



Relación entre el tiempo de contacto mano-pie y las variables de rendimiento en los virajes de braza y mariposa en natación

Relationship Between Hand-to-Foot Contact time and Performance Variables in Breaststroke and Butterfly Swimming Turns

Rubio Fernández, P.N.^{1,A,B,C,D}; González-Mohíno, F.^{1,C}; Hermosilla, F.^{2,3,A}; Juárez Santos-García, D.^{1,A,C,D,F}

¹Laboratorio de Entrenamiento Deportivo, Facultad de Ciencias del Deporte, Toledo, Spain. Universidad de Castilla-La Mancha.

²Facultad de Ciencias Biomédicas y de la Salud, Universidad Alfonso X el Sabio, Villanueva de la Cañada, Madrid, España.

³Facultad de Ciencias de la Vida y la Naturaleza, Universidad Nebrija, Madrid, Spain.

Responsabilidades. (A Diseño de la investigación; B Recolector de datos; C Redactor del trabajo; D Tratamiento estadístico; E Apoyo económico; F Idea original y coordinador de toda la investigación)

Recibido el 15 de enero de 2025

Aceptado el 18 de noviembre de 2025

DOI: 10.24310/riccafd.14.2.2025.21181

Correspondencia: Daniel Juárez -Santos García. daniel.juarez@uclm.es

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo analizar si la diferencia de tiempo entre el contacto de las manos y los pies en los estilos de natación braza y mariposa tiene relación con otras variables de rendimiento en los virajes y si este tiempo difiere entre los estilos. Quince nadadores competitivos (12 hombres, 3 mujeres; media \pm DE: 19,68 \pm 1,68 años, 72,23 \pm 5,88 kg y 1,76 \pm 0,07 m) participaron en este estudio transversal y correlacional. Cada nadador realizó cuatro virajes: dos en estilo braza y dos en mariposa, en orden aleatorio. Las variables evaluadas incluyeron el tiempo total del viraje, tiempo bajo el agua, distancia bajo el agua, velocidad de aproximación, velocidad de despegue y tiempo de contacto mano-pie. Los datos se recopilaron mediante análisis de video y una placa electrónica de cronometraje. Las correlaciones entre variables se analizaron con el coeficiente de Pearson, y las diferencias entre estilos se evaluaron con pruebas t para muestras relacionadas. No se encontraron correlaciones significativas entre el tiempo de contacto mano-pie y otras variables en ninguno de los estilos. El tiempo total del viraje mostró una fuerte correlación negativa con la velocidad

de aproximación ($r = -0,833$, $p < 0,05$) y la velocidad de despegue ($r = -0,478$, $p < 0,05$). No se encontraron diferencias en el tiempo de contacto mano-pie entre los estilos. Los virajes en mariposa tuvieron un tiempo total significativamente menor ($p < 0,05$), así como menor tiempo y distancia bajo el agua, pero mayor velocidad de aproximación en comparación con la braza. El tiempo de contacto mano-pie no se relacionó significativamente con otras variables medidas en los virajes de braza y mariposa. Tampoco se encontraron diferencias en el tiempo de contacto mano-pie entre los estilos. Varios indicadores clave destacan la importancia de estrategias específicas para cada estilo para optimizar el rendimiento.

PALABRAS CLAVE: cinemática, técnicas, nadadores.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the influence of hand-foot contact time on total turn time and performance in breaststroke and butterfly strokes. Fifteen competitive swimmers (12 males, 3 females; mean \pm SD: 19.68 \pm 1.68 years, 72.23 \pm 5.88 kg, and 1.76 \pm 0.07 m) participated in this cross-sectional, correlational study. Each swimmer completed four turns—two in breaststroke and two in butterfly—in a randomized order. Variables assessed included total turn time, underwater time, underwater distance, approach velocity, push-off velocity, and hand-to-foot contact time. Data were collected via video analysis and an electronic timing plate. Correlations between variables were analyzed using Pearson's coefficient, and stroke differences were assessed via paired t-tests. No significant correlations were found between hand-to-foot contact time and other variables for either stroke style. Total turn time showed a strong negative correlation with approach velocity ($r = -0.833$, $p < 0.05$) and push-off velocity ($r = -0.478$, $p < 0.05$). No differences were found in hand-to-foot contact time between strokes. Butterfly turns had significantly ($p < 0.05$) lower total turn time, underwater time, and underwater distance, and higher approach velocity compared to breaststroke. Hand-to-foot contact time was not significantly related to other variables measured in the breaststroke and butterfly turns. No differences were also found in hand-to-foot time between strokes. Several key metrics between breaststroke and butterfly turns underscore the importance of stroke-specific strategies for optimizing performance.

