

BIOENERGÉTICA, BIOMECÁNICA Y ANTROPOMETRÍA COMO DETERMINANTES DEL RENDIMIENTO EN NATACIÓN: REVISIÓN

BIOENERGETICS, BIOMECHANICS, AND ANTHROPOMETRY AS DETERMINANTS OF SWIMMING PERFORMANCE: REVIEW

Oviedo Caro, Miguel Ángel¹; Bueno Antequera, Javier¹; Munguía Izquierdo, Diego¹

¹Grupo de investigación "Actividad Física, Salud y Deporte CTS-948".

Departamento de Deporte e Informática. Universidad Pablo de Olavide, Sevilla

Fecha de recepción: 18-02-15

Fecha de aceptación: 29-05-15

Resumen

El rendimiento en natación es todavía un tema intrigante en ciencias del deporte. El objetivo de este artículo fue actualizar la literatura científica sobre las relaciones entre el rendimiento, bioenergética, biomecánica y antropometría en natación competitiva. Algunos de los aspectos más interesantes y recientes se examinaron en esta revisión: (a) las relaciones entre bioenergética (coste energético de natación) y cinemática del centro de gravedad (velocidad media de nado), cinética del nadador (torque subacuático), cinemática segmentaria (longitud y frecuencia de brazada) y antropometría (ej.: masa corporal o altura), (b) las relaciones entre el rendimiento de natación (tiempo y velocidad) y bioenergética (coste energético de natación, concentración de lactato sanguíneo, consumo de oxígeno y frecuencia cardiaca), antropometría (ej.: envergadura del brazo), cinética del nadador (ej.: salto con contramovimiento o producción de potencia mecánica) y cinemática segmentaria (longitud y frecuencia de brazada, índice de brazada e índice de coordinación).

Palabras clave

Natación; bioenergética; antropometría; biomecánica; rendimiento.

Abstract

Swimming performance is still a scheming subject in sports science. The aim of this paper was to update the scientific literature about the relationships between performance, bioenergetics, biomechanics and anthropometrics in competitive and noncompetitive swimming. Some recent highlights are explored in this review: (i) the relationships between bioenergetics (energy cost of swimming) and centre of mass kinematic (mean swimming velocity), swimmer's kinetic (underwater torque), segmental kinematic (stroke length and stroke rate) and anthropometric (e.g.: body mass or height) parameters; (ii) the relationships between swimming performance (time and velocity) and bioenergetic (energy cost of swimming, blood lactate concentration, oxygen consumption and heart rate), anthropometric (e.g.: AS), swimmer's kinetic (e.g.: counter movement jump or mechanical power output) and segmental kinematic (stroke length, stroke rate, stroke index and coordination index) parameters.

Key words

Swimming; bioenergetics; anthropometrics; biomechanics; performance.

Introducción

El objetivo del nadador es nadar tan rápido como le sea posible para cubrir una distancia específica en el menor tiempo. Desde los primeros tiempos de la investigación en ciencias del deporte hasta la literatura científica más reciente, los investigadores han intentado encontrar los principales determinantes del rendimiento en natación para hacer que los nadadores sean más rápidos. Estos determinantes del rendimiento en natación se pueden dividir en tres áreas principales: bioenergética, biomecánica (cinemática y cinética) y antropometría. El rendimiento de natación depende del perfil energético y éste del comportamiento biomecánico (Barbosa et al., 2010), por lo tanto, el establecimiento de relaciones entre el rendimiento en natación y (a) parámetros bioenergéticos, (b) biomecánicos y (c) antropométricos puede ser una manera factible para comprender la dinámica de nado en distintos eventos y niveles, así como promover la mejora de los factores específicos del entrenamiento más importantes del rendimiento. Por otra parte, el conocimiento de estas posibles relaciones puede ser útil para la detección de talentos en natación.

La bioenergética se refiere principalmente al Coste energético (cn) de natación o gasto energético total necesario para desplazar el cuerpo sobre una unidad de distancia determinada (Lätt et al., 2010). Cn se calcula dividiendo el gasto energético total (\dot{E}_{tot}) por la velocidad media de nado (V). \dot{E}_{tot} ($ml\ O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) se calcula usando O_2 neto (diferencia entre el valor medido al final de la fase y el valor en reposo), y el lactato sanguíneo neto (diferencia entre

los valores medidos en dos fases consecutivas), transformado en equivalentes del O₂ usando la constante 2.7 ml O₂ · kg⁻¹ · mmol⁻¹ (Barbosa et al., 2005). Cn ha sido investigado como uno de los parámetros del rendimiento en natación más importante y los investigadores han intentado encontrar sus principales determinantes. Aunque sea un parámetro fundamental en el rendimiento de natación, recientemente se han publicado escasos estudios al respecto debido probablemente a las dificultades intrínsecas de su valoración.

