



ISSN: 1577-4015

Apunts Educación Física y Deportes

ISSN: 1577-4015

ISSN: 2014-0983

info@revista-apunts.com

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya

España

Ogaratto, Daniela; Feitosa, Wellington G.; Gonzalez, Daniela H.; Castro, Flávio A. de S.
Cinemática, coordinación de brazos y consumo de oxígeno en
los nadadores con amputaciones en la prueba de estilo crol
Apunts Educación Física y Deportes, vol. 39, núm. 154, 2023, Octubre-Diciembre, pp. 44-51
Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya
Barcelona, España

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=551675890004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



Cinemática, coordinación de brazos y consumo de oxígeno en los nadadores con amputaciones en la prueba de estilo crol

Daniela Ogaratto¹ , Wellington G. Feitosa^{1-2*} , Daniela H. Gonzalez¹ y Flávio A. de S. Castro¹

¹ Grupo de Investigación de Deportes Acuáticos, Escuela de Educación Física, Fisioterapia y Danza, Universidad Federal de Río Grande del Sur, Porto Alegre (Brasil).

² Facultad de Educación Física/Universidad Estatal de Ceará, Fortaleza (Brasil).

Citación

Ogaratto, D., Feitosa, W.G. & de S. Castro, F.A. (2023). Kinematics, arm coordination, and oxygen uptake in swimmers with amputations in all-out front crawl test. *Apunts Educación Física y Deportes*, 154, 44-51. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2023/4\).154.04](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2023/4).154.04)

Resumen

El objetivo de este estudio fue describir la cinemática, la coordinación de brazos y el consumo de oxígeno de nadadores con amputaciones, y comprobar la evolución de estos parámetros en dos vueltas (75-100 m y 175-200 m) de una prueba de 200 m estilo crol (T200). Participaron seis nadadores (cuatro hombres y dos mujeres) con amputaciones (edad: 30 ± 9.8 años). Se obtuvieron medidas antropométricas y se colocaron 19 marcadores en zonas predeterminadas del cuerpo para la posterior exploración de la T200. Los nadadores calentaron y luego realizaron la T200. La prueba se grabó en vídeo digital. Se procesaron las imágenes (*software* APAS) y se analizaron los vídeos en tres dimensiones (3D). A partir de las imágenes, se obtuvieron datos cinemáticos (frecuencia y longitud medias de brazada, velocidad de nado e índice de brazada) y coordinativos (índice de coordinación). Durante la T200, se midió el consumo de oxígeno (VO_2) de cada respiración (analizador de gases portátil) y se identificó su valor su valor de pico (VO_{2pico}). Con el fin de comparar los datos entre las vueltas, se utilizaron estadísticas descriptivas y la prueba t de Student para los datos emparejados. El rendimiento de los nadadores evaluados fue de 197.8 ± 24.7 s. La frecuencia, la longitud, la velocidad y el índice de brazada fueron, respectivamente, 41.0 ± 5.1 ciclos/min, 1.5 ± 0.3 m, 0.98 ± 0.02 m/s y 1.67 ± 0.59 m²/s. En general, la coordinación se produjo en la captura con un consumo pico de oxígeno de 43.6 ± 8.0 ml.kg⁻¹.min⁻¹. Las variables cinemáticas y la coordinación no cambiaron entre las vueltas analizadas.

Palabras clave: amputación, biomecánica, deporte adaptado, fisiología, natación.

Editado por:

© Generalitat de Catalunya
Departament de la Presidència
Institut Nacional d'Educació
Física de Catalunya (INEFC)

ISSN: 2014-0983

*Correspondencia:

Wellington G. Feitosa
wellington.feitosa@uece.br

Sección:

Educación física

Idioma del original:

Inglés

Recibido:

5 de diciembre de 2022

Aceptado:

10 de marzo de 2023

Publicado:

1 de octubre de 2023

Portada:

Una deportista
realizando parkour.
©Image Source.
Adobe Stock.

Introducción

Para tener éxito en la natación de competición, los deportistas tienen que recorrer una distancia determinada en el menor tiempo posible, siguiendo unas reglas establecidas. La técnica de nado y el suministro de energía deben permitir alcanzar y mantener la velocidad de nado deseada. Para una correcta evaluación de los nadadores, es fundamental obtener datos relacionados con los indicadores de rendimiento en natación, como los cinemáticos, coordinativos y fisiológicos (Pelarigo et al., 2017; Pelarigo et al., 2018). Además, estos factores desempeñan un papel importante en el rendimiento del deportista, ya que están interconectados (Figueiredo et al., 2013).

En natación, a menudo se investigan parámetros cinemáticos como la frecuencia de brazada (FB) media y la longitud de brazada (LB) media. El producto entre FB y LB determina la velocidad media de nado (v), sin el efecto de arrancadas y giros (Craig y Pendergast, 1979). La interacción entre FB y LB, según Hay y Guimarães (1983), permite un aumento de v y, en consecuencia, del rendimiento. Sin embargo, estos parámetros están inversamente relacionados. Para aumentar v de forma aguda, la estrategia observada es aumentar FB. Por otro lado, en respuesta al entrenamiento, el efecto crónico genera un aumento de v como consecuencia de un incremento de LB debido a adaptaciones fisiológicas y técnicas (Yanai, 2003). Teóricamente, a medida que un nadador entrena y mejora sus habilidades fisiológicas y técnicas, aumenta LB; lo que conduce a una mayor v en una natación más técnica (Castro et al., 2021). También se espera el mismo comportamiento en nadadores con amputaciones (Figueiredo et al., 2014).

