

Monograph

# Cinemática de la Brazada Subacuática en el Estilo Crol durante Pruebas Con y Sin Respiración

Vassilios Gourgoulis<sup>1</sup>, Nickos Aggeloussis<sup>1</sup>, Panagiotis Kasimatis<sup>1</sup>, Giorgos Mavromatis<sup>1</sup>, Nickos Vezos<sup>1</sup> y Christos Christoforidis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Education and Sports Science, Democritus University of Thrace, Komotini, 69100 Grecia.

## RESUMEN

El propósito del presente estudio fue determinar los efectos de la respiración sobre la cinemática tridimensional de la brazada subacuática en el estilo crol. Diez mujeres nadadoras de estilo libre participaron en el estudio. Cada sujeto realizó varias pruebas de natación estilo crol de 25 m a una velocidad constante tanto con respiración como sin respiración. El movimiento subacuático del brazo derecho de cada sujeto fue filmado utilizando dos cámaras S-VHS, que operaron a 60 Hz, y las cuales fueron ubicadas detrás de dos ventanas para la visión subacuática. Las coordenadas espaciales de los puntos seleccionados fueron calculadas utilizando el procedimiento DLT con 30 puntos de control, y luego del filtrado digital de los datos crudos con una frecuencia límite de 6 Hz, se calcularon el desplazamiento y la velocidad lineal de la mano. Los resultados revelaron que la respiración causó un significativo incremento en la duración de la brazada ( $t_9 = 2.764$ ;  $p < 0.05$ ), del desplazamiento de la mano hacia atrás en relación con el agua ( $t_9 = 2.471$ ;  $p < 0.05$ ) y del desplazamiento lateral de la mano en el eje X durante la entrada o barrido hacia abajo ( $t_9 = 2.638$ ;  $p < 0.05$ ). Por el contrario, la velocidad pico de la mano hacia atrás durante la fase de agarre o barrido abajo-afuera ( $t_9 = 2.368$ ;  $p < 0.05$ ) y el desplazamiento de la mano durante la fase de empuje ( $t_9 = -2.297$ ;  $p < 0.05$ ) se redujeron en gran medida cuando se utilizó la respiración. De lo anterior se concluyó que la acción de respirar en el estilo crol causa una modificación significativa tanto en los parámetros básicos de la brazada como en el patrón motor global, posiblemente debido al giro del cuerpo durante la respiración.

**Palabras Clave:** natación, crol, análisis cinemático tridimensional

## INTRODUCCION

En el estilo crol, la respiración debe realizarse durante la primera mitad de la recuperación y el rostro del nadador debe retornar al agua durante la segunda parte. De acuerdo con Maglischo (1993) y Costill (1992), durante esta acción, los movimientos de la cabeza deberían coordinarse con la rotación del cuerpo, para evitar que la cabeza del nadador se despegue excesivamente del agua. Además, los nadadores de estilo crol deberían rotar su cuerpo continuamente en el eje longitudinal en al menos 45 grados hacia ambos lados y pasar más tiempo sobre el costado de su cuerpo que en posición plana (Maglischo, 1982). Counsilman, (1977), Hay et al., (1993) y Liu et al. (1993) también han reportado que el ángulo de

rotación del cuerpo debería estar en el rango de los 35-45 grados a cada lado durante una brazada completa. Sin embargo, la mayoría de los nadadores tienden a recuperar sus brazos a mayor altura durante la respiración y mover el brazo más abajo y más lateralmente del lado contrario al que se está realizando la respiración. Esto fuerza a que el cuerpo gire más de 45 grados hacia el lado donde se realiza la respiración (Costill, 1992).

