

ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL NADO ONDULATORIO SUBACUÁTICO EN POSICIÓN DORSAL PARA NADADORES DE COMPETICIÓN

Alfonso Trinidad ^{1*}, Borja Rey ² y Santiago Veiga ²

¹Universidad Europea de Madrid, España (Aqualab Research Group), ²Universidad Politécnica de Madrid, España (Sports Department).

OPEN ACCES

*Correspondencia:

Alfonso Trinidad Morales
Departamento de Educación y
Humanidades, Universidad Europea de
Madrid, C. Tajo, s/n, 28670 Villaviciosa de
Odón (Madrid),
alfonso.trinidad@universidadeuropea.es

Funciones de los autores:

Describir las funciones básicas de cada autor. 1 y 2 conceptualización y diseño del estudio. 2 escribió el programa deseado e interpretó los datos. 1 y 2 prepararon el primer borrador del documento y 2 lo revisaron críticamente. Todos los autores han aprobado esta versión final del texto.

Recibido: 06/10/2022

Aceptado: 18/03/2023

Publicado: 02/05/2023

Citación:

Trinidad, A., Rey, B., & Veiga, S. (2023). Análisis cinemático del nado ondulatorio subacuático en posición dorsal para nadadores de competición. *Revista de Investigación en Actividades Acuáticas*, 7(13), 3-6.
<https://doi.org/10.21134/riaa.v7i13.1968>



Creative Commons License

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento- NoComercial-Compartir-Igual 4.0 Internacional

Resumen

Antecedentes: El Nado Ondulatorio Subacuático (NOS) es una parte de las pruebas de natación competitiva en el que la resistencia al avance en el agua se reduce prácticamente a la mitad comparado con el nado en superficie. Ello hace que las velocidades alcanzadas en dichos segmentos sean las más rápidas de todos los estilos tras la salida y viraje.

Objetivos: i) Aplicar técnicas de análisis cinemático para la evaluación del nado ondulatorio subacuático en nadadores de competición a espalda y ii) Comparar el rendimiento subacuático entre el primer y el último batido del nado ondulatorio en posición dorsal.

Método: 42 nadadores, 28 nadadoras y 14 nadadores realizaron un sprint de 25 metros con salida desde dentro del agua y a la máxima velocidad en posición dorsal. Fueron filmados con dos cámaras secuenciales (50Hz) desde una vista subacuática lateral desde el inicio hasta aproximadamente 15 metros. Mediante el software libre Kinovea 0.9.1 se digitalizaron los puntos articulares del primer y último batido ondulatorio.

Resultados: La pérdida de velocidad en los nadadores fue de un 10,37% en comparación con las nadadoras (16,39%). La pérdida de amplitud en ambos sexos fue relativamente parecida (9,95% y 10,15%). Mientras que la pérdida de frecuencia fue mayor en los nadadores frente a las nadadoras (8,32% vs 7,41%). En los tres parámetros las diferencias entre primer y último batido fueron significativas ($p < 0.05$). Por otro lado, el punto corporal de mayor variación angular entre el primer y último batido fue el tobillo, llegando a variar cerca de los 20 grados en fase descendente en los nadadores. En cambio, el hombro y la cadera no se desvían más de 20 grados de la línea recta en ninguna de las posiciones y/o batidos.

Conclusiones: Existe una pérdida de velocidad entre el primer y último batido (8% - 10%), debido a un descenso de la frecuencia y menor de la longitud del batido. Luego, las variables angulares entre el primer y último batido mostraron pocas diferencias. Dicha información representa una de las pocas evidencias científicas del comportamiento cinemático de nadadores de competición durante el batido ondulatorio en posición dorsal.

Palabras Claves: Movimiento ondulatorio subacuático, frecuencia de batido, amplitud de batido, espalda.

Kinematic analysis of underwater undulatory swimming in dorsal position for competitive swimmers.

Background: The underwater undulatory swimming (NOS) is a part of competitive swimming events where the forward water resistance is practically halved compared to the surface swim. This makes speeds achieved the fastest of all the strokes after the start and turn.

Goals: i) To apply kinematic analysis techniques for the evaluation of the underwater undulatory swimming in competitive backstroke swimmers and ii) To compare the underwater performance between the first and the last underwater kicking dorsal position.