KEY WORDS: kinematics, techniques, swimmers.

INTRODUCCIÓN

El rendimiento en natación está influido por variables técnicas, biomecánicas, antropométricas, condicionales y energéticas, que en conjunto generan resultados exitosos en competiciones (1-5). Lograr un rendimiento óptimo requiere una ejecución precisa en los principales componentes de la carrera: salida, fase subacuática, nado en superficie y virajes (6). En particular, los virajes son fundamentales para mantener y mejorar la velocidad competitiva, especialmente en pruebas de más de 200 metros, donde la frecuencia de los virajes impacta significativamente en el tiempo total y la eficiencia energética (7).

En natación, los virajes se clasifican en virajes de voltereta, utilizados en estilo libre y espalda, y virajes abiertos, empleados en mariposa y braza. Los virajes de voltereta implican una rotación hacia adelante hacia la pared, permitiendo que ambos pies se impulsen con máxima fuerza. Por otro lado, los virajes abiertos requieren que los nadadores toquen la pared con ambas manos, roten el cuerpo y se impulsen con ambos pies, lo que genera demandas biomecánicas únicas (8). La eficiencia del viraje puede definirse como la capacidad de minimizar el tiempo de transición desde la aproximación hasta el impulso, lo que se traduce en velocidades de salida más rápidas con una resistencia mínima. Esta eficiencia, especialmente crucial en piscinas cortas (25 metros), se logra manteniendo la velocidad de aproximación, reduciendo el tiempo de contacto con la pared y maximizando la propulsión desde la pared (9).

Se han analizado diferentes etapas dentro de la fase del viraje para evaluar su impacto en el rendimiento general. El tiempo de aproximación abarca desde cinco metros antes de la pared hasta el contacto inicial con las manos (6). El crítico "tiempo de viraje", o el intervalo entre el toque de las manos y el impulso de los pies, es particularmente influyente en los eventos de mariposa y braza, representando una variable clave para optimizar el rendimiento en los virajes (10). A continuación, está la fase subacuática, que comienza con el impulso y termina cuando el nadador rompe la superficie del agua (11). Aquí, el énfasis está en la posición hidrodinámica del cuerpo para reducir la resistencia y maximizar la eficiencia del deslizamiento, un desafío que varía significativamente entre los estilos.

Los virajes efectivos también dependen de mantener el impulso a lo largo de las fases. En los estilos de braza y mariposa, elementos biomecánicos como la distancia ondulatoria y el momento del rompimiento de la superficie son cruciales para lograr un viraje óptimo. Aunque se han propuesto mediciones estándar para el análisis de los virajes—cinco metros antes y después de la pared, como sugieren Blanksby et al.(10)—algunos investigadores argumentan que zonas de medición más amplias o cortas afectan la precisión al evaluar el rendimiento del viraje, dado que existen variaciones en la recuperación de velocidad después del viraje (12). Además, Arellano (6) clasificó la velocidad del viraje como una variable acíclica, calculada como la distancia total del viraje dividida por el tiempo total del mismo, lo que permite obtener un indicador cuantificable de la eficiencia del viraje.

Estudios recientes indican que la fuerza de las extremidades inferiores desempeña un papel vital en el rendimiento de los virajes. La fuerza máxima ejercida en la pared, que se correlaciona con la capacidad de propulsión del nadador y la efectividad del impulso, está asociada con una mayor velocidad inicial al salir de la pared (7). De hecho, se ha demostrado que la fuerza máxima predice el tiempo necesario para alcanzar los primeros cinco metros después de la pared, destacando el papel central de la potencia muscular en el éxito del viraje (10, 13). Además, optimizar la mecánica del deslizamiento subacuático reduciendo la resistencia y maximizando el tiempo y la distancia bajo la superficie es esencial para mantener la velocidad tras el impulso (9).

