R.M. Ousley, 1-14. Fort Lauderdale. Fla.: America swimming coaches association
- Maglischo C.W., Maglischo E.W., Santos T.R (1987) The relationship between de forward velocity of the center of gravity and the forward velocity of the hip in the four competitive strokes. *J. Swimming Research*, 2, 11-17
- Maglischo E.W (1993). *Swimming even faster*. Mayfield Publishing Company. California
- Maglischo E.W (2003). *Swimming fastest*. Human Kinetics. United States
- Martins-Silva A., Alves F., Gomes-Pereira J., (1997) Changes in the intra-cycle c.g.body velocity in butterfly swimming during a 200 m maximum trial: A comparative study among levels of competitive performance. *World Congress of Swimming Medicine*
- Mason, B.R.; Patton, S.G.; Newton, A.P. (1989). Propulsion in breaststroke swimming. In *Proceedings of the VII International Symposium on Biomechanics in sports*, edited by W.E. Morrison, 257-267. Melbourne, Australia: Footscray Institute of Technology.
- Mason B.R., Tong Z. Richard R.J (1992) Propulsion in the butterfly stroke, In D. MacLaren, T Reilly and A. Lees (eds), *Biomechanics and Medicine in Swimming Science VI*, London, E & FN Spon, 1992 (pp 81-86)
- Miyashita M (1970) An análisis of fluctuations of swimming speed. In: *Proceedings of 1st International Simposium on Biomechanics in Swimming, Waterpolo and Diving*. L Levillie and JJ Clarys, Universite Libre de Bruxells, (pp 53- 58)
- Miyashita, M. (1977). Fluctuations Of swimming speed in the crawl stroke. In *The Bio-Physics of Swimming*, 7-13, Tokyo: The University of Tokyo
- Miyashita, M. (1998). *The Bio-Physics of swimming. Three Decades of Research*, 4-9. Tokyo: University of Tokyo
- Reischle K., Gaisser G., Vollers B. (1981). A kinematic analysis of intracycle speed fluctuations and movement patterns in swimming using chronocyclographic LED drivers. In: A. Morecki, K. Fidelus, K Kedzior, A. Wit (Eds.), *Biomechanics VII-B* (pp460-464). Warszawa: PWN-Polish Scientific Publishers and University Press, Baltimore.

- Roig A., Ferrer V., Balius X., Turró C., Borràs X. (2000) Método de análisis de la técnica del nadador. *Apunts n° 59* (pp 40-43)
- Schleihauf R.E. (1982) 3-D computer stroke analysis. *Swimming Technique*, 11 (pp89-96)
- Schleihauf, R.E.; Higgins, J.; Hinrichs, R.; Luedtke, D.; Maglischo C.; Maglischo, E. y Thayer, A. (1988). Propulsive techniques: Front crawl stroke, butterfly, backstroke and breaststroke. In International Series On Sport Sciences. Vol 18, Swimming Science V, edited by B. Ungerechts, K. Wilke and K. Reischle, 53-60. Champaign, IL: Human Kinetics
- Tella, V. (2002). El control del entrenamiento en natación. En: Saavedra, JM.; Escalante, Y. y Macias, M.M. Aportaciones sobre actividades acuáticas y natación deportiva
- Tella, V., Jordá, J., Madera, J., Saavedra, P., Benavent, J., Llana, S. (2005). Fatigue effects on intra-cycle speed in freestylers. 1^{er} Congrés Mundial de natation. INSEP, Paris
- Tourny C., Chollet D., Micallef J.P., Macabies J. (1992). Comparative analysis of studies of speed variations within a breaststroke cycle. In *Swimming Science VI*, (edited by D. MacLaren, T. Reilly, and A. Less), pp. 161-166, London, E & FN Spon
- Vilas-Boas J.P., Santos P. (1994) Comparison of swimming economy in three breaststroke techniques. In M Miyashita., Y Mutoh., A.B Richardson (Eds): *Medicine and science in aquatic sports, Medicien Sports Science*, Vol 39 (pp 48-54)
- Vilas-Boas J.P. (1996) Speed fluctuations and energy cost of different breaststroke techniques. In J.P Troup, A.P Hollander, D. Strass, S.W. Trape, J.M Cappaert and T. A Trappe (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming, VII* (pp 161-171) London, E &FN Spon
- Weiss, M.; Reischle, K.; Bouws, N.; Simon, G.; y Weicker, H. (1988). Relationship of blood lactate accumulation to stroke rate and distance per stroke in top female swimmers. En: Ungerechts, B.E. et al. (eds), *Swimming Science V*. Human Kinetics Publishers. Champaign, III., 295-303