Method: 42 swimmers, 28 female and 14 male performed a 25-meter sprint from a push start and at maximum speed in dorsal position. They were filmed with two sequential cameras (50Hz) from a lateral underwater view for approximately 15 meters. The free software Kinovea 0.9.1 was used to digitize the articular points of the first and last underwater kick.

Results: The loss of velocity in male swimmers was 10.37% compared to female swimmers (16.39%). The loss of amplitude in both sexes was relatively similar (9.95% and 10.15%). While the loss of frequency was higher in male swimmers compared to female swimmers (8.32% vs. 7.41%). In all three parameters, the differences between the first and last shake were significant ($p < 0.05$). On the other hand, the body joint with the greatest angular variation between the first and last beat was the ankle, varying nearly 20 degrees in the downward phase in male swimmers. In contrast, the shoulder and hip did not deviate more than 20 degrees from the straight line in any of the positions.

Conclusions: There is a loss of velocity between the first and last beat (8% - 10%) due to a decrease of the frequency and the length of the kick. Then, the angular variables between the first and last kick showed few differences. This information represents one of the few scientific evidences of the kinematic behavior of competitive swimmers during the undulatory dorsal wave stroke.

Keywords: Underwater wave motion, stroke frequency, stroke amplitude, backstroke.

Análise cinemática da natação subaquática de ondas na posição dorsal para nadadores competitivos.

Antecedentes: A ondulação subaquática (NOS) faz parte de eventos competitivos de natação em que a resistência à frente na água é reduzida quase para metade em comparação com a natação de superfície. Isto torna as velocidades atingidas nestes segmentos os mais rápidos de todos os traços após o início e a viragem.

Objetivos: i) Aplicar técnicas de análise cinemática para a avaliação da natação subaquática em nadadores de costas competitivas e ii) Comparar o desempenho subaquático entre a primeira e a última batida da onda nadar na posição de costas.

Métodos: 42 nadadores, 28 nadadores femininos e 14 nadadores masculinos realizaram um sprint de 25 m a partir do interior da água à velocidade máxima na posição de costas. Foram filmados com duas câmaras sequenciais (50Hz) a partir de uma vista lateral subaquática desde o início até aproximadamente 15 metros. Usando o software livre Kinovea 0.9.1, os pontos articulares da primeira e última batida ondulatória foram digitalizados.

Resultados: A perda de velocidade nos nadadores masculinos foi de 10,37% em comparação com os nadadores femininos (16,39%). A perda de amplitude em ambos os sexos foi relativamente semelhante (9,95% e 10,15%). Enquanto que a perda de frequência foi maior nos nadadores masculinos em comparação com os femininos (8,32% vs. 7,41%). Nos três parâmetros, as diferenças entre o primeiro e o último banho foram significativas ($p < 0,05$). Por outro lado, o ponto do corpo com maior variação angular entre a primeira e a última natação foi o tornozelo, variando quase 20 graus na fase descendente nos nadadores. Em contraste, o ombro e a anca não se desviaram mais de 20 graus da linha recta em nenhuma das posições e/ou batimentos.

Conclusões: Há uma perda de velocidade entre a primeira e a última batida (8% - 10%), devido a uma quebra na frequência e menos no comprimento da batida. Depois, as variáveis angulares entre a primeira e a última batida mostraram pouca diferença. Esta informação representa uma das poucas provas científicas do comportamento cinemático dos nadadores competitivos durante a ondulação do regaço.

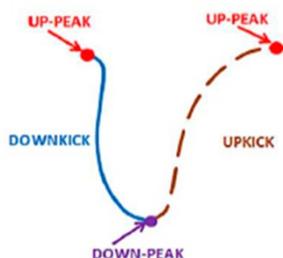
Palavras-chave: movimento de onda subaquático, frequência do traço, amplitude do traço, nado de costas.

Introducción

El Nado Ondulatorio Subacuático (NOS), también conocido como quinto estilo, es una parte de las pruebas de natación competitiva que ha ido cobrando más importancia desde las Olimpiadas de Seúl 1988, donde David Berkoff, (USA) hizo 40m buceando en la prueba de 100 m. espalda. El hecho de que la resistencia al avance en el agua se reduzca prácticamente a la mitad comparado con el nado en superficie (Barbosa, 2018), hace que las velocidades alcanzadas por los nadadores sean las más rápidas de todos los estilos reglamentarios. Actualmente, y desde 1998, la Federación Internacional de Natación (FINA) limita a 15m como máximo desde la pared de salida y viraje la distancia que los nadadores pueden recorrer con el NOS.