La amplitud del ángulo de rotación del cuerpo también parece depender de la velocidad de nado. Durante la realización de un esprint, Beekman (1986) halló que el ángulo máximo de rotación del cuerpo en el lado contrario al que se realizaba la respiración alcanzaba un valor medio de 47.8°, mientras que el valor correspondiente para el lado en que se realizaba la respiración era de 59.7°. Levinson (1987) también reportó un ángulo de rotación de 45° para el lado contrario al que se realizaba la respiración y de 50° para el lado en donde se realizaba la respiración en un nadador de elite especializado en pruebas de velocidad estilo libre. Payton et al (1999) reportaron valores aun mayores obtenidos durante pruebas estilo libre de 200 metros. Estos investigadores reportaron que los ángulos máximos de rotación para el lado contrario a la respiración y para el lado donde se realiza la respiración fueron de  $57 \pm 4^\circ$  y  $66 \pm 5^\circ$ , respectivamente. Además, Liu et al (1993) reportaron que, a la velocidad de nado utilizada en pruebas de larga duración, se producían mayores ángulos de rotación del cuerpo. En su estudio, el ángulo máximo de rotación del lado contrario a la respiración estuvo en el rango de 51.5° a 66.0°, con un valor medio de 60.8°. A partir de lo discutido previamente se podría especular que existe un grado de asimetría en el movimiento de la mano entre el lado contrario a la respiración y el lado en el que se realiza la respiración, y que los ángulos de rotación del cuerpo tienden a incrementarse a medida que la distancia de la prueba se incrementa.

Pichard (1993), asumió que el nadador de estilo crol utiliza la rotación del cuerpo para producir el barrido lateral y medial de las manos durante el empuje subacuático (Payton et al, 1999), mientras que Payton et al (1997) hallaron que la rotación del cuerpo afecta el movimiento de la mano en la línea medio lateral y vertical durante el estilo crol. Sin embargo, un incremento en la rotación máxima del cuerpo provoca el incremento del movimiento medial de la mano y tiene un efecto relativamente pequeño sobre el movimiento vertical. Con respecto a la duración relativa de las fases subacuáticas (entrada-extensión, agarre, empuje, tirón y recuperación), Payton et al (1999) no hallaron alteraciones significativas debidas a la acción de respiración. Además, no se observaron cambios en la profundidad de la brazada, en el ancho de la brazada ni en la longitud de la brazada.

Todos los investigadores previamente mencionados estudiaron los ángulos de rotación corporal en nadadores varones y mujeres. Sin embargo, las diferencias cinemáticas entre el lado contrario a la respiración y el lado en donde se realiza la respiración solo han sido estudiados en nadadores varones (Liu et al., 1993; Payton et al., 1999). La falta de información respecto a la asimetría en la cinemática de los brazos en nadadoras de estilo crol estimularon la realización del presente estudio, el cual tiene el propósito de investigar los efectos de la acción de respirar sobre la cinemática de la brazada subacuática en el estilo crol en nadadoras.

## MÉTODOS

---

Diez mujeres nadadoras de estilo libre (edad:  $15 \pm 1.2$  años, talla:  $1.67 \pm 4.1$  m; masa corporal:  $52.9 \pm 3.9$  kg) participaron en el presente estudio. Su mejor rendimiento en la prueba de 100 metros estilo libre estaba en el rango de los 62.07 a los 77.36 segundos ( $68.62 \pm 4.34$  s), y su experiencia promedio de entrenamiento era de  $8.0 \pm 1.5$  años.

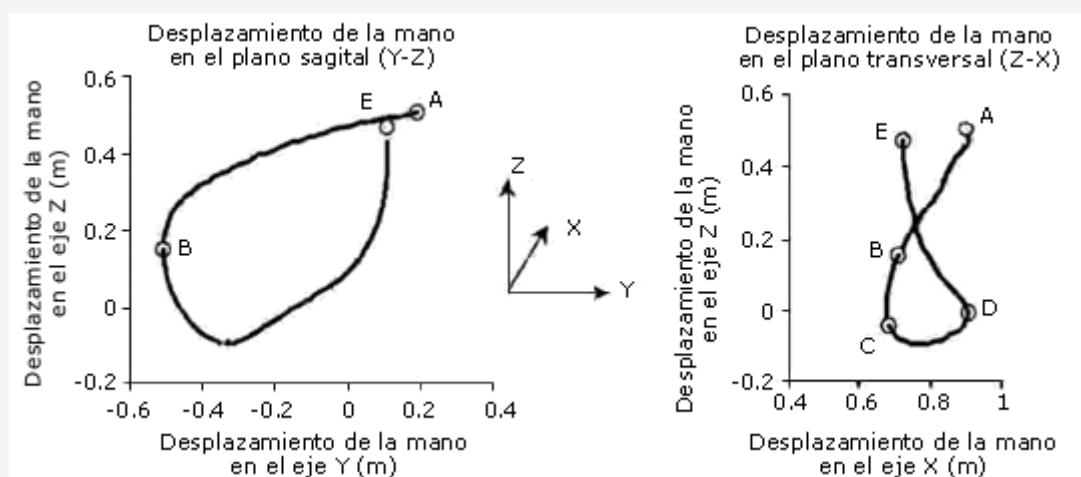
Luego de una entrada en calor y de la familiarización con las condiciones experimentales, cada sujeto realizó dos pruebas de natación estilo crol de 25 m a una velocidad submáxima constante, aproximadamente igual al 80% de su mejor marca en los 100 m estilo libre. Se les pidió a los sujetos que, en una de las pruebas, respiraran hacia la derecha durante cada ciclo de brazada y que en la otra prueba no respiraran. Todos los sujetos habían entrenado y utilizado el lado derecho como el lado de respiración preferido. El orden de las pruebas fue aleatorio y se realizó una pausa de 3 min entre las mismas para minimizar los efectos de la fatiga.