Aunque la natación está reconocida como un deporte simétrico, no se puede asegurar el equilibrio entre ambos lados del cuerpo. Los nadadores con discapacidad física y motora pueden presentar asimetrías aún más pronunciadas (Santos et al., 2020). Los nadadores con amputación de extremidades superiores necesitan compensar la falta de segmento propulsor (Prins y Murata, 2008) y, en consecuencia, utilizan más FB para aumentar v (Prins y Murata, 2008; Hogarth et al., 2018). En cuanto al comportamiento en los 200 m de estilo crol, Castro et al. (2021) encontraron que había una disminución de v hasta la tercera serie de 25 m y luego se estabilizaba.

En la natación a estilo crol, los movimientos de las extremidades superiores (alternados) son responsables de alrededor del 85-90 % de la propulsión, generada principalmente por manos y antebrazos, en nadadores con anatomía típica (Toussaint y Beek, 1992). Sin embargo, hay fases que no son propulsivas, como el recobro y la entrada hasta que la mano “agarra” el agua (Chollet et al., 2000). Cada nadador adapta el inicio y el final de cada fase para ambas extremidades superiores en función de las restricciones

que se le imponen (v , por ejemplo). Por lo tanto, es importante comprender la coordinación de las extremidades superiores mediante la identificación temporal del inicio y el final de las fases propulsivas y no propulsivas. En este contexto, los nadadores con discapacidad física en la extremidad superior (amputación en la región del codo) presentan una pérdida de propulsión en comparación con los nadadores con una anatomía típica. Si esto ocurre, el nadador necesita utilizar la superficie existente de la extremidad para generar propulsión (Prins y Murata, 2008).

Para evaluar la coordinación de brazos, Chollet et al. (2000) propusieron cuantificar la coordinación (el Índice de Coordinación - IdC) y dividieron la brazada en cuatro fases para cada una de las extremidades superiores, dos de las cuales se destacan como propulsivas (tracción y empuje - sumergido) y las otras dos, como no propulsivas (recobro y entrada hasta el agarre). Así, la coordinación de brazos puede describirse a partir de tres modelos: (i) modelo de oposición, cuando una de las extremidades superiores inicia la tracción en el momento en que la otra finaliza la fase de empuje, lo que da lugar a una serie continua de acciones de propulsión; (ii) modelo de captura, que presenta un retraso temporal entre las fases de propulsión de las extremidades superiores y (iii) modelo de superposición, caracterizado por el inicio de la fase de tracción antes del final de la fase de empuje (Chollet et al., 2000).

El IdC permite identificar cuantitativamente el modelo de coordinación adoptado por el nadador (Chollet et al., 2000). El IdC es el tiempo transcurrido entre el inicio de la fase de propulsión de una extremidad superior y el final de la fase de propulsión de la otra extremidad superior, y se calcula mediante el tiempo de retardo (diferencia) entre el inicio de la acción propulsora de una brazada y el final de la acción propulsora de la otra brazada. Para los nadadores con amputación de una extremidad superior, se adapta el IdC (IdCAdapt), el cual se obtiene de un punto común en ambas extremidades superiores (Osborough et al., 2010).

En las pruebas de 200 m de natación, se sabe que existen dificultades para mantener LB constante a lo largo de la distancia y, por tanto, se produce un aumento de FB en las últimas vueltas para mantener o aumentar v (Figueiredo et al., 2013). Además, Ramos Junior (2017) sugiere que los nadadores con discapacidad física tienen dificultades para mantener el esfuerzo aeróbico máximo. Así, comprobar el comportamiento de las variables cinemáticas y coordinativas a lo largo de la prueba de 200 m permite a entrenadores, nadadores e investigadores entender claramente las condiciones de la técnica de nado del deportista, identificar posibles soluciones para las estrategias que deberán adoptar a lo largo de la prueba y tener más objetividad y transparencia en la determinación de la aptitud del deportista (Payton et al., 2020; Santos et al., 2021).

Cabe destacar que existen pocos estudios relativos al rendimiento de los nadadores con discapacidad física (Feitosa et al., 2019). Por ello, el objetivo de este estudio era analizar el rendimiento de los nadadores con amputaciones en la T200, a través de variables cinemáticas y de coordinación en dos momentos (75-100 m y 175-200 m) de la prueba y mediante el consumo pico de oxígeno.

Metodología

Participantes

Seis nadadores voluntarios (cuatro hombres y dos mujeres) con amputación de extremidades superiores e inferiores participaron en este estudio (media de edad: 30.0 ± 9.8 años; altura media: 174 ± 0.07 cm; envergadura media: 162.3 ± 26.1 cm; masa corporal total media: 70.4 ± 8.6 kg), con una experiencia previa en el deporte de 5.1 ± 3.5 años. Todos ellos entrenaban cinco veces por semana con una media aproximada de 2,800 m por sesión de entrenamiento y objetivos competitivos a nivel nacional o internacional. Asimismo, todos pertenecían a clases deportivas entre S8 y S10 del Comité Paralímpico Internacional (IPC, 2015). Los participantes pertenecían a las siguientes clases deportivas: S8 ($n = 1$; hombre con amputación unilateral cerca del hombro derecho); S9 ($n = 4$; un hombre con amputación de antebrazo y tres con amputación transfemoral [dos hombres y una mujer] y S10 ($n = 1$; mujer con amputación transtibial). Todos los participantes habían sido categorizados en sus respectivas clases deportivas en los últimos dos meses antes de la obtención de datos por parte del Comité Paralímpico Brasileño. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad donde se llevó a cabo (Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, número 2 274 037) y cumplió con las directrices nacionales e internacionales relativas a la investigación con seres humanos. Todos los participantes recibieron y firmaron un formulario de consentimiento informado para participar en el estudio; también recibieron explicaciones verbales sobre la metodología y los objetivos.