A pesar de los avances en la comprensión de la biomecánica de los virajes, persisten inconsistencias sobre cuáles son los parámetros que más directamente impactan el rendimiento de los virajes en contextos competitivos (12). En particular, la distancia de la fase ondulatoria, crítica en los virajes de mariposa, requiere más investigación, al igual que la distancia de rompimiento de la superficie (14). La eficiencia y el éxito del viraje en los estilos de braza y mariposa dependen de parámetros biomecánicos, como el tiempo de contacto con la pared y la distancia de rompimiento de la superficie (10, 15, 16).

Basándose en estas consideraciones, se necesita una investigación enfocada en la fase del viraje, examinando específicamente el intervalo de tiempo entre el toque de las manos y los pies durante los virajes de braza y mariposa. El objetivo principal de este estudio fue analizar la influencia del tiempo de contacto mano-pie en el tiempo total de viraje y el rendimiento en los estilos de braza y mariposa. A través de este objetivo, esta investigación busca contribuir a optimizar las técnicas de entrenamiento y las estrategias de rendimiento en nadadores entrenados.

MATERIAL Y METODOS

Quince nadadores participaron en este estudio, de los cuales 12 eran hombres (media \pm DE: 19.67 \pm 2.01 años, 73.33 \pm 5.12 kg, y 1.78 \pm 0.07 m) y 3 mujeres (media \pm DE: 19.67 \pm 1.15 años, 68.30 \pm 8.74 kg, y 1.70 \pm 0.04 m). Los criterios de inclusión fueron: (i) nadadores de 18 años o más, (ii) que compitieran al menos en campeonatos regionales, siendo la mayoría participantes en campeonatos nacionales en España, (iii) que entrenaran en agua más de 10 h/semana, con al menos 3 h/semana de entrenamiento en seco. El estudio se llevó a cabo siguiendo los principios de la Declaración de Helsinki (17), y los protocolos experimentales fueron aprobados por el comité ético local (CEIS-2024-23750). Se explicó a los participantes el procedimiento experimental, se les informó sobre los riesgos involucrados en el estudio y proporcionaron su consentimiento por escrito antes de participar.

Procedimiento

El diseño del estudio fue transversal y correlacional. Se realizó un estudio piloto una semana antes de la evaluación principal en la misma piscina donde posteriormente se llevaron a cabo las pruebas. El estudio piloto tuvo como objetivo identificar la colocación óptima de las cámaras para la calidad de la imagen (considerando factores como la luminosidad, el zoom y el enfoque) y garantizar el uso correcto de la placa de cronometraje. Todas las pruebas se realizaron el mismo día en una piscina cubierta de 25 m. Los nadadores realizaron un calentamiento estandarizado que consistió en 2 series de 300 m de nado estilo crol y palas, 200 m de patada y 100 m de nado progresivo con 30 segundos de descanso entre repeticiones. El calentamiento concluyó con cuatro repeticiones de 25 m a ritmo de 200 m, cada una seguida de 20 segundos de descanso.

Tras el calentamiento, los nadadores realizaron cuatro virajes: dos en estilo braza y dos en estilo mariposa, presentados en orden aleatorio, con un intervalo de descanso de 3 minutos entre virajes. Para el análisis, se registró el mejor tiempo total de viraje (medido desde los 5 m antes de la pared hasta los 10 m después del viraje) para cada estilo (18). Los tiempos de los virajes fueron registrados manualmente con un cronómetro (OnStart 310, Kalenji, Decathlon, Francia). Cada viraje fue precedido por 20 m de nado para permitir que los nadadores alcanzaran la velocidad máxima antes de iniciar el viraje.