El movimiento subacuático del brazo derecho de cada sujeto fue registrado utilizando cámaras de video S-VHS con una frecuencia de muestreo de 60 Hz. Las cámaras fueron ubicadas detrás de dos ventanas de observación subacuáticas, con sus ejes ópticos perpendiculares uno del otro. Durante cada prueba, uno de los investigadores activaba los diodos montados sobre cada cámara para permitir la sincronización de ambas cámaras. Para la calibración del volumen espacial de grabación, se colocó un cuadro de calibración de 30 puntos ( $2.1 \times 3.2 \times 1.8$  m) en el área de natación.

Antes de la filmación, se realizaron las marcas anatómicas correspondientes a la quinta articulación metacarpofalángica y al trocánter mayor derecho con una fibra indeleble negra, para calcular la cinemática del movimiento de la mano y la velocidad media de nado, respectivamente. Las marcas previamente descritas fueron digitalizadas manualmente utilizando el Sistema de Análisis del Rendimiento Ariel (Ariel Dynamics, U.S.A.) y las coordenadas espaciales tridimensionales en los

ejes transversal (X), sagital (Y) y vertical (Z) fueron calculadas utilizando el procedimiento de Transformación Linear Directa. Los datos crudos de la posición-tiempo fueron suavizados utilizando un filtro pasa bajo digital, con una frecuencia de corte de 6 Hz.

Durante la reducción de los datos, el movimiento subacuático total del brazo, desde la entrada de la mano hasta su salida, fue dividido en cuatro fases (entrada-extensión, agarre o barrido abajo-afuera, tirón o barrido hacia atrás-adentro-arriba y empuje) de acuerdo con la metodología de Payton y Lauder (1995). La fase de deslizamiento fue definida como el tiempo entre la entrada de la mano al agua y el comienzo del movimiento hacia atrás. La fase de agarre o barrido abajo-afuera fue definida como el movimiento de la mano desde el final de la fase de entrada-extensión hasta la posición más lateral de la mano en el eje transversal. La fase de tirón o barrido atrás-adentro-arriba fue definida como el movimiento de la mano desde el final de la fase de agarre hasta la posición más medial de la mano en el eje transversal y la fase de empuje fue definida como el movimiento de la mano desde el final de la fase de tirón hasta la salida del agua (Figura 1).



**Figura 1.** Fases de la brazada subacuática: (A-B) entrada-extensión, (B-C) agarre, (C-D) tirón, (D-E) empuje.

Las siguientes variables fueron utilizadas para describir la cinemática del brazo que realiza la propulsión en las dos condiciones experimentales (con respiración y sin respiración):

- Duración de la brazada subacuática y de las fases correspondientes
- Desplazamiento de la mano durante las fases de la brazada subacuática
- Ancho de la brazada, definido como el desplazamiento medial (eje X) de la mano durante la fase de tirón o barrido atrás-adentro-arriba
- Profundidad de la brazada, definido como el desplazamiento vertical (eje Z) de la mano desde la entrada hasta el punto más profundo
- Longitud absoluta de la brazada, definido como el desplazamiento hacia atrás (eje Y) de la mano desde la posición más adelantada hasta la posición más atrasada en relación con el agua
- La máxima velocidad linear de la mano durante las fases de la brazada subacuática.