Evaluación antropométrica

Se tomaron medidas antropométricas antes de la T200: (i) masa corporal (kg), con ropa de baño y descalzo; (ii) estatura (cm), de pie, con los pies juntos y cerca del estadiómetro y las extremidades superiores junto al tronco de forma relajada, la cabeza ajustada tras una respiración profunda, según el plano de Frankfurt (Eston

y Really, 2009); y (iii) envergadura (cm): tumbado en el suelo, en decúbito dorsal, con los hombros abducidos a 90° y los codos, muñecas y dedos extendidos. Se obtuvo la distancia máxima entre los extremos de los miembros superiores. Tras las mediciones antropométricas, se marcaron 19 referencias con tinta negra no tóxica sobre la piel de los nadadores para su posterior digitalización: vértices del hombro, codo, muñeca, trocánteres femorales, articulaciones metatarsofalángicas de los dedos de manos y pies, rodilla y tobillo; tanto en el plano sagital derecho como en el izquierdo. Estas marcas, de aproximadamente 2 cm de diámetro, eran necesarias para la posterior digitalización de los puntos de referencia para el análisis cinemático tridimensional (3D) (Sanders et al., 2015).

Diseño experimental

Antes de la prueba, y con el objetivo que los participantes conocieran el equipo, utilizaron durante entre seis y diez sesiones ordinarias de entrenamiento un tubo de respiración normal junto con una pinza nasal. A lo largo de estas sesiones, los participantes realizaron vueltas abiertas. El protocolo de la prueba consistió en 200 m de estilo crol (T200). Se indicó a los participantes que no realizaran ninguna actividad física y que se abstuvieran de tomar cafeína y alcohol 24 h antes de la prueba. Antes de la T200, los deportistas realizaron un calentamiento estandarizado de 600 m con estilo crol: 200 m a intensidad leve a moderada, 200 m con tubo de respiración normal y pinza nasal, y 200 m con tubo de respiración (Aquatrainner, Cosmed, Italia) conectado a un analizador de gases (K5, Cosmed, Italia) y una pinza nasal.

Los nadadores efectuaron la T200 de manera individual y realizaron (i) la salida desde el borde de la piscina, (ii) con giros abiertos, siempre hacia el mismo lado, sin deslizamiento subacuático, y (iii) nadando sin movimientos rotacionales cervicales durante la respiración, debido al uso del tubo de respiración. Durante la T200, se registró con un cronómetro manual (CASIO HS-30W, Japón) el tiempo en segundos desde el inicio hasta el final de la prueba (rendimiento). Todos los deportistas realizaron la T200 en las mismas condiciones ambientales, en una piscina cubierta climatizada de 25 m, con el agua a aproximadamente 28°C .

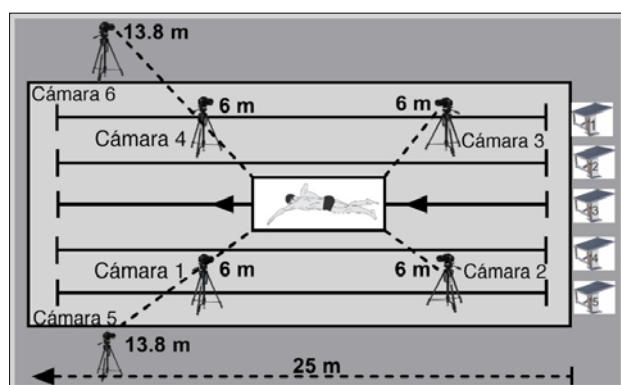
Obtención de datos cinemáticos

Los parámetros cinemáticos se obtuvieron mediante videogrametría tridimensional (3D) con seis cámaras fijas (funcionando a 60 Hz), cuatro de las cuales se colocaron bajo el agua (0.5 m) dentro de una caja estanca, y dos por encima del agua (a 1.52 m del suelo) (De Jesus et al., 2015).

El recorrido nadado por los deportistas fue grabado por las cámaras dentro de un espacio calibrado que se ubicó en el carril 3 de la piscina, orientado longitudinalmente (eje x como dirección del nadador), a la misma distancia de ambas cabeceras de la piscina (Figura 1) con unas dimensiones de la estructura del espacio calibrado de $x = 4.5$ m (eje horizontal); $y = 1$ m (eje medial-lateral); $z = 1.5$ m (eje vertical). Se utilizó una señal luminosa, grabada de manera simultánea por las seis cámaras, para sincronizar las imágenes de las cámaras de vídeo en la misma base temporal como referencia en la reconstrucción de las coordenadas en el *software* de análisis.

Figura 1

Posicionamiento de las cámaras para el análisis 3D y el espacio calibrado.