Figuras y Tablas

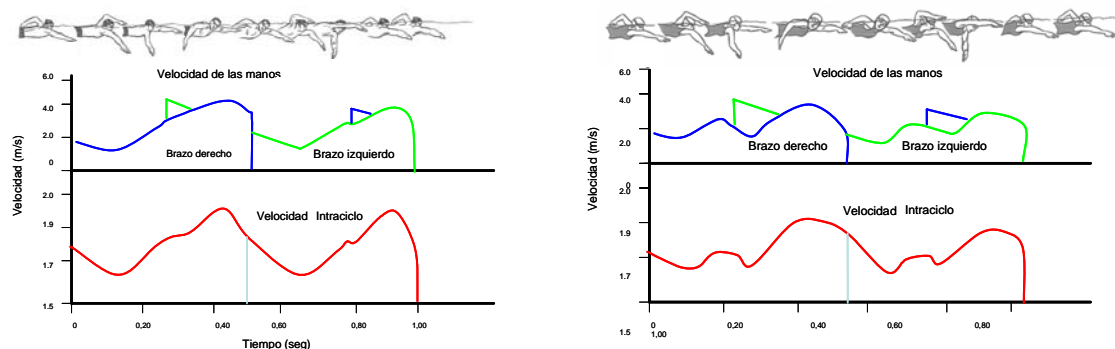


Figura 1. Patrones de velocidad de desplazamiento intraciclo y de manos en el estilo crol (Adaptada de Maglischo, 2003)

	$V_{\text{máx D}}$	$V_{\text{mín D}}$	$V_{\text{med D}}$	$V_{\text{máx I}}$	$V_{\text{mín I}}$	$V_{\text{med I}}$	$V_{\text{máx C}}$	$V_{\text{mín C}}$	$V_{\text{med C}}$
1er 25	2,06	1,23	1,64	2,04	1,32	1,62	2,04	1,23	1,60
Últ 25	1,56	1,01	1,28	1,52	1,03	1,26	1,56	1,01	1,25

Tabla 1. Valores de la velocidad en una nadadora durante el primer parcial y último en una simulación de la prueba de 100 metros

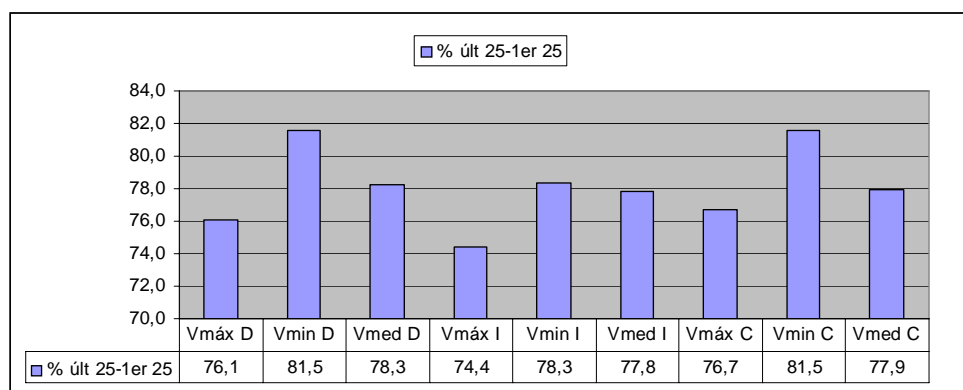


Figura 2. Perdida porcentual de la velocidad intraciclo en una simulación de la prueba de 100 metros