### Análisis Estadísticos

Para el tratamiento estadístico de los datos se utilizó la prueba t para muestras dependientes y el nivel de significancia fue establecido a  $p < 0.05$ . La normalidad de la distribución de los datos fue verificada utilizando el test de Kolmogorov - Smirnov.

## RESULTADOS

Los análisis revelaron que no hubo diferencias significativas ( $t_0 = 1.159$ ;  $p = 0.276$ ) en la velocidad media de nado entre las dos condiciones experimentales (con respiración:  $1.25 \pm 0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , sin respiración:  $1.30 \pm 0.14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Respecto a las características temporales de la brazada subacuática, se observaron diferencias significativas entre las dos condiciones experimentales en las fases de entrada-extensión y agarre, así como también en la duración total de la brazada subacuática. Por el contrario, la duración de las fases de tirón y empuje no se vieron significativamente afectadas. Durante las pruebas con respiración, la duración de la fase de entrada-extensión, de la fase de tirón y la duración total de la brazada subacuática fueron significativamente mayores en un 11%, 27.5% y 8%, respectivamente; en comparación con la prueba sin respiración (Tabla 1).

	Con Respiración	Sin Respiración	Valor t
<b>Entrada-Extensión (s)</b>	0.76 (0.14)	0.68 (0.11)	2.540 *
<b>Agarre (s)</b>	0.12 (0.04)	0.09 (0.05)	2.510 *
<b>Tirón (s)</b>	0.15 (0.03)	0.16 (0.02)	-1.029
<b>Empuje (s)</b>	0.23 (0.03)	0.23 (0.05)	0.000
<b>Brazada subacuática total (s)</b>	1.25 (0.17)	1.16 (0.15)	2.764 *

*Tabla 1. Duración media ( $\pm$  DE) de las fases y de la brazada subacuática total. \* $p < 0.05$ .*

Con respecto al desplazamiento de la mano durante las fases de la brazada subacuática, se observó que la respiración causó un incremento significativo del desplazamiento lateral de la mano en el eje transversal durante la fase de agarre y una reducción significativa del desplazamiento lateral de la mano desde la posición más medial de la mano en el eje transversal hasta su salida del agua, durante la fase de empuje. Sin embargo, las diferencias en el desplazamiento de la mano durante el resto de las fases no fueron significativas. Además, la profundidad de la brazada, la cual fue definida como el desplazamiento máximo de la mano en el eje vertical, desde la entrada hasta el punto de mayor profundidad, fue significativamente diferente entre las dos condiciones experimentales (con respiración - sin respiración). Más específicamente, la respiración causó una reducción significativa del 7% en el desplazamiento vertical máximo de la mano. Sin embargo, la longitud absoluta de la brazada subacuática, la cual fue definida como el desplazamiento hacia atrás de la mano desde la posición más adelantada hasta la posición más atrasada en el eje sagital y en relación con el agua, se incrementó significativamente durante la prueba con respiración en un 13% en comparación con la prueba sin respiración (Tabla 2).

	Con Respiración	Sin Respiración	Valor t
<b>Entrada-Extensión (cm)</b>	93.2 (16.9)	90.0 (19.4)	0.713
<b>Agarre (cm)</b>	9.17 (4.73)	6.19 (5.56)	2.638 *
<b>Tirón (cm)</b>	8.87 (3.64)	8.97 (3.54)	-0.130
<b>Empuje (cm)</b>	5.80 (4.16)	11.8 (6.58)	-2.297 *
<b>Profundidad de la brazada (cm)</b>	50.5 (5.26)	53.8 (4.91)	-2.317 *

*Tabla 2. Desplazamientos medios ( $\pm$  DE) de la mano durante las pruebas con y sin respiración. \* $p < 0.05$ .*

La respiración también tuvo una influencia significativa sobre la velocidad lineal de la mano durante la fase de tirón en los ejes transversal y sagital. La máxima velocidad lineal durante la fase de tirón se incrementó significativamente en el eje transversal (X), mientras que en el eje sagital (Y) se redujo significativamente, en comparación con la prueba sin respiración. Por el contrario, no se observaron diferencias significativas en la velocidad lineal de la mano durante la fase de empuje en los tres ejes (Tabla 3).