En dos vueltas de la T200 (M1, de 75 a 100 m, y M2, de 175 a 200 m), se analizó un ciclo de brazada, comenzando con la entrada y reentrada de la misma mano en el agua (Barbosa et al., 2008). Se utilizó un ciclo para todos los nadadores. Se escogió el ciclo en el que los nadadores estaban más centrados en el espacio del volumen de calibración, con el inicio y el final del ciclo dentro del espacio previamente calibrado. La distancia recorrida por los nadadores dentro del espacio calibrado se empleó para los análisis de imágenes 3D. Para los nadadores con amputación de extremidad superior, el ciclo se adaptó a la entrada y reentrada de la parte distal de la extremidad por en el agua. El fotograma de calibración fue grabado por las cámaras durante tres segundos antes de que los nadadores iniciaran la T200, con el fin de obtener los parámetros espaciales para las conversiones de las imágenes de dos a tres dimensiones, con Transformación Lineal Directa (TLD) mediante cálculos realizados en el *software* Ariel Performance Analysis System (APAS). Las imágenes se recortaron (tramos de natación en el espacio calibrado) y se convirtieron (AVCHD 1080p a AVI 1080 × 720p, sin comprimir) mediante el *software* Sony Vegas Pro 15 (MAGIX GmbH & Co. KGaA, Alemania).

A continuación, las imágenes se cargaron en el *software* APAS mediante recorte, en el que se procesaron para obtener los parámetros cinemáticos y coordinativos. La digitalización se llevó a cabo de forma manual en cada fotograma de los 18 marcadores de los cuerpos de los nadadores (vértice de la cabeza, dedo corazón, muñeca, codo, hombro, cadera, rodilla, talón y primera falange metatarsiana) y de un marcador fijo en el mismo lugar en todos los fotogramas. Al final de la digitalización de cada momento (un ciclo de brazada), se digitalizaron 24 marcadores de control del volumen de calibración, que se utilizaron para la transformación de dos a tres dimensiones TLD. Por último, se utilizó la pantalla para identificar los resultados de desplazamiento de todos los marcadores examinados para los cálculos de las variables cinemáticas. Se identificó la ubicación del centro de masa corporal. Los datos fueron suavizados mediante un filtro Butterworth con una frecuencia de corte de 4 Hz por debajo de segundo orden. Los resultados se guardaron en hojas de cálculo de Microsoft Excel y se almacenaron en archivos con formato txt para los cálculos de las variables.

Para evaluar el modelo de coordinación y la duración de las fases de la brazada, se identificaron las coordenadas horizontales y verticales de las manos y los hombros, fotograma a fotograma, junto con el inicio y final de cada fase de la brazada; tanto propulsivas como no propulsivas, como se describe a continuación (Chollet et al., 2000):

- **Entrada y agarre:** tiempo transcurrido desde la entrada de la mano en el agua hasta el inicio del movimiento de retroceso de la mano o de la parte distal de la extremidad superior en el caso de nadadores con amputación (inicio de la fase: primer fotograma en el que se identificó la entrada de la mano en el agua).
- **Tracción:** tiempo transcurrido entre el inicio del movimiento de retroceso de la mano o del brazo amputado hasta que se sitúa por debajo del hombro del nadador (inicio de la fase: primer fotograma en el que la coordenada horizontal de la mano disminuyó, después de que la mano entrara en el agua).
- **Empuje:** tiempo transcurrido entre el momento en que la mano está por debajo de la línea del hombro hasta el lado del muslo que rompe la superficie del agua (inicio de la fase: fotograma en el que las coordenadas verticales de los marcadores del hombro y de la mano eran iguales).
- **Recobro:** tiempo transcurrido entre que la mano sale del agua y la misma mano entra en el agua por delante del cuerpo del nadador (inicio de la fase: fotograma en el que el marcador de la mano aparece fuera del agua).

Obtención de datos cinemáticos

La s se obtuvo mediante el cociente entre el desplazamiento horizontal del centro de masa (eje x) a lo largo del ciclo de brazada y el tiempo para completar el mismo ciclo. FB se calculó mediante la inversa de la duración del ciclo de brazada multiplicada por 60. LB se identificó mediante el desplazamiento horizontal del centro de masa del nadador durante el ciclo de brazada.

Identificación del modelo de coordinación

El modelo de coordinación se identificó calculando el IdC (para nadadores sin amputación de la extremidad superior) y el IdCAdapt (para el nadador con amputación de la extremidad superior) (Chollet et al., 2000; Osborough et al., 2010). La duración media de cada fase de la brazada se determinó tras examinar los dos primeros movimientos consecutivos (uno del brazo derecho y otro del izquierdo) (Chollet et al., 2000). En el momento en que los nadadores entraban en el espacio calibrado, por ejemplo, por la extremidad superior izquierda, el IdC se definía como el intervalo de tiempo entre el final de la fase de empuje de la extremidad superior izquierda y el comienzo de la fase de tracción de la derecha (LT1) y el intervalo de tiempo entre el final de la fase de empuje de la extremidad superior derecha y el comienzo de la segunda fase de la izquierda (LT2) (Chollet et al., 2000). Independientemente de qué mano entrara primero en el espacio precalibrado, el retraso medio entre las fases de empuje de ambas se presentó como un porcentaje del tiempo medio de un ciclo de brazada completo (T) (Chollet et al., 2000), utilizando la Ecuación 1, para calcular el IdC o el IdCAdapt:

Ecuación 1

$$\text{IdC} = \frac{(\text{LT1} + \text{LT2})}{2} * \frac{100}{T}$$

Así, cuando el IdC o el IdCAdapt eran < 0 , el modelo de coordinación era de captura; cuando eran $= 0$, el modelo era de oposición y cuando eran > 0 , el modelo era de solapamiento (Chollet et al., 2000).