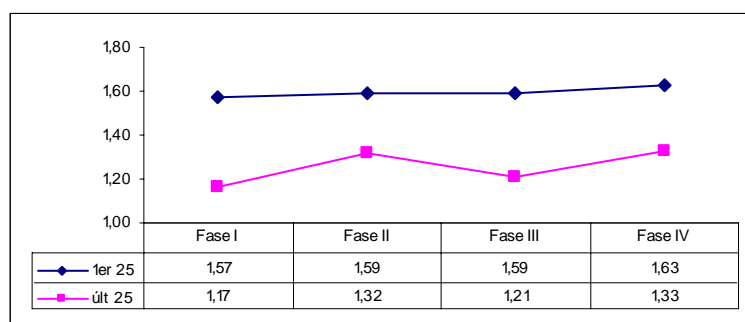


Figura 3. Variaciones de velocidad media en 4 fases diferentes durante un ciclo completo de brazos en el primer y último 25 en una simulación de la prueba de 100 m.

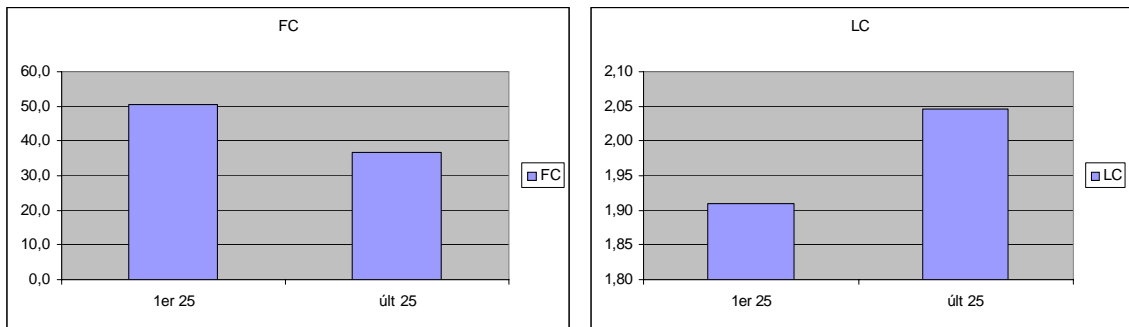


Figura 4. Cambios de frecuencia y longitud de ciclo en una simulación de 100 m.

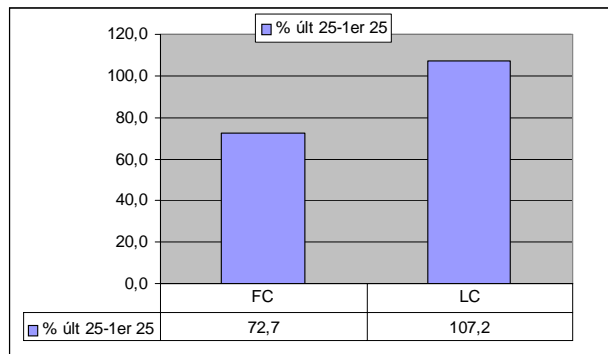


Figura 5. Modificaciones porcentuales entre el último y el primer parcial de 25 en una simulación de la prueba de 100 m.

