







## Cinemàtica, coordinació de braços i consum d'oxigen en els nedadors amb amputacions en la prova d'estil crol

Daniela Ogaratto<sup>1</sup> , Wellington G. Feitosa<sup>1-2\*</sup> , Daniela H. Gonzalez<sup>1</sup>   
i Flávio A. de S. Castro<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Grup de Recerca d'Esports Aquàtics, Escola d'Educació Física, Fisioteràpia i Dansa, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Brasil).

<sup>2</sup> Facultat d'Educació Física/Universitat Estatal de Ceará, Fortaleza (Brasil).



### Citació

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)

### Resum

L'objectiu d'aquest estudi va ser descriure la cinemàtica, la coordinació de braços i el consum d'oxigen de nedadors amb amputacions, i comprovar l'evolució d'aquests paràmetres en dues voltes (75-100 m i 175-200 m) d'una prova de 200 m d'estil crol (T200). Hi van participar sis nedadors (quatre homes i dues dones) amb amputacions (edat:  $30 \pm 9.8$  anys). Es van obtenir mesures antropomètriques i es van col·locar 19 marcadors en zones predeterminades del cos per a l'exploració posterior de la T200. Els nedadors van escalfar i després van fer la T200. La prova es va gravar en vídeo digital. Es van processar les imatges (programari APAS) i es van analitzar els vídeos en tres dimensions (3D). A partir de les imatges, es van obtenir dades cinemàtiques (freqüència i longitud mitjanes de braçada, velocitat de natació i índex de braçada) i coordinatives (índex de coordinació). Durant la T200, es va mesurar el consum d'oxigen ( $VO_2$ ) de cada respiració (analitzador de gasos portàtil) i se'n va identificar el valor de pic ( $VO_{2pic}$ ). A fi de comparar les dades entre les voltes, es van utilitzar estadístiques descriptives i la prova t de Student per a les dades aparellades. El rendiment dels nedadors avaluats va ser de  $197.8 \pm 24.7$  s. La freqüència, la longitud, la velocitat i l'índex de braçada van ser, respectivament,  $41.0 \pm 5.1$  cicles/min,  $1.5 \pm 0.3$  m,  $0.98 \pm 0.02$  m/s i  $1.67 \pm 0.59$  m<sup>2</sup>/s. En general, la coordinació es va produir en la captura amb un consum pic d'oxigen de  $43.6 \pm 8.0$  ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>. Les variables cinemàtiques i la coordinació no van canviar entre les voltes analitzades.

**Paraules clau:** amputació, biomecànica, esport adaptat, fisiologia, natació.

### Editat per:

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

ISSN: 2014-0983

### \*Correspondència:

Wellington G. Feitosa  
[wellington.feitosa@uece.br](mailto:wellington.feitosa@uece.br)

### Secció:

Educació física

### Idioma de l'original:

Anglès

### Rebut:

5 de desembre de 2022

### Acceptat:

10 de març de 2023

### Publicat:

1 d'octubre de 2023

### Coberta:

Una esportista  
fent parkour.  
©Image Source.  
Adobe Stock.

## Introducció

Per tenir èxit en la natació de competició, els esportistes han de recórrer una distància determinada en el mínim temps possible, seguint unes regles establertes. La tècnica de natació i el subministrament d'energia han de permetre assolir i mantenir la velocitat de natació desitjada. Per avaluar correctament els nedadors, és fonamental obtenir dades relacionades amb els indicadors de rendiment en natació, com ara les cinemàtiques, coordinatives i fisiològiques (Pelarigo et al., 2017; Pelarigo et al., 2018). A més, aquests factors exerceixen un paper important en el rendiment de l'esportista, ja que estan interconnectats (Figueiredo et al., 2013).

En natació, sovint s'investiguen paràmetres cinemàtics com la freqüència de braçada (FB) mitjana i la longitud de braçada (LB) mitjana. El producte entre FB i LB determina la velocitat mitjana de natació ( $v$ ), sense l'efecte d'arrencades i girs (Craig i Pendergast, 1979). La interacció entre FB i LB, segons Hay i Guimarães (1983), permet un augment de  $v$  i, en conseqüència, del rendiment. Tanmateix, aquests paràmetres estan inversament relacionats. Per augmentar  $v$  de manera aguda, l'estratègia observada és augmentar FB. D'altra banda, en resposta a l'entrenament, l'efecte crònic genera un augment de  $v$  com a conseqüència d'un increment de LB a causa d'adaptacions fisiològiques i tècniques (Yanai, 2003). Teòricament, a mesura que un nedador entrena i millora les seves habilitats fisiològiques i tècniques, augmenta LB; la qual cosa condueix a una  $v$  més gran en una natació més tècnica (Castro et al., el 2021). També s'espera el mateix comportament en nedadors amb amputacions (Figueiredo et al., 2014).