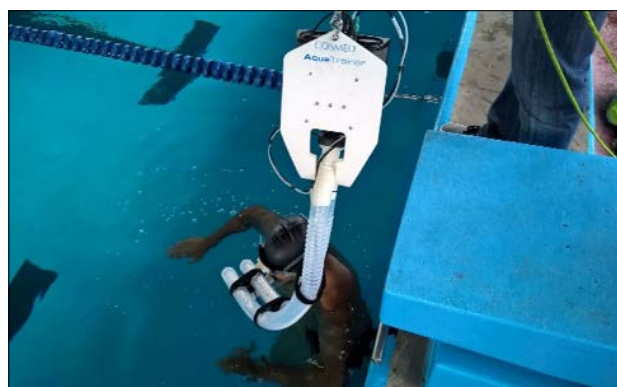
Consumo pico de oxígeno ($\text{VO}_{2\text{pico}}$)

La T200 solo se iniciaba cuando la tasa de intercambio respiratorio (TIR), identificada por el ergoespirómetro, se aproximaba a 0.8. Durante la T200, el VO_2 y la TIR se recogieron de manera continua en cada respiración. Antes del inicio de todas las recogidas, se calibró el ergoespirómetro siguiendo las instrucciones del fabricante. Tras la calibración, se conectó al deportista mediante un tubo de respiración para la captación de gases respiratorios (Figura 2). Todo este aparato estaba suspendido a una altura de 2 m sobre la superficie del

agua mediante mosquetones y cable de acero con poleas, gracias a lo cual se podría seguir al nadador a lo largo de la piscina y se minimizaba la alteración de los movimientos del nadador (Sousa et al., 2013). Tras la prueba, los valores de captación de oxígeno se filtraron manualmente utilizando el valor de referencia de media ± 4 *desviación típica (De Jesus et al., 2014) para minimizar los artefactos de la captación de gases que no representan datos fisiológicos. En los análisis, se utilizó la media móvil de cinco respiraciones (Fernandes et al., 2011). El $\text{VO}_{2\text{pico}}$ se consideró el valor más alto identificado durante la prueba (Ribeiro et al., 2016).

Figura 2

Nadador respirando en el tubo para la captación de gases respiratorios.



Análisis estadístico

Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Se calcularon las medias, las desviaciones típicas y los límites de los intervalos de confianza de la media (IdC del 95 %) de todas las variables de este estudio. Con el fin de comparar los datos entre las dos vueltas de 200 m, se aplicó la prueba t de Student para los datos emparejados. La significación estadística se fijó en $p < .05$. El tamaño del efecto utilizado fue la g de Hedge, con la siguiente categorización: de 0 a 0.19: insignificante; de 0.2 a 0.59: pequeño; de 0.6 a 1.19: moderado; de 1.2 a 1.99: grande; de 2.0 a 3.99: muy grande, y > 4 : casi perfecto (Hopkins, 2002).

Resultados

El rendimiento medio en la T200 fue de 197.8 ± 24.7 s (IdC del 95 %: de 171.9 a 223.7 s). Por clase deportiva, el rendimiento en la T200 fue de 195 s (S8, $n = 1$), 192 ± 28.3 s (S9, $n = 4$) y 221 (S10, $n = 1$). La media y la desviación típica del $\text{VO}_{2\text{pico}}$ fueron de 44.1 ± 8.4 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (IdC del 95 %: de 35.2 a 53.1 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). La tabla 1 muestra los valores medios, las desviaciones típicas y el IdC del 95 %, los resultados de las comparaciones y los tamaños del efecto del tramo en la T200.

Tabla 1

Media y desviaciones típicas, límites de los intervalos de confianza de la media (95 %) y datos estadísticos para v , FB, LB ($n = 6$), IdC ($n = 5$) y fases de longitud de brazada de los tramos 1 y 2 (S1: 75-100; S2: 175-200 m) respectivamente de la T200.

	S1 (75 - 100 m) Media $\pm$ dt; (IdC del 95 %)	S2 (175 - 200 m) Media $\pm$ dt; (IdC del 95 %)	t de Student; valor de p g de Hedge
Velocidad de nado ($m \cdot s^{-1}$)	0.99 ± 0.15 [entre 0.83 y 1.16]	0.96 ± 0.19 [entre 0.76 y 1.16]	0.65; .61 0.17
Frecuencia de brazada ($ciclos \cdot min^{-1}$)	40.5 ± 6.8 [entre 33.4 y 47.6]	41.5 ± 3.2 [entre 38.1 y 44.9]	-0.46; .60 0.18
Longitud de brazada (m)	1.51 ± 0.38 [entre 1.10 y 1.91]	1.39 ± 0.38 [entre 1.07 y 1.70]	1.36; .23 0.31
IdC/IdCadapt (%)	-4.4 ± 9.2 [entre -15.9 y 7.0]	-3.5 ± 8.9 [entre -14.6 y 7.5]	-0.46; .61 0.09
Fase de entrada y agarre (%)	30.7 ± 12.0 [entre 15.7 y 45.8]	30.2 ± 6.4 [entre 22.1 y 38.2]	-0.25; .81 0.05
Fase de tracción (%)	13.4 ± 8.5 [entre 2.8 y 24.0]	15.7 ± 2.7 [entre 12.3 y 19.1]	-0.53; .61 0.36
Fase de empuje (%)	23.0 ± 6.2 [entre 15.2 y 30.8]	24.7 ± 7.3 [entre 15.7 y 33.8]	0.64; .55 0.25
Fase de recobro (%)	32.7 ± 11.0 [entre 18.9 y 46.5]	29.3 ± 4.6 [entre 23.6 y 35.0]	-0.73; .50 0.40
Fases propulsivas (%)	39.4 ± 13.2 [entre 25.4 y 53.2]	42.3 ± 6.0 [entre 35.9 y 48.6]	-0.65; .54 0.28
Fases no propulsivas (%)	60.6 ± 13.2 [entre 46.7 y 74.5]	57.7 ± 6.0 [entre 51.3 y 64.0]	0.65; .54 0.28

IdC = Índice de coordinación.