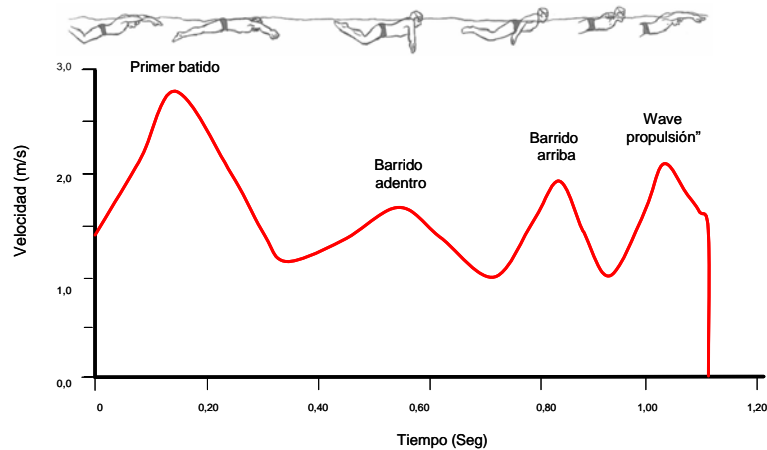


Figura 6. Patrones de velocidad de desplazamiento intraciclo en el estilo mariposa (Adaptada de Maglisco, 2003)

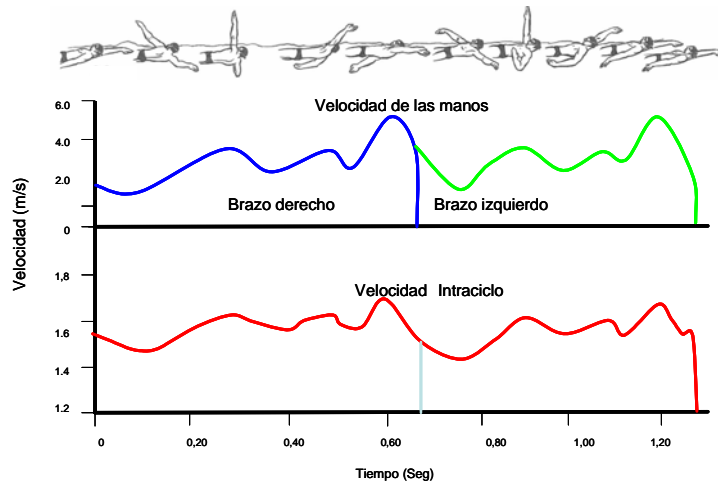


Figura 7. Patrones de velocidad de desplazamiento intraciclo y de manos en el estilo espalda (Adaptada de Maglischo, 2003)

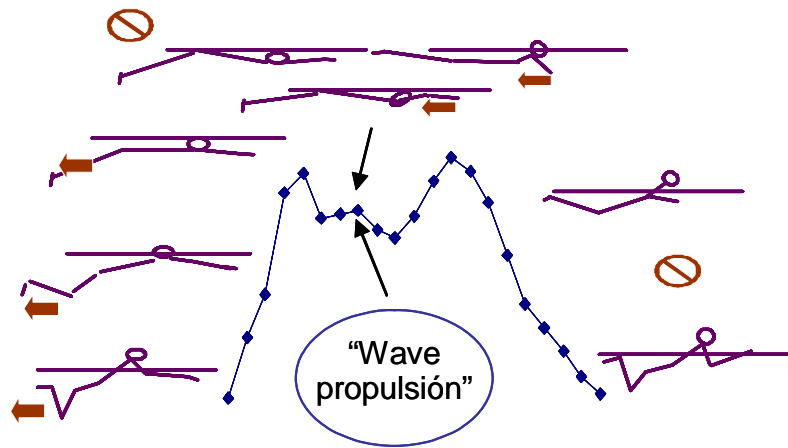


Figura 8. Patrones de velocidad de desplazamiento intraciclo en el estilo braza. Registros obtenidos con el velocímetro JLML MV30

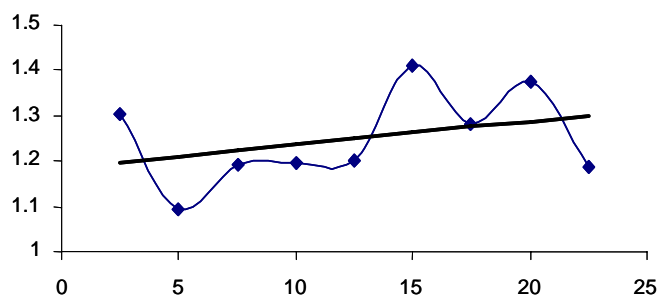


Figura 9. Tendencia creciente de la velocidad de un bracista en parciales de 2,5 m.