Como se muestra en el gráfico de Atkinson (2013) cada ciclo de batido comprende un punto alto (up-peak) y un punto bajo (down-peak), que dividen el movimiento de batido en dos fases: *downkick* y *upkick*.

Figura 1. Trayectoria seguida por los pies durante el batido ondulatorio subacuático (adaptado de Atkinson et al., 2013).



En los últimos años, se han usado técnicas de análisis biomecánico donde se han hallado variables cinemáticas como la velocidad de cada batido, el desplazamiento de cada batido, la frecuencia de batido y las variables angulares de tobillo, rodilla, hombro y cadera, y se ha observado cuál es el rol de cada una de ellas en el rendimiento subacuático. Se ha observado que la simetría de batido (fase ascendente – fase descendente) (Atkinson et al., 2014), así como la máxima velocidad angular de los dedos de los pies (Higgs et al., 2017), la flexibilidad de la articulación tibioperoneoastragalina (Shimojo et al., 2019) y el desplazamiento angular del segmento angular del tronco (Ikeda et al., 2021) son aspectos altamente relacionados con el rendimiento. Sin embargo, la gran mayoría de estos estudios se han realizado estudiando el NOS en posición ventral. No existen evidencias de cuáles son las características cinemáticas ni los cambios de la técnica durante los segmentos acuáticos en posición dorsal.

Asimismo, la mayoría de estudios sobre el NOS analizaron los batidos intermedios de los segmentos subacuáticos, pero se desconocen los cambios técnicos que ocurren durante los más de 10m que constituyen estos segmentos en la mayoría de pruebas de competición (Veiga et al., 2016). Por ello, los objetivos del presente estudio fueron i) aplicar técnicas de análisis cinemático para la evaluación del nado ondulatorio subacuático en nadadores de competición en el estilo de espalda y ii) comparar el rendimiento subacuático entre el primer y el último batido del nado ondulatorio en posición dorsal para nadadores de competición.

Método

Participantes

Se analizaron 42 nadadores de nivel competitivo y categoría nacional pertenecientes a siete equipos de la Comunidad Autónoma de Madrid, siendo 28 nadadoras (16,4±1,42 años; altura: 1,76±0,06 m; peso: 61,33±7,35 Kg; experiencia en natación de competición: 6,58 años) y 14 nadadores (15,4±1,02 años; altura: 1,61±0,04 m; peso: 51,13±6,85 kg; experiencia en natación competitiva: 6,76 años).

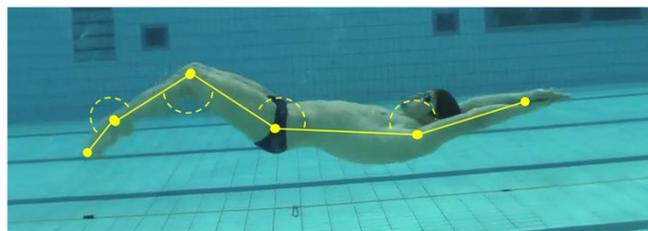
Medidas

Las mediciones se realizaron en una piscina de 50 metros, con temperatura del agua a 27°C, y después de que los deportistas realizaran su calentamiento habitual tanto dentro como fuera del agua. Los nadadores realizaron un sprint de 25 metros con salida desde la pared dentro del agua y a la máxima velocidad nadando a estilo espalda. Se les filmó con dos cámaras secuenciales (JVC GY – DV500E) que captaron una vista subacuática lateral de los deportistas desde el inicio de la salida hasta una distancia aproximada de unos 15 metros. Las cámaras grabaron a 50 Hz y se situaron a unos 10 metros del centro de la calle por el que discurrieron los ensayos. Previamente a los tests se grabó un objeto de calibración formado por una estructura rectangular de PVC situado en el centro de la calle por la que discurrían los nadadores. Dicha estructura permitió calibrar las imágenes y transformar las posiciones en píxeles a posiciones en metros.