Los tamaños del efecto (efectos por tramos en la T200) fueron: (i) insignificante para la velocidad de nado, la frecuencia de brazada, el IdC/IdCadapt, la duración de las fases de entrada y agarre, y de tracción; y (ii) pequeño para la longitud de brazada, la duración de las fases de tracción, empuje, recobro, propulsivas y no propulsivas.

Discusión

El presente estudio tenía por meta describir el rendimiento de nadadores con amputaciones en la T200, a través de parámetros cinemáticos y de coordinación en dos tramos de la prueba y por el consumo pico de oxígeno. Los principales hallazgos de este estudio fueron que las variables cinemáticas no presentaron variaciones estadísticas con respecto a los dos tramos analizados, la coordinación fue clasificada como captura y el consumo pico de oxígeno fue inferior al de nadadores sin discapacidad en la misma prueba, mediante sistema de intercambio de gases por telemetría con método directo (Figueiredo et al., 2013). Los tamaños del efecto de los tiempos de análisis sobre las variables fueron insignificantes o pequeños.

Según Prins y Murata (2008) y Osborough et al. (2009), los nadadores con discapacidad física en general, y con amputación de extremidad superior, en particular, para alcanzar y mantener la v deseada, compensan la falta

del segmento propulsivo con valores de FB más altos en comparación con los nadadores sin discapacidad física. Es decir, FB desempeña un papel más importante en relación con el rendimiento que LB. En el presente estudio, a lo largo de más de 200 m, v y FB se mantuvieron estadísticamente constantes (tamaño del efecto insignificante implicado en la reducción de v y el aumento de FB), mientras que LB mostró una mayor disminución (tamaño del efecto pequeño). Este resultado respalda la importancia de FB para los nadadores con amputaciones. Cabe destacar que este comportamiento fue el mismo en todos los nadadores del presente estudio: cuatro con amputaciones de extremidades inferiores y dos con amputaciones de extremidades superiores. Es decir, la menor capacidad de propulsión de las extremidades inferiores también conllevó un aumento de FB para el mantenimiento de v .

En comparación con los nadadores con anatomía típica, se identificó un comportamiento similar de FB y LB para el estilo crol de 200 m (aumento de FB y disminución de LB a lo largo de los 200 m) en 11 de los 17 nadadores (Huot-Marchand et al., 2005). Sin embargo, una mayor v ($1.45 m \cdot s^{-1}$) alcanzada por una mayor LB (2.1 m) y similar FB (41.4 $ciclos \cdot min^{-1}$) en relación con los nadadores del presente estudio en la misma prueba. Al menos para los nadadores con discapacidad física a nivel nacional (pruebas de 100 m estilo libre), LB parece estar más directamente relacionada con v y la clase deportiva para ambos sexos (Pérez-Tejero et al., 2018).

Asimismo, en la T200 con nadadores sin discapacidad, Franken et al. (2016) analizaron cuatro divisiones de 25 m antes de los 50, 100, 150 y 200 m de la T200 m, y solo observaron un aumento entre los 50 y los 200 m en FB. Por otra parte, los valores de LB disminuyeron de los 50 m a los 200 m. Así, se puede verificar que ambos perfiles de nadadores, con discapacidad y con anatomía típica, a lo largo de la T200 tienden a aumentar FB, mientras que LB disminuye, modificando la forma en que v se alcanza y mantiene a lo largo de la distancia evaluada.

En cuanto a la coordinación de brazos, los tamaños del efecto de las vueltas analizadas de la T200 fueron insignificantes para el IdC o el IdCAapt y todos los nadadores, en ambos tramos de la prueba, realizaron el nado a crol en modelo de captura. En una T200 entre nadadores sin discapacidad, se observó un modelo de captura en el estudio de Figueiredo et al. (2010), que evaluaba la coordinación de seis deportistas sin discapacidad que presentaron una coordinación de captura durante toda la prueba de 200 m. También se observó un aumento del IdC en el 4.º parcial de 50 m y esto, según los autores, se atribuyó a un intento de mantener v cuando hay una disminución de LB. El aumento de FB se produce a expensas de la reducción de la duración de las fases no propulsivas de las brazadas, lo que también conlleva una reducción del tiempo sin propulsión. Mientras que en el estudio de Franken et al. (2016) los valores del IdC no cambiaron durante los parciales analizados de la T200, para Franken et al. (2016), solo se produce un cambio del modelo de captura al de oposición/solapamiento en v alta, cuando FB es alta.

El comportamiento de la duración de las fases a lo largo de la T200 en este estudio fue similar al encontrado en las obras publicadas (Franken et al., 2016). En el mismo estudio, no se encontraron diferencias estadísticas en la duración de las fases de entrada y agarre, tracción y recobro en la T200, pero se observó un aumento de la duración de la fase de tracción. Este aumento puede estar relacionado con el mantenimiento del equilibrio corporal y con el hecho de que se trate del inicio del movimiento que sería más propulsivo en el estilo crol debido a la ausencia de otras extremidades típicas (Santos et al., 2020). Las razones de este desequilibrio pueden ser la preferencia por la respiración unilateral, el desequilibrio de fuerza entre pares de músculos homólogos y el déficit de control motor. Mejorar la velocidad de las manos y optimizar la fase de tracción parece ser un punto crucial que deben mejorar los nadadores con amputaciones (Santos et al., 2021).