Encara que la natació està reconeguda com un esport simètric, no es pot assegurar l'equilibri entre els dos costats del cos. Els nedadors amb discapacitat física i motriu poden presentar asimetries encara més pronunciades (Santos et al., 2020). Els nedadors amb amputació d'extremitats superiors necessiten compensar la falta de segment propulsor (Prins i Murata, 2008) i, en conseqüència, utilitzen més FB per augmentar  $v$  (Prins i Murata, 2008; Hogarth et al., 2018). Quant al comportament en els 200 m d'estil crol, Castro et al. (2021) van trobar que hi havia una disminució de  $v$  fins a la tercera sèrie de 25 m i després s'estabilitzava.

En la natació estil crol, els moviments de les extremitats superiors (alternats) són responsables del voltant del 85-90 % de la propulsió, generada principalment per mans i avantbraços, en nedadors amb anatomia típica (Toussaint i Beek, 1992). Tot i així, hi ha fases que no són propulsives, com la recuperació i l'entrada fins que la mà "agafa" l'aigua (Chollet et al., 2000). Cada nedador adapta l'inici i el final de cada fase per a les dues extremitats superiors en funció de les restriccions que se li imposen ( $v$ , per exemple).

Per tant, és important comprendre la coordinació de les extremitats superiors mitjançant la identificació temporal de l'inici i el final de les fases propulsives i no propulsives. En aquest context, els nedadors amb discapacitat física en l'extremitat superior (amputació a la regió del colze) presenten una pèrdua de propulsió en comparació amb els nedadors amb una anatomia típica. Si passa això, el nedador necessita utilitzar la superfície existent de l'extremitat per generar propulsió (Prins i Murata, 2008).

Per avaluar la coordinació de braços, Chollet et al. (2000) van proposar de quantificar la coordinació (l'Índex de Coordinació - IdC) i van dividir la braçada en quatre fases per a cada una de les extremitats superiors, dues de les quals es destaquen com a propulsives (tracció i empenta - submergit) i les altres dues, com a no propulsives (recuperació i entrada fins a l'agafada). Així, la coordinació de braços es pot descriure a partir de tres models: (i) model d'oposició, quan una de les extremitats superiors inicia la tracció en el moment en què l'altra finalitza la fase d'empenta, la qual cosa dona lloc a una sèrie contínua d'accions de propulsió; (ii) model de captura, que presenta un retard temporal entre les fases de propulsió de les extremitats superiors i (iii) model de superposició, caracteritzat per l'inici de la fase de tracció abans del final de la fase d'empenta (Chollet et al., 2000).

L'IdC permet identificar quantitativament el model de coordinació adoptat pel nedador (Chollet et al., 2000). L'IdC és el temps transcorregut entre l'inici de la fase de propulsió d'una extremitat superior i el final de la fase de propulsió de l'altra extremitat superior, i es calcula mitjançant el temps de retard (diferència) entre l'inici de l'acció propulsora d'una braçada i el final de l'acció propulsora de l'altra braçada. Per als nedadors amb amputació d'una extremitat superior, s'adapta l'IdC (IdCAdapt), el qual s'obté d'un punt comú en les dues extremitats superiors (Osborough et al., 2010).

En les proves de 200 m de natació, se sap que hi ha dificultats per mantenir LB constant al llarg de la distància i, per tant, es produeix un augment de FB en les últimes voltes per mantenir o augmentar  $v$  (Figueiredo et al., 2013). A més, Ramos Junior (2017) suggereix que els nedadors amb discapacitat física tenen dificultats per mantenir l'esforç aeròbic màxim. Així, comprovar el comportament de les variables cinemàtiques i coordinatives al llarg de la prova de 200 m permet a entrenadors, nedadors i investigadors entendre clarament les condicions de la tècnica de natació de l'esportista, identificar possibles solucions per a les estratègies que hauran d'adoptar al llarg de la prova i tenir més objectivitat i transparència en la determinació de l'aptitud de l'esportista (Payton et al., 2020; Santos et al., 2021).

Es pot destacar que hi ha pocs estudis relatius al rendiment dels nedadors amb discapacitat física (Feitosa et al., 2019). Per això, l'objectiu d'aquest estudi era analitzar el rendiment dels nedadors amb amputacions en la T200, a través de variables cinemàtiques i de coordinació en dos moments (75-100 m i 175-200 m) de la prova i mitjançant el consum pic d'oxigen.