Procedimiento

Utilizando el software libre Kinovea (Kinovea 0.9.1: Joan Charmant y Contri, Kinovea.org), se digitalizaron los puntos articulares (punta del pie, tobillo, rodilla, hombro, muñeca) correspondientes al primer y último batido ondulatorio realizado por los deportistas en cada uno de los ensayos de 25 metros. Antes de los registros, se colocaron marcadores negros de 25 mm de diámetro y cinta adhesiva en puntos de referencia corporales específicos del lado derecho del cuerpo de los nadadores (apófisis estiloides del cúbito [muñeca], tubérculo mayor del húmero [hombro], trocánter mayor [cadera], epicóndilo lateral del fémur [rodilla], maléolo lateral [tobillo] y epifisis del quinto metatarsiano [dedo del pie]). En base a dichos puntos se calcularon las variables cinemáticas del NOS: frecuencia del batido (Hz) como la inversa del tiempo entre dos posiciones upkick consecutivas, longitud del batido (m) como el desplazamiento horizontal de la cadera entre dos posiciones upkick consecutivas y la velocidad del batido (m/s) como el producto entre frecuencia y longitud. Asimismo, se calcularon los ángulos de tobillo, rodilla, cadera y hombro que se pueden ver ilustrados en la figura 2.

Figura 2. Ángulos articulares durante la ejecución del batido ondulatorio en posición dorsal.



Análisis de datos

Los valores estadísticos se presentaron como promedios y desviación estándar para cada una de las variables anteriormente descritas en el estudio. Los valores de hombres y mujeres se analizaron por separado. Se realizó una prueba t-student para muestras relacionadas para comparar el primer y último batido. Para ello, se utilizó el sistema estadístico SPSS v.27.0., siendo el valor de significación de $p < 0.05$.

Resultados

En cuanto a las variables cinemáticas en el nado ondulatorio subacuático la pérdida de velocidad en los nadadores es de un 10,37%, siendo menor que las nadadoras, que corresponde a un 16,39%. La pérdida de amplitud en ambos sexos es relativamente parecida, siendo 9,95% en nadadores y 10,15% en nadadoras. La pérdida de frecuencia muestra como tendencia que en nadadores corresponde a un 8,32%, siendo la de las nadadoras 7,41%. En la tabla 1, observamos como la pérdida de efectividad se traduce en 0,07 – 0,08 metros de diferencia entre ambos batidos, correspondiendo el promedio a 0,66 metros de desplazamiento promedio del último batido. En cuanto al ciclo de

patada o frecuencia, la pérdida de efectividad se estima en torno a un 7 – 8%, correspondiendo mayores valores al género masculino. Por último, se han observado pérdidas de velocidad superiores en el género femenino (16,39%) respecto al masculino (10,37%), partiendo del origen del primer batido donde la velocidad alcanzaba valores de 1,76 m/s y 1,57 m/s respectivamente.

Tabla 1. Parámetros cíclicos del batido ondulatorio subacuático en nadadores competitivos de nivel nacional.

	Primer Batido	Último Batido	Variación %
Masculino			
Velocidad (m/s)	1,76±0,20	1,58±0,21*	10,37%
Longitud batido (m)	0,73±0,06	0,66±0,09*	9,95%
Frecuencia batido (Hz)	2,43±0,25	2,23±0,34*	8,32%
Femenino			
Velocidad (m/s)	1,57±0,21	1,31±0,14*	16,39%
Longitud batido (m)	0,74±0,09	0,66±0,10*	10,15%
Frecuencia batido (Hz)	2,14±0,31	1,98±0,26*	7,41%

*Diferencias estadísticas entre primer y último batido con $p < 0,05$

En la tabla 2 se puede observar cómo el punto corporal de mayor variación angular entre el primer y último batido es el tobillo, llegando a variar cerca de los 20 grados en fase descendente en el género masculino. El resto de puntos corporales apenas tienen variaciones angulares mayores de 4-5 grados. Asimismo, cabe destacar cómo las articulaciones de hombro y cadera no se desvían más de 20 grados aproximadamente de la línea recta en ninguna de las posiciones y/o batidos.

Tabla 2. Parámetros angulares del batido ondulatorio en posición dorsal en nadadores competitivos de nivel nacional.