En lo tocante al VO_{2pico} , se pueden comprobar, para una misma T200, valores reducidos de los nadadores del presente estudio ($44.1 \pm 8.4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) en comparación con nadadores de alto nivel con una anatomía típica ($68.5 \pm 5.7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Sousa et al., 2011), y nadadores expertos con una anatomía típica ($52.5 \pm 6.3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Trindade et al., 2018). Con las amputaciones, la reducción de la masa muscular provoca una

disminución de la perfusión muscular, lo que a su vez reduce los valores de VO_2 (Saltin et al., 1998). De este modo, los nadadores con amputación de extremidades tienen un VO_{2pico} más bajo que los que tienen una anatomía típica, incluso los nadadores expertos. Junto al ya de por sí menor VO_2 , destaca la dificultad de los nadadores con deficiencia para mantener el esfuerzo aeróbico máximo (Ramos Junior, 2017).

Como principal limitación de este estudio cabe destacar el tamaño de la muestra. Esta limitación no permite extrapolar los datos a todas las poblaciones de nadadores con discapacidad física. Sin embargo, los resultados permiten aproximaciones en el contexto de nadadores con amputaciones. Se podrán realizar futuras investigaciones con esta parte de la población para una mejor comprensión de los datos con el fin de ayudar a los profesionales implicados en el deporte para personas con discapacidad.

Conclusión

Los resultados de este estudio indican que en la T200 los nadadores amputados tendieron a modificar las variables cinemáticas a lo largo de los tiempos M1 y M2 con un aumento de FB y una disminución de LB, así como una disminución de v . Los deportistas adoptaron la coordinación en el modelo de captura y pasaron la mayor parte del tiempo en la fase no propulsiva. El consumo pico de oxígeno fue inferior al observado en nadadores sin discapacidad en la misma prueba.

Declaración informativa

Sin financiación. El estudio fue aprobado por el comité local de ética (Comité de Ética en Investigación de la Universidad Federal de Río Grande del Sur - UFRGS, número 2.274.037) y se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

Referencias

- Barbosa, T. M., Fernandes, R. J., Keskinen, K. L., & Vilas-Boas, J. P. (2008). The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 103(2), 139-149. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0676-z>
- Castro, F. A., Correia, R., Fiori, J. M., Giuliano, A. F., Trindade, C. D. Z., & Feitosa, W. G. (2021). Practical application of the simplified model to assess the arm stroke efficiency: a tool for swimming coaches. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 1-9. <https://doi.org/10.1080/24748668.2021.1957295>
- Chollet, D., Challes, S., & Chatard, J. C. (2000). A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *International Journal of Sports Medicine*, 21(1), 54-59. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8855>
- Craig, A. B., Jr., & Pendergast, D. R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine & Science in Sports*, 11(3), 278-283. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/522640>
- De Jesus, K., Guidetti, L., de Jesus, K., Vilas-Boas, J. P., Baldari, C., & Fernandes, R. J. (2014). Which are the best VO_2 sampling intervals to characterize low to severe swimming intensities? *International Journal of Sports Medicine*, 35(12), 1030-1036. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1368784>