## Metodologia

### Participants

Sis nedadors voluntaris (quatre homes i dues dones) amb amputació d'extremitats superiors i inferiors van participar en aquest estudi (mitjana d'edat:  $30.0 \pm 9.8$  anys; alçada mitjana:  $174 \pm 0.07$  cm; envergadura mitjana:  $162.3 \pm 6.1$  cm; massa corporal total mitjana:  $70.4 \pm 8.6$  kg), amb una experiència prèvia en l'esport de  $5.1 \pm 3.5$  anys. Tots entrenaven cinc vegades per setmana amb una mitjana aproximada de 2,800 m per sessió d'entrenament i objectius competitiu a nivell nacional o internacional. Així mateix, tots pertanyien a classes esportives entre S8 i S10 del Comitè Paralímpic Internacional (IPC, 2015). Els participants pertanyien a les següents classes esportives: S8 ( $n = 1$ ; home amb amputació unilateral a prop de l'espatlla dreta); S9 ( $n =$ ; un home amb amputació d'avantbraç i tres amb amputació transfemoral [dos homes i una dona] i S10 ( $n =$ ; dona amb amputació transtibial). Tots els participants havien estat categoritzats en les seves respectives classes esportives en els últims dos mesos abans de l'obtenció de dades per part del Comitè Paralímpic Brasiler. L'estudi va ser aprovat pel Comitè d'Ètica en Recerca de la Universitat on es va dur a terme (Comitè de Ètica em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, número 2 274 037) i va complir les directrius nacionals i internacionals relatives a la recerca amb éssers humans. Tots els participants van rebre i van firmar un formulari de consentiment informat per participar en l'estudi; també van rebre explicacions verbals sobre la metodologia i els objectius.

### Avaluació antropomètrica

Es van prendre mesures antropomètriques abans de la T200: (i) massa corporal (kg), amb roba de bany i sense calçat; (ii) estatura (cm), dempeus, amb els peus junts i a prop de l'estadiòmetre i les extremitats superiors al costat del tronc de manera relaxada, el cap ajustat després d'una respiració profunda, segons el pla de Frankfurt (Eston i Really, 2009);

i (iii) envergadura (cm): estirat a terra, en decúbit dorsal, amb les espatlles abduïdes a  $90^\circ$  i els colzes, canells i dits estesos. Es va obtenir la distància màxima entre els extrems dels membres superiors. Després dels mesuraments antropomètrics, es van marcar 19 referències amb tinta negra no tòxica sobre la pell dels nedadors per a la seva digitalització posterior: vèrtex de l'espatlla, colze, canell, trocànters femorals, articulacions metatarsofalàngiques dels dits de mans i peus, genoll i turmell; tant en el pla sagital dret com en l'esquerre. Aquestes marques, d'aproximadament 2 cm de diàmetre, eren necessàries per a la digitalització posterior dels punts de referència per a l'anàlisi cinemàtica tridimensional (3D) (Sanders et al., 2015).

### Disseny experimental

Abans de la prova, i amb l'objectiu que els participants coneguessin l'equip, van utilitzar durant entre sis i deu sessions ordinàries d'entrenament un tub de respiració normal juntament amb una pinça nasal. Al llarg d'aquestes sessions, els participants van fer voltes obertes. El protocol de la prova va consistir en 200 m d'estil crol (T200). Es va indicar als participants que no fessin cap activitat física i que s'abstinguessin de prendre cafeïna i alcohol 24 h abans de la prova. Abans de la T200, els esportistes van fer un escalfament estandarditzat de 600 m amb braçada d'estil crol: 200 m a intensitat lleu a moderada, 200 m amb tub de respiració normal i pinça nasal, i 200 m amb tub de respiració normal i pinça nasal (Aquatrainer, Cosmed, Itàlia) connectat a un analitzador de gasos (K5, Cosmed, Itàlia) i una pinça nasal.