Se colocaron dos cámaras (Nikon 1-Aw1, 60 Hz) lateralmente a los nadadores en la marca de los 5 m, capturando imágenes tanto bajo el agua como por encima de la superficie (Figura 1). La calibración de las cámaras se realizó utilizando una serie de postes de longitudes fijas colocados en posiciones conocidas a lo largo de la piscina. Las imágenes de video fueron analizadas utilizando Kinovea® (v0.7.10 para Windows) para evaluar las siguientes variables: tiempo total de viraje, tiempo bajo el agua (duración desde el despegue de la pared hasta que la cabeza del nadador rompe la superficie del agua), distancia bajo el agua (calculada utilizando la velocidad de nado y el tiempo bajo el agua), velocidad de aproximación (basada en la distancia de 5 m y el tiempo correspondiente) y velocidad de despegue (también usando la distancia de 5 m y el tiempo). La variable principal de interés fue el tiempo de contacto mano-pie durante los virajes, medido con una placa de cronometraje electrónica (TP24, Alge Timing, Austria) fijada a la pared.

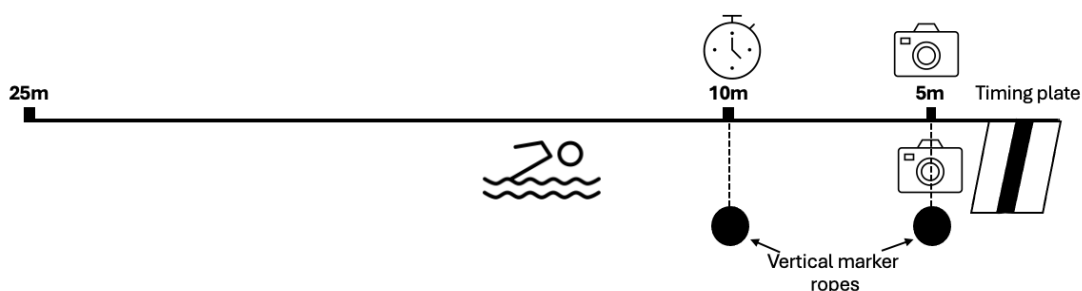


Figura 1. Ubicación del material durante la evaluación.

Análisis estadístico

Se utilizó el software estadístico SPSS v. 29.0.1.0 para todos los análisis de datos. Los datos de todas las variables se presentan como media \pm DE. Para evaluar la relación entre el tiempo de contacto mano-pie y las otras variables de rendimiento, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson. También se utilizó la correlación de Pearson para examinar las relaciones entre las demás variables del estudio. Para analizar las diferencias en estas variables entre los virajes de braza y mariposa, se realizó una prueba t de muestras relacionadas. Los tamaños del efecto se determinaron utilizando el d de Cohen (19). En este análisis, los tamaños del efecto mayores a 0.2, 0.5 y 0.8 se interpretaron como efectos pequeños, moderados y grandes, respectivamente. La significancia estadística se estableció en $p < 0.05$.

RESULTADOS

Correlación entre variables

Los datos fueron normales, por lo que se aplicó la prueba de correlación de Pearson (Tabla 1). No se encontraron correlaciones significativas entre el tiempo de contacto mano-pie y las demás variables en los estilos de braza y mariposa. Se observó una fuerte correlación negativa entre el tiempo total de viraje y la velocidad de aproximación ($r = -0.833$, $p < 0.05$) y la velocidad de despegue ($r = -0.478$, $p < 0.05$). Además, se encontraron correlaciones moderadas entre la distancia bajo el agua y el tiempo bajo el agua con la velocidad de despegue ($r = 0.419$, 0.411 , $p < 0.05$).

Tabla 1. Correlaciones entre variables.