- De Jesus, K., Sousa, A., de Jesus, K., Ribeiro, J., Machado, L., Rodriguez, F., Keskinen, K., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2015). The effects of intensity on VO_2 kinetics during incremental free swimming. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(9), 918-923. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0029>
- Eston, R., & Really, T. (2009). *Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual: tests, procedures and data*. R. Eston & T. Really, Eds. 3RD ed., Vol. Volume one: anthropometry. London-New York: Routledge- Taylor and Francis Group.
- Feitosa, W. G., Correia, R. A., Barbosa, T. M., & Castro, F. A. S. (2019). Performance of disabled swimmers in protocols or tests and competitions: a systematic review and meta-analysis. *Sports Biomechanics*, 1-23. <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1654535>
- Fernandes, R. J., Sousa, M., Machado, L., & Vilas-Boas, J. P. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 32(12), 940-946. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1283189>
- Figueiredo, P., Toussaint, H. M., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Relation between efficiency and energy cost with coordination in aquatic locomotion. *European Journal of Applied Physiology*, 113(3), 651-659. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2468-8>
- Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., Seifert, L., Didier, C., & Fernandes, R. (2010). Inter-Limb Coordinative Structure in a 200 m Front Crawl Event. *Open Sports Sciences Journal*, 3, 25-27. <https://doi.org/10.2174/1875399X010030100025>
- Figueiredo, P., Willig, R., Alves, F., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2014). Biophysical characterization of a swimmer with a unilateral arm amputation: a case study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 1050-1053. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0438>
- Franken, M., Ludwig, R. F., Cardoso, T. P., Silveira, R. P., & Castro, F. A. d. S. (2016). Performance in 200 m front crawl: coordination index, propulsive time and stroke parameters. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 18(3), 311-321. <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2016v18n3p311>
- Hay, J. G., & Guimarães, A. C. S. (1983). A quantitative look at swimming biomechanics. *Swimming Technique*, 20(2), 11-17.
- Hogarth, L., Payton, C., Van de Vliet, P., Connick, M., & Burkett, B. (2018). A novel method to guide classification of para swimmers with limb deficiency. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(11), 2397-2406. <https://doi.org/10.1111/sms.13229>
- Hopkins, W. G. (2002). A scale of magnitudes for the effect statistics. A new view of statistics. <http://www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html>
- Huot-Marchand, F., Nesi, X., Sidney, M., Alberty, M., & Pelayo, P. (2005). Swimming. Variations of stroking parameters associated with 200 m competitive performance improvement in top-standard front crawl swimmers. *Sports Biomechanics*, 4(1), 89-99. <https://doi.org/10.1080/14763140508522854>
- Osborough, C. D., Payton, C. J., & Daly, D. (2009). Relationships between the front crawl stroke parameters of competitive unilateral arm amputee swimmers, with selected anthropometric characteristics. *Journal of Applied Biomechanics*, 25(4), 304-312. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20095451>
- Osborough, C. D., Payton, C. J., & Daly, D. (2010). Influence of swimming speed on inter-arm coordination in competitive unilateral arm amputee front crawl swimmers. *Human Movement Science*, 29(6), 921-931. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2010.05.009>
- Payton, C., Hogarth, L., Burkett, B., P. V. D. V., Lewis, S., & Oh, Y. T. (2020). Active Drag as a Criterion for Evidence-based Classification in Para Swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(7), 1576-1584. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002281>
- Pelarigo, J. G., Fernandes, R. J., Ribeiro, J., Denadai, B. S., Greco, C. C., & Vilas-Boas, J. P. (2018). Comparison of Different Methods for the Swimming Aerobic Capacity Evaluation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3542-3551. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001873>
- Pelarigo, J. G., Machado, L., Fernandes, R. J., Greco, C. C., & Vilas-Boas, J. P. (2017). Oxygen uptake kinetics and energy system's contribution around maximal lactate steady state swimming intensity. *PLoS One*, 12(2), e0167263. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167263>
- Pérez-Tejero, J., Almena, A., Coterón, J., Navandar, A., & Veiga, S. (2018). Freestyle stroke parameters of national level swimmers with physical impairments. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 14(53), 268-279. <https://doi.org/10.5232/ricyde2018.05307>
- Prins, J., & Murata, N. (2008). Kinematic analysis of swimmers with permanent physical disabilities. *International Journal of Aquatic Research Education*, 2(4), 330-345. <https://doi.org/10.25035/ijare.02.04.06>
- Ramos Junior, V. R. (2017). *Caracterização biofísica de nadadores com deficiência motora*. Doctoral Thesis, University of Porto, Portugal.
- Ribeiro, J., Figueiredo, P., Guidetti, L., Alves, F., Toussaint, H., Vilas-Boas, J. P., Baldari, C., & Fernandes, R. J. (2016). Aquatrainer(R) snorkel does not increase hydrodynamic drag but influences turning time. *International Journal of Sports Medicine*, 37(4), 324-328. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1555859>
- Saltin, B., Radegran, G., Koskolou, M. D., & Roach, R. C. (1998). Skeletal muscle blood flow in humans and its regulation during exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 162(3), 421-436. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.1998.0293e.x>
- Sanders, R. H., Chiu, C. Y., Gonjo, T., Thow, J., Oliveira, N., Psycharakis, S. G., Payton, C. J., & McCabe, C. B. (2015). Reliability of the elliptical zone method of estimating body segment parameters of swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14(1), 215-224. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25729310>
- Santos, K. B., Bento, P. C. B., Payton, C., & Rodacki, A. L. F. (2020). Symmetry in the front crawl stroke of different skill level of able-bodied and disabled swimmers. *PLoS One*, 15(3), e0229918. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229918>
- Santos, K. B., Bento, P. C. B., Payton, C., & Rodacki, A. L. F. (2021). Kinematic Variables of Disabled Swimmers and Their Correlation With the International Paralympic Committee Classification. *Motor Control*, 25(4), 575-586. <https://doi.org/10.1123/mc.2021-0019>
- Sousa, A., Figueiredo, P., Oliveira, N. L., Oliveira, J., Silva, A. J., Keskinen, K. L., Rodriguez, F. A., Machado, L. J., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2011). VO_2 kinetics in 200-m race-pace front crawl swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 32(10), 765-770. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1279772>
- Sousa, A., Figueiredo, P., Zamparo, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Anaerobic alactic energy assessment in middle distance swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 113(8), 2153-2158. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2646-3>
- Toussaint, H. M., & Beek, P. J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine*, 13(1), 8-24. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1553457>
- Trindade, C. D. Z., Schneider, C. D., & Castro, F. A. S. (2018). Physiological and kinematic analysis of master swimmers 200 m front crawl. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 18, 46-61. <https://doi.org/10.5628/rpcd.18.03.46>
- Yanai, T. (2003). Stroke frequency in front crawl: its mechanical link to the fluid forces required in non-propulsive directions. *Journal of Biomechanics*, 36(1), 53-62. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12485638>

Conflicto de intereses: las autorías no han declarado ningún conflicto de intereses.



© Copyright Generalitat de Catalunya (INEFC). Este artículo está disponible en la URL <https://www.revista-apunts.com/es/>. Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. Las imágenes u otro material de terceros en este artículo se incluyen en la licencia Creative Commons del artículo, a menos que se indique lo contrario en la línea de crédito. Si el material no está incluido en la licencia Creative Commons, los usuarios deberán obtener el permiso del titular de la licencia para reproducir el material. Para ver una copia de esta licencia, visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es_ES