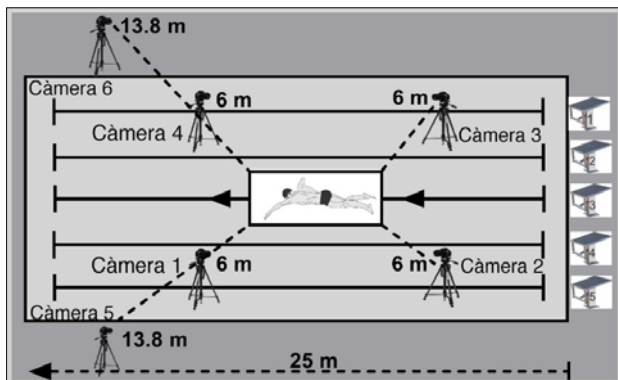
Els nedadors van efectuar la T200 de manera individual i van fer (i) la sortida des de la vora de la piscina, (ii) amb girs oberts, sempre cap al mateix costat, sense lliscament subaquàtic, i (iii) nedant sense moviments rotacionals cervicals durant la respiració, a causa de l'ús del tub de respiració. Durant la T200, es va registrar amb un cronòmetre manual (CASIO HS-30W, Japó) el temps en segons des de l'inici fins al final de la prova (rendiment). Tots els esportistes van fer la T200 en les mateixes condicions ambientals, en una piscina coberta climatitzada de 25 m, amb l'aigua a aproximadament  $28^\circ\text{C}$ .

### Obtenció de dades cinemàtiques

Els paràmetres cinemàtics es van obtenir mitjançant videogrametria tridimensional (3D) amb sis càmeres fixes (funcionant a 60 Hz), quatre de les quals es van col·locar sota l'aigua (0.5 m) dins d'una caixa estanca, i dos per sobre de l'aigua (a 1.52 m de terra) (De Jesus et al., 2015). El recorregut nedat pels esportistes va ser enregistrat per les

càmeres dins d'un espai calibrat que es va ubicar al carril 3 de la piscina, orientat longitudinalment (eix x com a direcció del nedador), a la mateixa distància de les dues capçaleres de la piscina (Figura 1) amb unes dimensions de l'estructura de l'espai calibrat de  $x = 4.5$  m (eix horitzontal);  $i = 1$  m (eix medial lateral);  $z = 1.5$  m (eix vertical). Es va utilitzar un senyal lluminós, enregistrat de manera simultània per les sis càmeres, per sincronitzar les imatges de les càmeres de vídeo en la mateixa base temporal com a referència en la reconstrucció de les coordenades en el programari d'anàlisi.

**Figura 1**  
Posicionament de les càmeres per a l'anàlisi 3D i l'espai calibrat.



En dues voltes de la T200 (M1, de 75 a 100 m, i M2, de 175 a 200 m), es va analitzar un cicle de braçada, començant amb l'entrada i reentrada de la mateixa mà a l'aigua (Barbosa et al., 2008). Es va utilitzar un cicle per a tots els nedadors. Es va escollir el cicle en què els nedadors estaven més centrats en l'espai del volum de calibratge, amb l'inici i el final del cicle dins de l'espai prèviament calibrat. La distància recorreguda pels nedadors dins de l'espai calibrat es va utilitzar per a les anàlisis d'imatges 3D. Per als nedadors amb amputació d'extremitat superior, el cicle es va adaptar a l'entrada i reentrada de la part distal de l'extremitat a l'aigua. El fotograma de calibratge va ser enregistrat per les càmeres durant tres segons abans que els nedadors iniciessin la T200, a fi d'obtenir els paràmetres espacials per a les conversions de les imatges de dos a tres dimensions, amb Transformació Lineal Directa (TLD) mitjançant càlculs fets en el programari Ariel Performance Analysis System (APAS). Les imatges es van retallar (trams de natació en l'espai calibrat) i es van convertir (AVCHD 1080p a AVI 1080 × 720p, sense comprimir) mitjançant el programari Sony Vegas Pro 15 (MAGIX GmbH & Co. KGaA, Alemanya).

A continuació, les imatges es van carregar en el programari APAS mitjançant retallada, en la qual es van processar per obtenir els paràmetres cinemàtics i coordinatius. La digitalització es va dur a terme de manera manual a cada fotograma dels 18 marcadors dels cossos dels nedadors (vèrtex del cap, dit del mig, canell, colze, espatlla, maluc, genoll, taló i primera falange metatarsiana) i d'un marcador fix en el mateix lloc en tots els fotogrames. Al final de la digitalització de cada moment (un cicle de braçada), es van digitalitzar 24 marcadors de control del volum de calibratge, que es van utilitzar per a la transformació de dos a tres dimensions TLD. Finalment, es va utilitzar la pantalla per identificar els resultats de desplaçament de tots els marcadors examinats per calcular les variables cinemàtiques. Es va identificar la ubicació del centre de massa corporal. Les dades es van suavitzar mitjançant un filtre Butterworth amb una freqüència de tall de 4 Hz per sota de segon ordre. Els resultats es van guardar en fulls de càlcul de Microsoft Excel i es van emmagatzemar en arxius amb format txt per als càlculs de les variables.