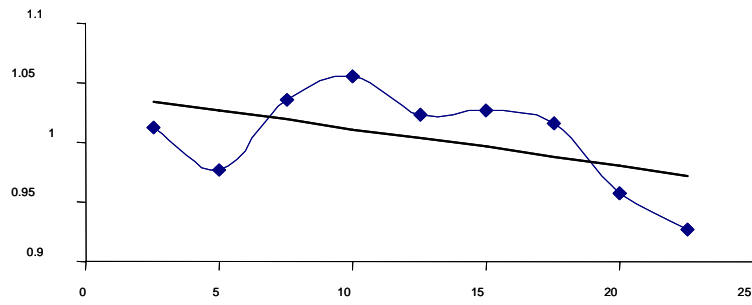


Figura 10. Tendencia decreciente de la velocidad de un bracista en parciales de 2,5 m.

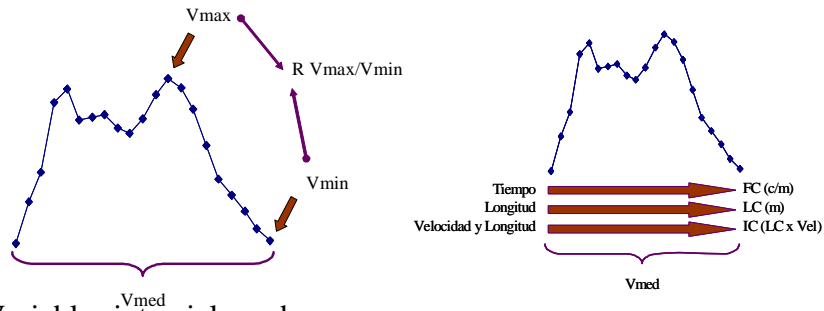


Figura 11. Variables intracyclo en braza

	Nadador 1 (+ velocidad)	Nadador 2 (- velocidad)
FC	aumenta	disminuye
LC	aumenta	aumenta
Vmax	mantiene	aumenta
Vmin	aumenta	disminuye
IC	aumenta	igual
RV	disminuye	aumenta

Tabla 2. Comparación de cómo evolucionan las variables intracyclo entre dos nadadores que realizan un esfuerzo máximo de 25 metros. Nadador 1 aumenta y nadador 2 disminuye.