	TMP	Tsub	Dsub	Vaprox	Vdes
TVT	0.12	0.076	0.051	-0.833*	-0.478*
TMP		-0.142	-0.088	-0.103	0.016
Tsub			0.856*	0.051	0.411*
Dsub				0.075	0.419*
Vaprox					0.591*

TVT: tiempo total de viraje (s); TMP: tiempo de contacto mano-pie (s); TSub: tiempo subacuático (s); Dsub: distancia subacuática (m); Vaprox: velocidad de aproximación (m/s); Vdes: velocidad de despegue (m/s); * $p < 0.05$

Diferencias entre estilos de natación

Dado que se cumple normalidad en los datos, se realizó una prueba t de muestras relacionadas para examinar las diferencias entre los estilos (Tabla 2). No se observaron diferencias significativas en el tiempo de contacto mano-pie entre los estilos de braza y mariposa. Se encontró un menor tiempo total de viraje ($p < 0.001$; $d = 0.64$) en el estilo mariposa en comparación con el estilo braza. Además, se observó una mayor velocidad de aproximación ($p < 0.01$; $d = 0.15$) en el estilo mariposa.

Tabla 2. Resultados por cada estilo de nado.

Variable	Media \pm DE		P
	Braza	Mariposa	
TVT (N= 15)	11.19 \pm 1.23	9.45 \pm 0.85*	<0.001
TMP (N= 15)	0.99 \pm 0.11	1.05 \pm 0.19	0.083
Tsub (N= 15)	3.73 \pm 0.38	3.17 \pm 0.41*	<0.001
Dsub (N= 15)	9.09 \pm 1.52	7.72 \pm 1.19*	<0.001
Vaprox (N= 15)	1.39 \pm 0.18	1.52 \pm 0.15*	0.004
Vdes (N= 15)	1.64 \pm 0.19	1.66 \pm 0.16	0.258

TVT: tiempo total de viraje (s); TMP: tiempo de contacto mano-pie (s); TSub: tiempo subacuático (s); Dsub: distancia subacuática (m); Vaprox: velocidad de aproximación (m/s); Vdes: velocidad de despegue (m/s).

DISCUSIÓN

El propósito de este estudio fue analizar la influencia del tiempo de contacto mano-pie en el tiempo total de viraje y el rendimiento en los estilos de braza y mariposa. La variable principal del estudio (tiempo de contacto mano-pie) no mostró una relación significativa con ninguna de las otras variables analizadas.

Por otro lado, el análisis de los resultados reveló que el tiempo total de viraje, una variable clave en el rendimiento en natación, estaba significativamente correlacionado con la velocidad de aproximación y la velocidad de despegue.

El análisis de correlación entre las variables del estudio indicó que el tiempo total de viraje estaba estrechamente asociado tanto a la velocidad de aproximación como a la velocidad de despegue. Esta relación podría atribuirse a la influencia de las velocidades de nado más rápidas en la velocidad general del viraje, lo que impacta positivamente en el rendimiento total de la carrera. Como señalaron Olstad et al. (20), las velocidades de nado más altas contribuyen a virajes más eficientes y rápidos, lo que puede ser crucial en la natación competitiva.

Un análisis más profundo resalta una clara relación entre el tiempo bajo el agua y la distancia bajo el agua, alineándose con hallazgos previos de Veiga et al. (21). Esta relación sugiere que una duración optimizada bajo el agua puede mejorar directamente la propulsión bajo el agua y el rendimiento general. Además, el tiempo bajo el agua estuvo relacionado con la velocidad de despegue, que también se correlacionó con la distancia bajo el agua. Según Chakravorti et al. (8), varios factores incluyendo la fuerza, la posición de los pies en la pared y el grado de rotación del viraje, influyen significativamente en la

velocidad de despegue. Optimizar estos parámetros puede mejorar la fase de propulsión, como se observa en casos donde una mayor velocidad de despegue se correlaciona con fases subacuáticas más largas y tiempos bajo el agua mejorados.

La correlación entre la velocidad de aproximación y la velocidad de despegue también subraya la importancia de estas variables en el rendimiento del viraje. Nicol et al. (12) enfatizan que la velocidad de aproximación está intrínsecamente vinculada al tiempo total de viraje, sugiriendo que ambas velocidades dependen en gran medida del nivel de rendimiento del nadador. A medida que aumenta el nivel de habilidad del nadador, esta relación se fortalece, contribuyendo a virajes más eficientes y efectivos.