	Con Respiración	Sin Respiración	Valor t
Velocidad lineal máxima de la mano en el eje X durante la fase de tirón ( $m \cdot s^{-1}$ )	1.09 (0.30)	0.85 (0.29)	2.581 *
Velocidad lineal máxima de la mano en el eje Y durante la fase de tirón ( $m \cdot s^{-1}$ )	1.84 (0.11)	2.09 (0.40)	-2.368 *
Velocidad lineal máxima de la mano en el eje X durante la fase de empuje ( $m \cdot s^{-1}$ )	1.10 (0.46)	1.25 (0.48)	-0.715
Velocidad lineal máxima de la mano en el eje Y durante la fase de empuje ( $m \cdot s^{-1}$ )	1.82 (0.21)	1.82 (0.62)	-0.023
Velocidad lineal máxima de la mano en el eje Z durante la fase de empuje ( $m \cdot s^{-1}$ )	2.51 (0.39)	2.65 (0.43)	-0.802

**Tabla 3.** Valores medios ( $\pm$  DE) de las velocidades lineales máximas de la mano durante las pruebas con y sin respiración. \* $p < 0.05$

## DISCUSION

En el presente estudio se halló que durante las pruebas con respiración, la duración total de la brazada subacuática fue significativamente mayor que durante las pruebas sin respiración en mujeres nadadoras estilo crol. Este incremento en la duración de la brazada subacuática se atribuyó principalmente al incremento en las fases de entrada-extensión y agarre, las cuales fueron en promedio un 11% y un 27.5% mayores en la prueba con respiración que en la prueba sin respiración. Este hallazgo concuerda con la observación de Payton et al (1999) en nadadores varones, aunque estos investigadores presentaron menores valores aritméticos, probablemente debido a que en su estudio, los sujetos nadaron a la velocidad de una carrera de 200 metros estilo libre. Sin embargo, parece que cuando un nadador realiza la respiración, el tiempo de la brazada se incrementa para permitir un tiempo extra para la inhalación (Payton et al., 1999).

Respecto de la profundidad de la brazada, en el presente estudio se halló que fue de  $0.51 \pm 0.05$  m durante las pruebas con respiración y de  $0.54 \pm 0.05$  m durante las pruebas sin respiración. Estos valores son mucho menores que los reportados por Payton et al (1999), Payton y Lauder (1995), Chatard et al (1990) y Schleihauf et al (1988), y probablemente esto se debió a las diferencias antropométricas de los sujetos en cada estudio. También se observaron menores valores en la longitud absoluta de la brazada, la cual fue definida como el desplazamiento hacia atrás de la mano en relación con el agua. En el presente estudio, la longitud absoluta de la brazada fue de  $0.54 \pm 0.05$  m durante las pruebas con respiración y de  $0.48 \pm 0.08$  m durante las pruebas sin respiración, mientras que Payton y Lauder (1995) y Schleihauf et al (1988) reportaron longitudes de brazada de  $0.60 \pm 0.06$  m y  $0.64 \pm 0.10$  m, respectivamente. Respecto del ancho de la brazada, el cual fue definido como el desplazamiento medial de la mano durante la fase de tirón, no se observaron diferencias significativas debido a la respiración.

Esta observación concuerda con los hallazgos de Payton et al (1999), aunque estos investigadores reportaron valores mayores. Payton et al (1999) reportaron valores del ancho de la brazada de  $0.28 \pm 0.07$  m para las pruebas con respiración y de  $0.27 \pm 0.07$  m para las pruebas sin respiración, mientras que Payton y Lauder (1995) presentaron anchos de brazada de  $0.34 \pm 0.07$  m y Schleihauf et al (1988) reportaron valores de  $0.37 \pm 0.08$  m. Por lo tanto se hipotetizó que la respiración y la rotación del cuerpo no afectan el movimiento medial de la mano en nadadoras estilo crol.