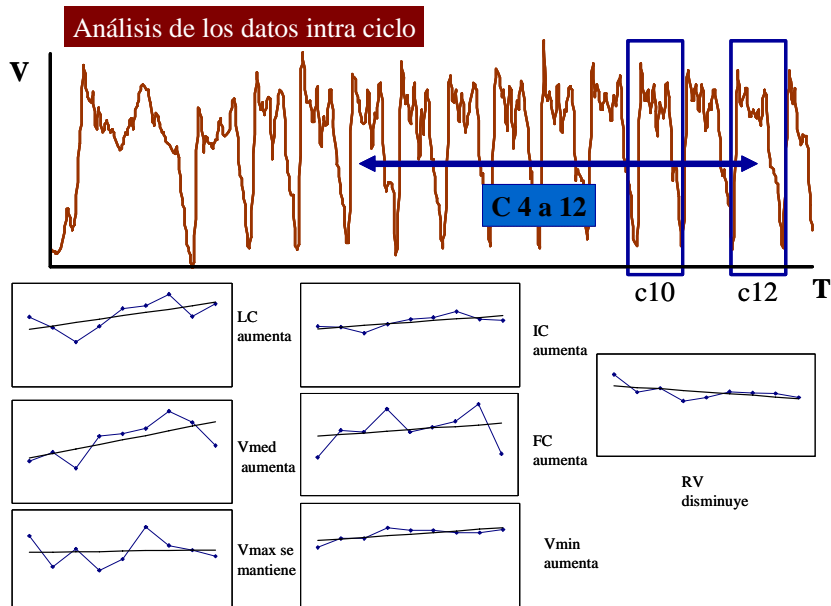


Figura 12. Evolución variables intraciclo de un nadador bracista que incrementa su velocidad en un esfuerzo máximo de 25 m.

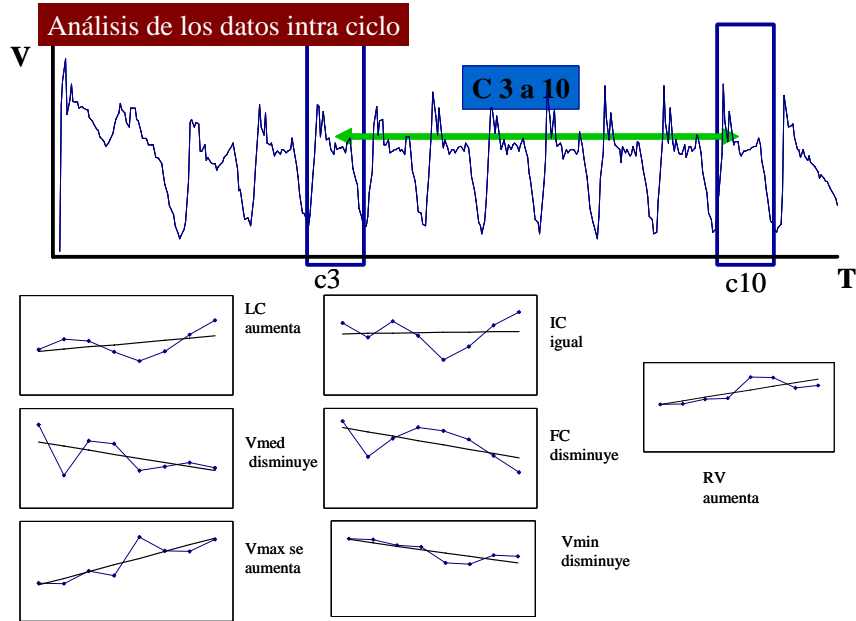
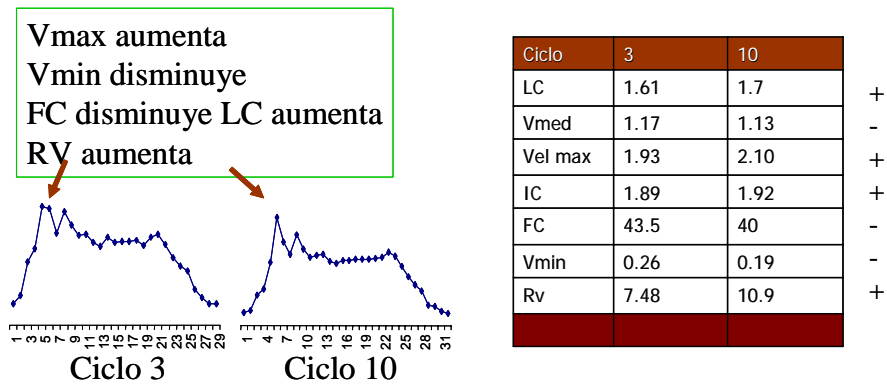


Figura 13. Evolución variables intraciclo de un nadador bracista que incrementa su velocidad en un esfuerzo máximo de 25 m.

Análisis comparativo entre ciclos 3y 10



En la figura 14, se puede apreciar las diferencias intraciclo detectadas entre uno de los primeros ciclos (ciclo 3) y el último ciclo (ciclo 10) en el caso del nadador que disminuye su velocidad de desplazamiento.