Curiosamente, el tiempo de contacto mano-pie no mostró una correlación significativa con ninguna de las variables analizadas, incluyendo el tiempo total de viraje, la distancia bajo el agua, el tiempo sumergido o las velocidades de aproximación y salida. La variabilidad en los tiempos de contacto mano-pie entre los participantes podría explicar parcialmente este resultado. No obstante, examinar si los tiempos de contacto mano-pie más rápidos podrían influir en el rendimiento subacuático sigue siendo una vía interesante para futuras investigaciones. Comúnmente se asume que un tiempo de contacto mano-pie más rápido mejora el rendimiento en los virajes; sin embargo, también es fundamental considerar que un despegue óptimo de la pared podría requerir una colocación deliberada de los pies para asegurar la máxima velocidad de despegue y la correcta posición. Blanksby et al. (10) destacaron que la colocación precisa de los pies es esencial para un despegue efectivo, permitiendo a los nadadores salir de la pared con la mayor cantidad de impulso posible. Por lo tanto, aunque reducir el tiempo de contacto mano-pie podría parecer ventajoso inicialmente, podría comprometer la posición y resultar en una menor velocidad de salida y un rendimiento general reducido. Esta perspectiva se alinea con los hallazgos de Zamparo et al.(22), quienes sugieren que un viraje ligeramente más lento y controlado podría llevar a una mejor propulsión, ya que permite al nadador lograr una posición óptima en la pared.

Por otro lado, aunque no se encontraron diferencias en el tiempo de contacto mano-pie entre los estilos de braza y mariposa, se observaron diferencias significativas entre los estilos en otras variables de los virajes, siendo los virajes de mariposa aproximadamente dos segundos más rápidos. Este hallazgo es consistente con la dinámica típica de la natación competitiva, ya que la mariposa se realiza a un ritmo más rápido que la braza, que generalmente se considera el estilo más lento de los cuatro estilos principales. Además, el análisis destaca diferencias en el tiempo sumergido y la distancia bajo el agua, con los virajes de braza exhibiendo duraciones más largas bajo la superficie. La fase subacuática extendida en la braza puede atribuirse a la mecánica de propulsión específica, que incluye una patada de mariposa y un ciclo completo de braza antes de salir a la superficie. En contraste, los virajes de mariposa implican solo patadas ondulatorias, lo que resulta en fases subacuáticas más cortas (10). Esta variación en el tiempo y la distancia bajo el agua entre los estilos puede

explicarse en gran medida por las técnicas de propulsión distintas utilizadas en cada estilo.

CONCLUSIONES

Este estudio encontró que el tiempo de contacto mano-pie no estuvo significativamente correlacionado con otras variables medidas en los virajes de braza y mariposa, ni hubo diferencias en el tiempo de contacto mano-pie entre los dos estilos. Quizá en esa fase los entrenadores y nadadores deberían centrarse en asegurar una correcta colocación de los pies para un despegue eficaz. Cabe destacar que las métricas clave de rendimiento en el viraje sugieren la importancia de emplear estrategias específicas de cada estilo para optimizar la eficiencia en los virajes.

LIMITACIONES Y CAMINOS FUTUROS

Este estudio enfrentó algunas limitaciones. En primer lugar, existe una escasez de investigaciones que aborden específicamente el tiempo de contacto mano-pie como un determinante del rendimiento en natación. Aunque la dinámica de los virajes, en general, está bien documentada, pocos estudios han explorado en detalle el tiempo de contacto mano-pie, particularmente en el contexto del estilo mariposa. Además, nuestro estudio se realizó en condiciones de baja fatiga, por lo que los resultados no deben extrapolarse completamente a eventos de media distancia donde la fatiga podría afectar los últimos virajes. Por tanto, a pesar de no haber visto una relación significativa de esta variable con otros determinantes del rendimiento en los virajes, teniendo estas limitaciones en cuenta, se requiere más investigación para examinar la relación entre velocidad y posicionamiento de las manos y los pies en este tipo de viraje.