Per avaluar el model de coordinació i la durada de les fases de la braçada, es van identificar les coordenades horitzontals i verticals de les mans i les espatlles, fotograma a fotograma, juntament amb l'inici i el final de cada fase de la braçada; tant propulsives com no propulsives, com es descriu a continuació (Chollet et al., 2000):

- **Entrada i agafada:** temps transcorregut des de l'entrada de la mà a l'aigua fins a l'inici del moviment de retrocés de la mà o de la part distal de l'extremitat superior en el cas de nedadors amb amputació (inici de la fase: primer fotograma en el qual es va identificar l'entrada de la mà a l'aigua).
- **Tracció:** temps transcorregut entre l'inici del moviment de retrocés de la mà o del braç amputat fins que se situa per sota de l'espalla del nedador (inici de la fase: primer fotograma en el qual la coordenada horitzontal de la mà va disminuir, després que la mà entrés a l'aigua).
- **Empenta:** temps transcorregut entre el moment en què la mà és per sota de la línia de l'espalla fins al costat de la cuixa que trenca la superfície de l'aigua (inici de la fase: fotograma en el qual les coordenades verticals dels marcadors de l'espalla i de la mà eren iguals).
- **Recuperació:** temps transcorregut entre que la mà surt de l'aigua i la mateixa mà entra a l'aigua per davant del cos del nedador (inici de la fase: fotograma en el qual el marcador de la mà apareix fora de l'aigua).



## Obtenció de dades cinemàtiques

La  $s$  es va obtenir mitjançant el quocient entre el desplaçament horitzontal del centre de massa (eix  $x$ ) al llarg del cicle de braçada i el temps per completar el mateix cicle.  $FB$  es va calcular mitjançant la inversa de la durada del cicle de braçada multiplicada per 60.  $LB$  es va identificar mitjançant el desplaçament horitzontal del centre de massa del nedador durant el cicle de braçada.

## Identificació del model de coordinació

El model de coordinació es va identificar calculant l'IdC (per a nedadors sense amputació de l'extremitat superior) i l'IdCAapt (per al nedador amb amputació de l'extremitat superior) (Chollet et al., 2000; Osborough et al., 2010). La durada mitjana de cada fase de la braçada es va determinar després d'examinar els dos primers moviments consecutius (un del braç dret i un altre de l'esquerra) (Chollet et al., 2000). En el moment en què els nedadors entraven en l'espai calibrat, per exemple, per l'extremitat superior esquerra, l'IdC es definia com l'interval de temps entre el final de la fase d'empenta de l'extremitat superior esquerra i el començament de la fase de tracció de la dreta ( $LT1$ ) i l'interval de temps entre el final de la fase d'empenta de l'extremitat superior dreta i el començament de la segona fase de l'esquerra ( $LT2$ ) (Chollet et al., 2000). Independentment de quina mà entrés primer en l'espai precalibrat, el retard mitjà entre les fases d'empenta de totes dues es va presentar com un percentatge del temps mitjà d'un cicle de braçada complet ( $T$ ) (Chollet et al., 2000), utilitzant l'Equació 1, per calcular l'IdC o l'IdCAapt:

### Equació 1

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

Així, quan l'IdC o l'IdCAapt eren  $< 0$ , el model de coordinació era de captura; quan eren  $= 0$ , el model era d'oposició i quan eren  $> 0$ , el model era de solapament (Chollet et al., 2000).

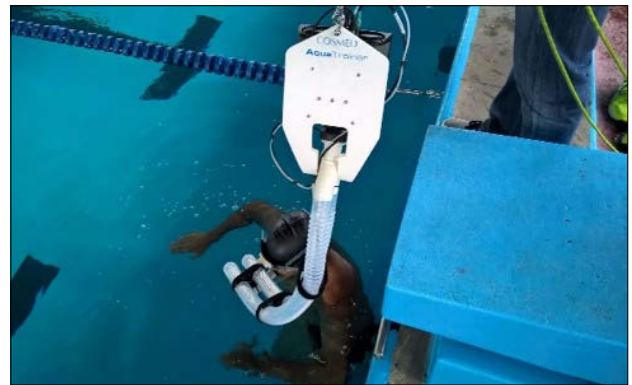
## Consum pic d'oxigen ( $VO_{2pic}$ )