	Fase Descendente 1 ^{er} Batido	Fase Descendente Último Batido	Fase Ascendente 1 ^{er} Batido	Fase Ascendente Último Batido
Masculino				
Tobillo	159±12°	139±18°*	152±8°	151±11°
Rodilla	117±13°	120±10°	175±6°	174±6°
Hombro	164±10°	161±13°	174±4°	173±5°
Cadera	163±12°	170±7°*	158±10°	164±7°*
Femenino				
Tobillo	157±12°	149±14°*	151±12°	151±11°
Rodilla	118±9°	121±11°	175±4°	173±10°
Hombro	162±8°	159±8°	171±4°	168±8°
Cadera	168±10°	171±8°	158±13°	165±12°

*Diferencias estadísticas entre primer y último batido con $p < 0,05$

Discusión

El objetivo del estudio fue un análisis cinemático del nado ondulatorio subacuático en posición dorsal en nadadores de competición. Asimismo, se compararon las características cinemáticas del primer y el último batido del segmento subacuático. Este estudio es pionero en el estudio del estilo dorsal donde se analiza la evolución del batido tomando como referencia el primer batido y el último previo a la transición.

Parámetros cíclicos del batido ondulatorio en posición dorsal

El estudio evidencia que existe una pérdida de rendimiento en los valores de las variables cinemáticas estudiadas entre el primer y último batido, de forma genérica un 10% de velocidad entre ambas posiciones del batido (up – peak – down – peak). Las causas podrían deberse a la pérdida de la inercia generada en el empuje de la salida (Naemi et al., 2011) y a la resistencia al avance en el medio acuático (Barbosa, 2018), pero también posiblemente a los cambios de posición de los nadadores que provoquen una posición menos hidrodinámica. Se ha observado una pérdida superior en el género femenino (16,39%), que en el género masculino (10,37%), partiendo en el primer batido de velocidad de 1,76 m/s y 1,57 m/s respectivamente, es decir, la velocidad de patada bajo el agua de los nadadores competitivos es más rápida al principio que al final de la natación subacuática independientemente del sexo. Los valores de la velocidad de patada en el género masculino son más bajos que algunos estudios reportados para posiciones ventrales que los sitúan en 2,13 m/s (Gonjo y Olstad, 2020) y más parecidos a otras investigaciones que los sitúan entre 1,66 y 1,96 m/s (Ikeda et al., 2021; Matsuura et al., 2020). En el género femenino se presentan también valores ligeramente inferiores de lo informado previamente (entre 1,40 y 1,68 m/s) (Hochstein y Blickhan, 2011; Yamakawa et al., 2017), teniendo en cuenta que el presente estudio se realiza con una muestra de nadadores de categoría joven, resulta comprensible que los valores promedio sean inferiores.

Observando los valores obtenidos del cálculo de la longitud del batido la pérdida de efectividad se traduce en 0,07-0,08 metros, siendo en ambos géneros 0,66 metros el desplazamiento promedio del último batido. Los valores obtenidos en el estudio son ligeramente inferiores a los obtenidos en estudios similares en posición ventral para nadadores competitivos (0,79 a 0,98 metros) (Arellano et al., 2002), aunque se acerca a los valores en posición dorsal (aproximadamente 0,78 metros) del mismo estudio.

Si atendemos a la frecuencia del batido, observamos que la pérdida efectiva se estima entre un 7% a un 8%, siendo ligeramente superior en el género masculino. La frecuencia inicial en el género masculino arroja valores promedio de 2,43 Hz y en el femenino de 2,14 Hz. Los valores de frecuencia de patada (alrededor de 2 Hz) se encuentran en su mayoría dentro del rango de frecuencias reportadas en la literatura (de 1.8 a 2.3 Hz) (Atkison et al., 2014; Matsuda et al., 2021; Matsuura et al., 2020) y hembras (Hochstein y Blickhan, 2014; Yamakawa et al., 2017). El ciclo de patada comprende un movimiento completo hacia abajo (down – kick) y hacia arriba (up – kick) de las extremidades inferiores. Para poder obtener mayores distancias bajo el agua y a una velocidad más rápida, los nadadores tienen que encontrar la forma óptima compromiso entre la amplitud y la frecuencia de los movimientos ondulatorios de las piernas (Arellano, 2008; Shimojo et al., 2014), manteniendo una postura corporal alineada (Ikeda et al., 2021).