REFERENCIAS

1. Abbott S, Yamauchi G, Halaki M, Castiglioni MT, Salter J, Cobley S. Longitudinal relationships between maturation, technical efficiency, and performance in age-group swimmers: improving swimmer evaluation. *Int J Sports Physiol Perform*. 2021;16(8):1082-8.
2. Nevill AM, Negra Y, Myers TD, Sammoud S, Chaabene H. Key somatic variables associated with, and differences between the 4 swimming strokes. *J Sports Sci*. 2020;38(7):787-94.
3. Amaro NM, Marinho DA, Marques MC, Batalha NP, Morouço PG. Effects of dry-land strength and conditioning programs in age group swimmers. *J Strength Cond Res*. 2017;31(9):2447-54.

4. Morais JE, Jesus S, Lopes V, Garrido N, Silva A, Marinho D, et al. Linking selected kinematic, anthropometric and hydrodynamic variables to young swimmer performance. *Pediatr Exerc Sci*. 2012;24(4):649-64.
5. Toubekis A, Tsami A, Tokmakidis S. Critical velocity and lactate threshold in young swimmers. *Int J Sports Med*. 2006;27(02):117-23.
6. Arellano R. Interpreting and implementing the long-term athlete development model: English swimming coaches' views on the (swimming) LTAD in practice: A commentary. *Int J Sports Sci Coach*. 2010;5(3):413-9.
7. Keiner M, Wirth K, Fuhrmann S, Kunz M, Hartmann H, Haff GG. The influence of upper-and lower-body maximum strength on swim block start, turn, and overall swim performance in sprint swimming. *J Strength Cond Res*. 2021;35(10):2839-45.
8. Chakravorti N, Slawson S, Cossor J, Conway P, West A. Swimming turn technique optimisation by real-time measurement of foot pressure and position. *Procedia Eng*. 2012;34:586-91.
9. Chainok P, Machado L, de Jesus K, Abrales JA, Borgonovo-Santos M, Fernandes RJ, et al. Backstroke to breaststroke turning performance in age-group swimmers: Hydrodynamic characteristics and pull-out strategy. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(4):1858.
10. Blanksby BA, Simpson JR, Elliott BC, McElroy K. Biomechanical factors influencing breaststroke turns by age-group swimmers. *J Appl Biomech*. 1998;14(2):180-9.
11. Houel N, Elipot M, André F, Hellard P. Influence of angles of attack, frequency and kick amplitude on swimmer's horizontal velocity during underwater phase of a grab start. *J Appl Biomech*. 2013;29(1):49-54.
12. Nicol E, Adani N, Lin B, Tor E. The temporal analysis of elite breaststroke swimming during competition. *Sports Biomech*. 2021;23(21):1-13.
13. Araujo L, Pereira S, Gatti R, Freitas E, Jacomel G, Roesler H, et al. Analysis of the lateral push-off in the freestyle flip turn. *J Sports Sci*. 2010;28(11):1175-81.
14. Veiga S, Roig A. Effect of the starting and turning performances on the subsequent swimming parameters of elite swimmers. *Sports Biomech*. 2017;16(1):34-44.
15. Lyttle AD, Blanksby BA, Elliott BC, Lloyd DG. Investigating kinetics in the freestyle flip turn push-off. *J Appl Biomech*. 1999;15(3):242-52.

16. Puel F, Morlier J, Avalos M, Mesnard M, Cid M, Hellard P. 3D kinematic and dynamic analysis of the front crawl tumble turn in elite male swimmers. *J Biomech.* 2012;45(3):510-5.
17. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human participants. *JAMA.* 2024.
18. Le Sage T, Bindel A, Conway P, Justham L, Slawson S, West A. Embedded programming and real-time signal processing of swimming strokes. *Sports Eng.* 2011;14:1-14.
19. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences: Routledge; 2013.
20. Olstad BH, Wathne H, Gonjo T. Key factors related to short course 100 m breaststroke performance. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(17):6257.
21. Veiga S, Mallo J, Navandar A, Navarro E. Effects of different swimming race constraints on turning movements. *Hum Mov Sci.* 2014;36:217-26.
22. Zamparo P, Vicentini M, Scattolini A, Rigamonti M, Bonifazi M. The contribution of underwater kicking efficiency in determining" turning performance" in front crawl swimming. *J Sports Med Phys Fitness.* 2012;52(5):457-64.