## CONCLUSIONES

En conclusión, los hallazgos del presente estudio indican que la acción de respirar en nadadoras de estilo crol, produce un incremento significativo de la duración total de la brazada subacuática, mientras que no se observan alteraciones en el ancho de la brazada. Además, a la vez que hay una reducción en la profundidad de la brazada, hay un incremento en el desplazamiento absoluto de la mano hacia atrás. Estos resultados incrementan nuestro conocimiento de los efectos técnicos de la respiración sobre la coordinación corporal en mujeres nadadoras estilo crol y deberían ser tenidos en cuenta por los entrenadores de natación.

### Puntos Clave

- La acción de respirar incrementa la duración total de la brazada subacuática
- La acción de respirar incrementa el desplazamiento absoluto de la mano hacia atrás
- La acción de respirar causa modificaciones significativas en el patrón motor global, posiblemente debido a la rotación del cuerpo durante la respiración.

## Agradecimientos

Este proyecto fue co-subsancionado entre una Subvención de la Comunidad Europea (75%) y una Subvención Nacional (25%), EPEAEK II-HRAKLEITOS

**Dirección para el envío de correspondencia:** Nickos Vezos Democritus University of Thrace, Department of Physical Education and Sport Science, 7th Km Komotini-Xanthi, 69100 Komotini, Greece

## REFERENCIAS

1. Beekman, K.M (1986). Characteristics of the front crawl techniques of swimmers with shoulder impingement syndrome. *Unpublished master's thesis, University of Iowa, Iowa City*
2. Chatard, J.C., Collomp, C., Maglisco, E. and Maglisco, C (1990). Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine 11, 156-161*
3. Costill, D (1992). Swimming: Handbook of Sports Medicine and Science Swimming. *IOC Medical Commission Publications Advisory Committee*
4. Counsilman, J.E (1977). Competitive swimming manual for coaches and swimmers. *Bloomington, IN: Counsilman*
5. Hay, J.G., Liu Q. and Andrews, J.G (1993). Body roll and handpath in freestyle swimming: A Computer simulation study. *Journal of Applied Biomechanics 9, 227-237*
6. Levinson, D.A (1987). Internal stroke motions and the effective coaching of stroke mechanics. *Journal of Swimming Research 3(2), 21-28*
7. Liu Q., Hay, J.G. and Andrews, J.G (1993). Body roll and handpath in freestyle swimming: An Experimental study. *Journal of Applied Biomechanics 9, 238-253*
8. Maglischo, C.W (1982). Swimming faster. *Mountain View, CA: Mayfield Publishing Company*
9. Maglischo, E.W (1993). Swimming even faster. *California: Mayfield Publishing Company*
10. Payton, C.J. and Launder, M.A (1995). The influence of hand paddles on the kinematics of front crawl swimming. *Journal of Human Movement Studies 28, 175-192*
11. Payton, C.J., Hay, J.G. and Mullineaux, D.R (1997). The effect of body roll on hand speed and hand path in front crawl swimming-A simulation study. *Journal of Applied Biomechanics 13, 300-315*
12. Payton, C.J., Bartlett, R.M., Baltzopoulos, V. and Coombs, R (1999). Upper extremity kinematics and body roll during preferred-side breathing and breath-holding front crawl swimming. *Journal of Sport Sciences 17, 689 - 696*
13. Prichard, B (1993). A new swim paradigm: Swimmers generate propulsion from the hips. *Swimming Technique 30, 17-23*
14. Schleihauf, R.E., Higgins, J., Hinrichs, R., Leudtke, D., Maglischo, C, Maglischo, E.W. and Thayer, A (1988). Propulsive techniques: Front crawl stroke, butterfly, backstroke, and breaststroke. *In: Swimming Science V. Eds: Ungerechts, B.E., Wilke, K. and Reischle, K. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers. 53-59*

## Cita Original

Nickos Vezos, Vassilios Gourgoulis, Nickos Aggeloussis, Panagiotis Kasimatis, Christos Christoforidis and Giorgos Mavromatis. Underwater Stroke Kinematics During Breathing and Breath-Holding Front Crawl Swimming. *Journal of Sports Science and Medicine* (2007) 6, 58 - 62