La T200 només s'iniciava quan la taxa d'intercanvi respiratori (TIR), identificada per l'ergoespiròmetre, s'aproximava a 0.8. Durant la T200, el  $VO_2$  i la TIR es van recollir de manera contínua en cada respiració. Abans de l'inici de totes les recollides, es va calibrar l'ergoespiròmetre seguint les instruccions del fabricant. Després del calibratge, es va connectar l'esportista mitjançant un tub de respiració per a la captació de gasos respiratoris (Figura 2). Tot aquest aparell estava suspès a una alçada de 2 m sobre la superfície de

l'aigua mitjançant mosquetons i cable d'acer amb politges, gràcies a la qual cosa es podria seguir el nedador al llarg de la piscina i es minimitzava l'alteració dels moviments del nedador (Sousa et al., 2013). Després de la prova, els valors de captació d'oxigen es van filtrar manualment utilitzant el valor de referència de mitjana  $\pm 4$ \*desviació típica (De Jesus et al., 2014) per minimitzar els artefactes de la captació de gasos que no representen dades fisiològiques. En les anàlisis, es va utilitzar la mitjana mòbil de cinc respiracions (Fernandes et al., 2011). El  $VO_{2m\acute{a}x.}$  es va considerar el valor més alt identificat durant la prova (Ribeiro et al., 2016).

### Figura 2

Nedador respirant en el tub per a la captació de gasos respiratoris.



## Anàlisi estadística

Es va aplicar la prova de normalitat de Shapiro-Wilk. Es van calcular les mitjanes, les desviacions típiques i els límits dels intervals de confiança de la mitjana (IdC del 95 %) de totes les variables d'aquest estudi. A fi de comparar les dades entre les dues voltes de 200 m, es va aplicar la prova t de Student per a les dades aparellades. La significació estadística es va fixar en  $p < .05$ . La mida de l'efecte utilitzada va ser la  $g$  de Hedge, amb la categorització següent: de 0 a 0.19, insignificant; de 0.2 a 0.59, petit; de 0.6 a 1.19, moderat; d'1.2 a 1.99, gran; de 2.0 a 3.99, molt gran, i  $> 4$ , gairebé perfecte (Hopkins, 2002).

## Resultats

El rendiment mitjà en la T200 va ser de  $197.8 \pm 24.7$  s (IdC del 95 %: de 171.9 a 223.7 s). Per classe esportiva, el rendiment en la T200 va ser de 195 s (S8,  $n = 1$ ),  $192 \pm 28.3$  s (S9,  $n = 4$ ) i 221 (S10,  $n = 1$ ). La mitjana i la desviació típica del  $VO_{2pic}$  van ser de  $44.1 \pm 8.4$  ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> (IdC del 95 %: de 35.2 a 53.1 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>). La taula 1 mostra els valors mitjans, les desviacions típiques i l'IdC del 95 %, els resultats de les comparacions i les mides de l'efecte del tram en la T200.

**Taula 1**

Mitjana i desviacions típiques, límits dels intervals de confiança de la mitjana (95 %) i dades estadístiques per a  $v$ , FB, LB ( $n = 6$ ), IdC ( $n = 5$ ) i fases de longitud de braçada dels trams 1 i 2 (S1: 75-100; S2: 175-200 m) respectivament de la T200.

	S1 (75 - 100 m) Mitjana $\pm$ dt; (IdC del 95 %)	S2 (175 - 200 m) Mitjana $\pm$ dt; (IdC del 95 %)	$t$ de Student; valor de $p$ g de Hedge
Velocitat de natació (m·s <sup>-1</sup> )	0.99 $\pm$ 0.15 [entre 0.83 i 1.16]	0.96 $\pm$ 0.19 [entre 0.76 i 1.16]	0.65; .61 0.17
Freqüència de braçada (ciclos·min <sup>-1</sup> )	40.5 $\pm$ 6.8 [entre 33.4 i 47.6]	41.5 $\pm$ 3.2 [entre 38.1 i 44.9]	-0.46; .60 0.18
Longitud de braçada (m)	1.51 $\pm$ 0.38 [entre 1.10 i 1.91]	1.39 $\pm$ 0.38 [entre 1.07 i 1.70]	1.36; .23 0.31
IdC/IdCadapt (%)	-4.4 $\pm$ 9.2 [entre -15.9 i 7.0]	-3.5 $\pm$ 8.9 [entre -14.6 i 7.5]	-0.46; .61 0.09
Fase d'entrada i agafada (%)	30.7 $\pm$ 12.0 [entre 15.7 i 45.8]	30.2 $\pm$ 6.4 [entre 22.1 i 38.2]	-0.25; .81 0.05
Fase de tracció (%)	13.4 $\pm$ 8.5 [entre 2.8 i 24.0]	15.7 $\pm$ 2.7 [entre 12.3 i 19.1]	-0.53; .61 0.36
Fase d'empenta (%)	23.0 $\pm$ 6.2 [entre 15.2 i 30.8]	24.7 $\pm$ 7.3 [entre 15.7 i 33.8]	0.64; .55 0.25
Fase de recuperació (%)	32.7 $\pm$ 11.0 [entre 18.9 i 46.5]	29.3 $\pm$ 4.6 [entre 23.6 i 35.0]	-0.73; .50 0.40
Fases propulsives (%)	39.4 $\pm$ 13.2 [entre 25.4 i 53.2]	42.3 $\pm$ 6.0 [entre 35.9 i 48.6]	-0.65; .54 0.28
Fases no propulsives (%)	60.6 $\pm$ 13.2 [entre 46.7 i 74.5]	57.7 $\pm$ 6.0 [entre 51.3 i 64.0]	0.65; .54 0.28