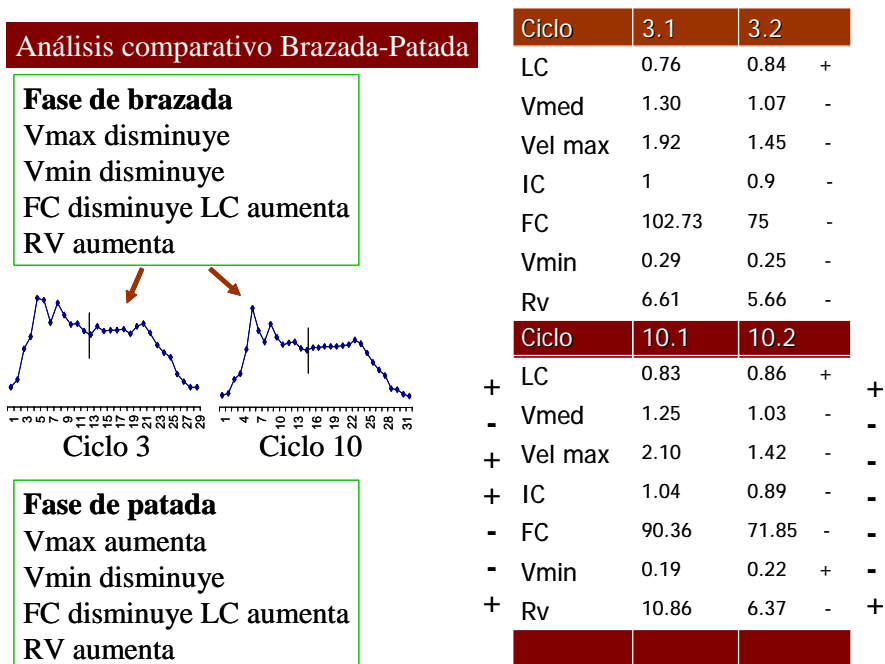


Figura 15. Diferencias intraciclo en braza ante una tendencia de pérdida de velocidad ante un esfuerzo máximo de 25 m de la fase de patada o de brazada

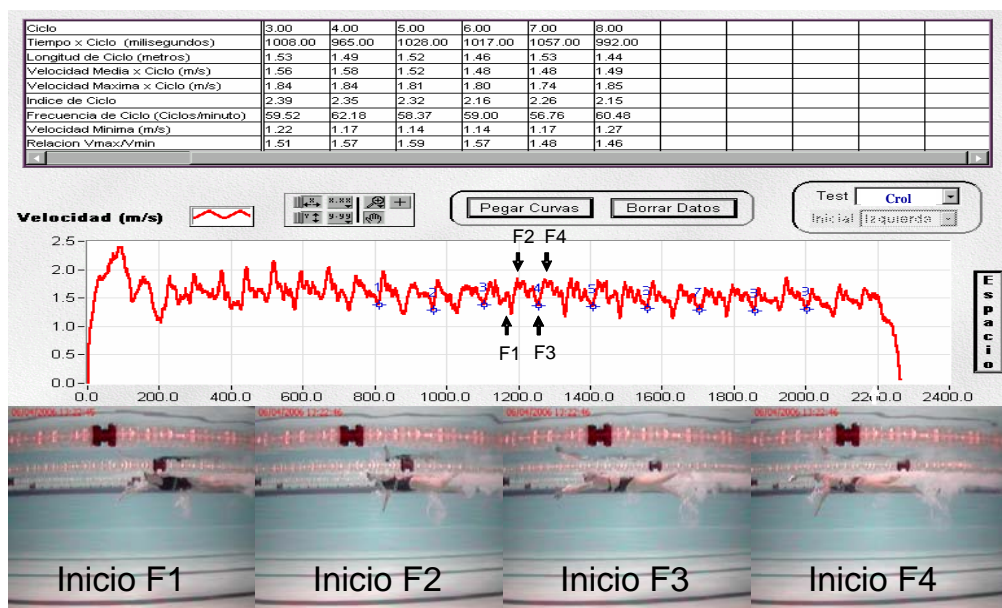


Figura 16. Patrones de velocidad y e imágenes correspondientes al inicio de cada fase de desplazamiento intraciclo en el estilo crol.