Parámetros angulares del batido ondulatorio en posición dorsal

El estudio del cálculo de los valores angulares promedio entre el primer y el último batido se ha realizado tanto en el punto alto (fase ascendente) como en punto bajo (fase descendente) tomando como referencia corporal la punta del pie, tobillo, hombro y la muñeca. Se observa como las mayores diferencias angulares se dan en la fase descendente (down – peak) pudiera ser debido a que posteriormente a dicha fase del último batido se inicia la transición al nado y el nadador adecua la posición corporal a la salida al exterior finalizando el nado subacuático (Stosic et al., 2021).

El ángulo que mayor variación muestra en el estudio resulta ser el tobillo, llegando a variar en cerca de 20 grados en la fase descendente en el género masculino. Las patadas dorsales parecen estresar la articulación del tobillo imponiendo cada vez más valores de flexión plantar máxima (Willems et al., 2014). El resto de puntos corporales apenas tienen variaciones angulares mayores a 4-5 grados, destacando que en la fase ascendente las variaciones en ambos géneros suelen ser nulas, sobre todo en el hombro. Estudios previos informan sobre la

importancia de la simetría en la fase descendente, y movimientos de patada hacia abajo (Atkison et al., 2014), así como la velocidad angular máxima de los dedos de los pies (Higgs et al., 2017), la flexibilidad de la articulación del tobillo (Shimojo et al., 2019) y el desplazamiento angular del segmento inferior del tronco (Ikeda et al., 2021).

Conclusiones

Existe una pérdida de velocidad entre el primer y último batido del nado ondulatorio subacuático dorsal de nadadores de competición entre un 8% y un 10%, apoyado por una caída importante en la frecuencia del batido y un descenso menor de la longitud del batido. Los valores de las variables angulares entre el primer y último batido son más constantes indicando pocas diferencias en el movimiento de batido entre el inicio y el final de la fase subacuática. Dicha información representa una de las pocas evidencias científicas del comportamiento cinemático de nadadores de competición durante el batido ondulatorio en posición dorsal.

Contribución e implicaciones prácticas

El presente estudio puede servir de referencia para que entrenadores y nadadores se conciencien de la importancia de no bajar la frecuencia al final del buceo, para así evitar diferencias entre el primer y último batido, sobre todo de velocidad.

Agradecimientos

Agradecimiento a “Aqualab Research Group” de la Universidad Europea de Madrid y Departamento de Deportes de la Universidad Politécnica de Madrid.

Referencias

Arellano, R., Pardillo, Susana., y Gavilán, Arantxa. (2002). Underwater undulatory swimming: Kinematic characteristics, vortex generation and application during the start, turn and swimming strokes. *Proceedings of the XXth international symposium on biomechanics in sports*.

Arellano, R. (2008). Hydrodynamics of swimming propulsion. In M. Sidney, F. Potdevin, y P. Pelayo (Eds.), *Proceedings of the IV Journées Spécialisées de Natation*, 21–35. Lille: Université de Lille.

Arellano, R., Pardillo, S. y Gavilán, A. (2003). Usefulness of the Strouhal number inevaluating human underwater undulatory swimming. In J. C. Chatard (Ed.), *Proceedings of the IX international symposium on biomechanics and medicine in swimming* (pp. 33 – 38). France: University of Saint – Etienne.

Atkison, R.R., Dickey, J.P., Dragunas, A., y Nolte, V. (2014). Importance of sagittal kick symmetry for underwater dolphin kick performance. *Human Movement Science*, 33(1), 298–311.

Barbosa, T. (2018). Hydrodynamics. In *Swimming Science* (pp. 12 – 39). London: Ivy Press.

Connaboy, C., Coleman, S., Moir, G., y Sanders, R. (2010). Measures of reliability in the kinematics of maximal undulatory underwater swimming. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(4), 762–770.

Connaboy, C., Naemi, R., Brown, S., Psycharakis, S., McCabe, C., Coleman, S., et al. (2016). The key kinematic determinants of undulatory underwater swimming at maximal velocity. *J Sports Sci*, 34(11), 1036.

Gonjo, T., y Olstad, B. H. (2021). Race analysis in competitive swimming: A narrative review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 69.

Higgs, A.J., Pease, D.L., Sanders, R.H. (2017). Relationships between kinematics and undulatory underwater swimming performance. *J Sports Sci*, 35(10), 995–1003.