IdC = Índex de coordinació.

Les mides de l'efecte (efectes per trams en la T200) van ser: (i) insignificant per a la velocitat de natació, la freqüència de braçada, l'IdC/IdCadapt, la durada de les fases d'entrada i agafada, i de tracció; i (ii) petit per a la longitud de braçada, la durada de les fases de tracció, empenta, recuperació, propulsives i no propulsives.

## Discussió

El present estudi tenia per objectiu descriure el rendiment de nedadors amb amputacions en la T200, a través de paràmetres cinemàtics i de coordinació en dos trams de la prova i pel consum pic d'oxigen. Les principals troballes d'aquest estudi van ser que les variables cinemàtiques no van presentar variacions estadístiques respecte als dos trams analitzats, la coordinació va ser classificada com a captura i el consum pic d'oxigen va ser inferior al de nedadors sense discapacitat en la mateixa prova, mitjançant sistema d'intercanvi de gasos per telemetria amb mètode directe (Figueiredo et al., 2013). Les mides de l'efecte dels temps d'anàlisi sobre les variables van ser insignificants o petites.

Segons Prins i Murata (2008) i Osborough et al. (2009), els nedadors amb discapacitat física en general, i amb amputació d'extremitat superior, en particular, per assolir i mantenir la  $v$  desitjada, compensen la falta del segment propulsiu amb valors de FB més alts en comparació amb els nedadors sense discapacitat física. És a dir, FB exerceix

un paper més important en relació amb el rendiment que LB. En el present estudi, al llarg de més de 200 m,  $v$  i FB es van mantenir estadísticament constants (mida de l'efecte insignificant implicat en la reducció de  $v$  i l'augment de FB), mentre que LB va mostrar una disminució més gran (mida de l'efecte petit). Aquest resultat reafirma la importància de FB per als nedadors amb amputacions. Es pot destacar que aquest comportament va ser el mateix en tots els nedadors del present estudi: quatre amb amputacions d'extremitats inferiors i dos amb amputacions d'extremitats superiors. És a dir, la capacitat més petita de propulsió de les extremitats inferiors també va comportar un augment de FB per al manteniment de  $v$ .

En comparació amb els nedadors amb anatomia típica, es va identificar un comportament similar de FB i LB per a l'estil crol de 200 m (augment de FB i disminució de LB al llarg dels 200 m) en 11 dels 17 nedadors (Huot-Marchand et al., 2005). Tot i així, una  $v$  més gran (1.45 m·s<sup>-1</sup>) assolida per una LB més gran (2.1 m) i similar FB (41.4 cicles min<sup>-1</sup>) en relació amb els nedadors del present estudi en la mateixa prova. Almenys per als nedadors amb discapacitat física a nivell nacional (proves de 100 m estil lliure), LB sembla estar més directament relacionada amb  $v$  i la classe esportiva per als dos sexes (Pérez-Tejero et al., 2018).

Així mateix, en la T200 amb nedadors sense discapacitat, Franken et al. (2016) van analitzar quatre divisions de 25 m abans dels 50, 100, 150 i 200 m de la T200 m, i només

van observar un augment entre els 50 i els 200 m en FB. D'altra banda, els valors de LB van disminuir dels 50 m als 200 m. Així, es pot verificar que els dos perfils de nedadors, amb discapacitat i amb anatomia típica, al llarg de la T200 tendeixen a augmentar FB, mentre que LB disminueix, modificant la manera en què  $v$  s'assoleix i manté al llarg de la distància avaluada.