	Fase 1 (Barrido adentro derecho)	Fase 2	Fase 3 (Barrido adentro izquierdo)	Fase 4
Inicio fase	Final de barrido abajo brazo derecho	Inicio de barrido arriba brazo derecho	Final de barrido abajo brazo izquierdo	Inicio de barrido arriba brazo izquierdo
Final fase	Inicio de barrido arriba brazo derecho	Final de barrido abajo brazo izquierdo	Inicio de barrido arriba brazo izquierdo	Final de barrido abajo brazo derecho

Tabla 3. Fases seleccionadas para el análisis intraciclo

Diferencias masculino-femenino * p<0,05 ** p<0,01

	Masculino				Femenino			
	N	Media	DT	p	N	Media	DT	p
FCA	10	56,87	4,29	0,000	7	54,75	6,78	0,002
FCB	10	48,89	4,85		7	45,37	7,29	
LCA	10	1,78*	0,12		7	1,60*	0,26	
LCB	10	1,76	0,12	0,000	7	1,60	0,23	0,001
VA	10	1,68**	0,07		7	1,43**	0,09	
VB	10	1,42**	0,09		7	1,19**	0,13	
CIA	10	3,02**	0,33	0,000	7	2,32**	0,36	0,001
CIB	10	2,54**	0,23		7	1,85**	0,28	
ICA	10	4,84	2,48		7	6,34	2,41	
ICB	10	5,47	4,05		7	8,44	3,85	

Tabla 4. Diferencias entre las variables dependientes CF, CL, CI, V e IC

	Serie	Género	N	Media	dt	p	Según género y serie			Según género y serie B				
							VF2	VF3	VF4	VF1	VF2	VF3	VF4	
							p	p	p	p	p	p	p	p
VF1	A	M	10	1.68	0.09	0.000	0.004			0.000				
		F	7	1.42	0.10					0.001				
VF2	A	M	10	1.71	0.10	0.000		0.004			0.001			
		F	7	1.55	0.03						0.002			
VF3	A	M	10	1.65	0.09	0.000			0.032			0.000		
		F	7	1.41	0.10							0.001		
VF4	A	M	10	1.74	0.12	0.001								0.001
		F	7	1.52	0.09									0.004
VF1	B	M	10	1.40	0.11	0.002	0.026							
		F	7	1.17	0.15									
VF2	B	M	10	1.49	0.13	0.003								
		F	7	1.26	0.13									
VF3	B	M	10	1.43	0.10	0.000								
		F	7	1.18	0.11									
VF4	B	M	10	1.39	0.23									
		F	7	1.25	0.20									

Tabla 5. Estadísticos de la velocidad media en cada fase

* p<0,05 ** p<0,01

V	N	V fase 1	V fase 2	V fase 3	V fase 4	IC	S	V fase 1	V fase 2	V fase 3	V fase 4
Masculino _A	10	,84**	,55	,89**	,18	Masculino _A	0,14	0,41	-0,05	-0,13	0,02
Masculino _B	10	,84**	,77**	,96**	,24	Masculino _B	-0,02	-0,13	0,19	0,03	-0,23
Femenino _A	7	,96**	,67	,97**	,52	Femenino _A	-0,09	-0,01	0,27	-0,19	0,50
Femenino _B	7	,98**	,60	,99**	,92**	Femenino _B	0,79*	0,69	0,49	0,70	0,88**

Tabla 6. Relación entre la velocidad media e IC con VF1, VF2, VF3 y VF4 en nadadores y nadadoras.