Hochstein, S., & Blickhan, R. (2014). Body movement distribution with respect to swimmer’s glide position in human underwater undulatory swimming. *Human Movement Science*, 38, 305–318.

Ikeda, Y., Ichikawa, H., Shimojo, H., Nara, R., Baba, Y., & Shimoyama, Y. (2021). Relationship between dolphin kick movement in humans and velocity during undulatory underwater swimming. *Journal of Sports Sciences*, 39(13), 1497–1503.

Matsuda, Y., Kaneko, M., Sakurai, Y., Akashi, K., y Yasuo, S. (2021). Three-dimensional lower- limb kinematics during undulatory underwater swimming. *Sports Biomechanics*, 0(0), 1 – 15.

Matsuura, Y., Matsunaga, N., Iizuka, S., Akuzawa, H., & Kaneoka, K. (2020). Muscle synergy of the underwater undulatory swimming in elite male swimmers. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2, 2.

Naemi, R., Psycharakis, S., McCabe, C., Connaboy, C. y Sanders, R. (2011). Relationships Between Glide Efficiency and Swimmers' Size and Shape Characteristics. *Journal Applied Biomechanics*, 28(4), 400–411.

Navarro, F., Oca, A., y Castañón, F. J. (2003). *El entrenamiento del nadador joven*. Madrid: Gymnos.

Nicolas, G., Colobert, B., Bideau B., Fusco N. y Delamarche P. (2003). Strouhal et resistance active en nage avec palme. In P. Pelayo (Ed.), *Actes des 3èmes journées spécialisées de natation* (pp 153-155). Paris: Publibook.

Rabailais, S. (2008). La fase subacuática y propuesta didáctica para su entrenamiento con nadadores jóvenes. NSW. *Revista de La Asociación Española de Técnicos de Natación. Volumen XXX, Nº 3*, 25–28.

Ruiz-Navarro, J.J., Cano-Adamuz, M., Andersen, J.T., Cuenca-Fernández, F., López-Contreras, G., Vanrenterghem, J., et al. (2021). Understanding the effects of training on underwater undulatory swimming performance and kinematics. *Sport Biomech*, 00(00):1–16.

Shimojo, H., Nara, R., Baba, Y., Ichikawa, H., Ikeda, Y., y Shimoyama, Y. (2019). Does ankle joint flexibility affect underwater kicking efficiency and three-dimensional kinematics? *Journal of Sports Sciences*, 37(20), 2339–2346.

Shimojo, H., Sengoku, Y., Miyoshi, T., Tsubakimoto, S., y Takagi, H. (2014). Effect of imposing changes in kick frequency on kinematics during undulatory underwater swimming at maximal effort in male swimmers. *Human Movement Science*, 38, 94–105.

Stosic, J., Veiga, S., Trinidad, A., y Navarro, E. (2021). How should the transition from underwater to surface swimming be performed by competitive swimmers? *Applied Sciences*, 11(1), 122.

Veiga, S., Roig, A., & Gómez-Ruano, M. A. (2016). Do faster swimmers spend longer underwater than slower swimmers at World Championships? *European Journal of Sport Science*, 16(8), 919–926.

Vennell, R., Pease, D., y Wilson, B. (2006). Wave drag on human swimmers. *Journal of Biomechanics*, 39(4), 664–671.

Wądrzyk, Ł., Staszkiwicz, R., Kryst, Ł., y Żegleń, M. (2020). Gender effect on underwater undulatory swimming technique of young competitive swimmers. *Acta Bioeng Biomech*, 21(4), 2–11.

Wądrzyk, Ł., Nosiadek, L., y Staszkiwicz, R. (2017). Underwater dolphin kicks of young swimmers-evaluation of effectiveness based on kinematic analysis. *Human Movement*, 18(4), 23–29.

Willems, T. M., Cornelis, J. A., De Deurwaerder, L. E., Roelandt, F., y De Mits, S. (2014). The effect of ankle muscle strength and flexibility on dolphin kick performance in competitive swimmers. *Human Movement Science*, 36, 167–176.

Yamakawa, K. K., Shimojo, H., Takagi, H., Tsubakimoto, S., y Sengoku, Y. (2017). Effect of increased kick frequency on propelling efficiency and muscular co-activation during underwater dolphin kick. *Human Movement Science*, 54, 276–286.