Quant a la coordinació de braços, les mides de l'efecte de les voltes analitzades de la T200 van ser insignificants per a l'IdC o l'IdCAdapt i tots els nedadors, en tots dos trams de la prova, van fer la natació crol en model de captura. En una T200 entre nedadors sense discapacitat, es va observar un model de captura en l'estudi de Figueiredo et al. (2010), que avaluava la coordinació de sis esportistes sense discapacitat que van presentar una coordinació de captura durant tota la prova de 200 m. També es va observar un augment de l'IdC en el 4t parcial de 50 m i això, segons els autors, es va atribuir a un intent de mantenir  $v$  quan hi ha una disminució de LB. L'augment de FB es produeix a compte de la reducció de la durada de les fases no propulsives de les braçades, la qual cosa també comporta una reducció del temps sense propulsió. Mentre que en l'estudi de Franken et al. (2016) els valors de l'IdC no van canviar durant els parcials analitzats de la T200, per a Franken et al. (2016) només es produeix un canvi del model de captura al d'oposició/solapament en  $v$  alta quan FB és alta.

El comportament de la durada de les fases al llarg de la T200 en aquest estudi va ser similar al trobat a les obres publicades (Franken et al., 2016). En el mateix estudi, no es van trobar diferències estadístiques en la durada de les fases d'entrada i agafada, tracció i recuperació en la T200, però es va observar un augment de la durada de la fase de tracció. Aquest augment pot estar relacionat amb el manteniment de l'equilibri corporal i amb el fet que es tracti de l'inici del moviment que seria més propulsiu en la braçada d'estil crol a causa de l'absència d'altres extremitats típiques (Santos et al., 2020). Les raons d'aquest desequilibri poden ser la preferència per la respiració unilateral, el desequilibri de força entre parells de músculs homòlegs i el dèficit de control motor. Millorar la velocitat de les mans i optimitzar la fase de tracció sembla que és un punt crucial que han de millorar els nedadors amb amputacions (Santos et al., 2021).

Pel que fa al  $VO_{2max}$ , es poden comprovar, per a una mateixa T200, valors reduïts dels nedadors del present estudi ( $44.1 \pm 8.4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) en comparació amb nedadors d'alt nivell amb una anatomia típica ( $68.5 \pm 5.7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Sousa et al., 2011), i nedadors experts amb una anatomia típica ( $52.5 \pm 6.3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Trindade et al., 2018). Amb les amputacions, la reducció de la massa muscular provoca una disminució de la perfusió muscular, la qual cosa al seu torn redueix els valors de  $VO_2$  (Saltin et al., 1998). D'aquesta manera, els nedadors amb amputació d'extremitats tenen un

$VO_{2pic}$  més baix que els que tenen una anatomia típica, fins i tot els nedadors experts. Juntament amb el  $VO_2$  ja de per si baix, destaca la dificultat dels nedadors amb deficiència per mantenir l'esforç aeròbic màxim (Ramos Junior, 2017).

Com a principal limitació d'aquest estudi es pot destacar la mida de la mostra. Aquesta limitació no permet extrapolar les dades a totes les poblacions de nedadors amb discapacitat física. Tot i així, els resultats permeten aproximacions en el context de nedadors amb amputacions. Es podran fer futures investigacions amb aquesta part de la població per entendre millor les dades a fi d'ajudar els professionals implicats en l'esport per a persones amb discapacitat.

## Conclusió

Els resultats d'aquest estudi indiquen que en la T200 els nedadors amputats van tendir a modificar les variables cinemàtiques al llarg dels temps M1 i M2 amb un augment de FB i una disminució de LB, així com una disminució de  $v$ . Els esportistes van adoptar la coordinació en el model de captura i van passar la major part del temps en la fase no propulsiva. El consum pic d'oxigen va ser inferior a l'observat en nedadors sense discapacitat en la mateixa prova.

## Declaració informativa

Sense finançament. L'estudi va ser aprovat pel comitè local d'ètica (Comitè d'Ètica en Recerca de la Universitat Federal de Rio Grande do Sul-UFRGS, número 2.274.037) i es va fer d'acord amb la Declaració de Hèlsinki.

## Referències

- 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., Chaliès, 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/ijspp.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<sub>2</sub> 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>

**Conflicte d'interessos:** les autories no han comunicat cap conflicte d'interessos.



© Copyright Generalitat de Catalunya (INEFC). Aquest article està disponible a l'URL <https://www.revista-apunts.com/ca/>. Aquest treball està publicat sota una llicència Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. Les imatges o qualsevol altre material de tercers d'aquest article estan inclosos a la llicència Creative Commons de l'article, tret que s'indiqui el contrari a la línia de crèdit; si el material no s'inclou sota la llicència Creative Commons, els usuaris hauran d'obtenir el permís del titular de la llicència per reproduir el material. Per veure una còpia d'aquesta llicència, visiteu <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ca>