La biomecánica del nadador es compleja de evaluar, debido a que es uno de los pocos deportes que se desarrolla en un medio atípico como es el agua. El estudio de la natación se centra en la velocidad, que es el objetivo principal de todo nadador y entrenador. La cinemática del centro de gravedad se refiere a esa velocidad, a su estudio y desarrollo. La cinética del nadador hace referencia a todas las fuerzas que influyen y determinan la velocidad del nadador, tales como el torque subacuático, producción de fuerza media, potencia o la producción de fuerza por unidad de tiempo. Se puede medir directamente en el agua, pero la mayoría de las investigaciones intentan encontrar relaciones entre el rendimiento en natación y pruebas en seco como salto con contramovimiento (CMJ) o fuerza de agarre. La cinemática segmentaria es el principal determinante estudiado en el rendimiento de natación; frecuencia de brazada (SR) (Hz; 1/Tciclo), longitud de brazada (SL) (metros; v / SR), índice de brazada (SI) (m²·seg⁻¹·ciclo⁻¹; v · SL), duración relativa de las fases de entrada, agarre, tirón y empuje, e índice de coordinación (IdC) son los parámetros de brazada principales de estudio. La natación es una forma cíclica de locomoción y estos conceptos explican parcialmente la parte técnica, por lo tanto, el aumento o disminución de la velocidad está determinado por incrementos o disminuciones en SR y SL. IdC evalúa la coordinación entre brazos y cuantifica el tiempo de retardo entre las acciones propulsivas de los dos brazos como un porcentaje de la duración del ciclo completo de brazada. IdC determina el tipo de coordinación: “catch-up” (existe un tiempo de retardo entre las fases propulsivas de los dos brazos; IdC < 0%), “opposition” (la fase propulsiva de un brazo empieza cuando termina la fase propulsiva del otro brazo; IdC = 0%) o “superposition” (las fases propulsivas de los dos brazos se solapan; IdC > 0%) (Seifert et al., 2010). La cinemática segmentaria incluye además otros factores tales como las variaciones de la velocidad intraciclo (IVV) y la eficiencia de la generación de propulsión (SI y η_p) como determinantes de la velocidad media de nado.

La antropometría incluye varios parámetros morfológicos y cronológicos como por ejemplo la edad, masa corporal, altura, longitud del brazo y antebrazo, volumen muscular del antebrazo, área de la superficie, elevación hidrostática, etc.

El objetivo del presente estudio fue revisar la literatura reciente sobre las relaciones entre el rendimiento, bioenergética, biomecánica y antropometría en nadadores competitivos.

Metodología

Para esta revisión se han usado las siguientes bases de datos: SportDiscus y MEDLINE. Se buscó en las bases de datos en Septiembre del 2011 usando como palabra clave principal “swimming” combinada con “determinant” o “predictor”. Se usó el límite temporal desde el 2001 hasta 2011 en ambas bases de datos y “humans” como límite de tema en MEDLINE. La búsqueda devolvió 97 referencias en SportDiscus y 89 en MEDLINE.

Se incluyeron determinantes bioenergéticos, biomecánicos y antropométricos del rendimiento de natación. El estudio debe haber sido reportado en inglés o francés. El rendimiento de natación debe haber sido evaluado mediante el mejor rendimiento personal en una competición o por una prueba específica en piscina. Los estudios deben informar sobre la prueba de natación (distancia y estilo) y/o la velocidad evaluada. Los participantes tuvieron que ser nadadores competitivos de cualquier edad, género o nivel. Las mediciones deben haber reportado resultados bioenergéticos, biomecánicos o antropométricos usando cualquier instrumento de medida.

Fueron excluidos los estudios en que los nadadores eran triatletas o con discapacidad fueron excluidos. Y los estudios que intentaban encontrar un modelo matemático por medio de resultados bioenergéticos, biomecánicos o antropométricos con el objetivo de predecir el rendimiento fueron excluidos, pues la revisión se centra en encontrar los determinantes en el rendimiento de natación.

Los artículos fueron examinados y excluidos basándose en el título y el resumen. Se obtuvo el texto completo de los artículos restantes y finalmente 25 artículos fueron incluidos en la revisión, basados en el criterio de inclusión, y examinados profundamente.

La siguiente información fue extraída metódicamente: detalles de la intervención, resultados principales y secundarios medidos, número y edad de los participantes, distancia y estilo de nado, medida clave del rendimiento, determinantes del rendimiento de natación y características de los nadadores incluyendo nivel, experiencia en natación, experiencia en competición, volumen de entrenamiento, mejor rendimiento personal y porcentaje del record mundial respecto al mejor rendimiento personal.

Resultados

Relaciones entre bioenergética y cinemática del centro de gravedad, cinemática segmentaria y antropometría

El Cn se define como el gasto energético total necesario para desplazar el cuerpo sobre una unidad de distancia específica (Lätt et al., 2010). Cn es un parámetro clave en el rendimiento

de natación y recientemente una literatura limitada ha definido algunos de sus determinantes. Se ha investigado las relaciones entre bioenergética, cinemática del centro de gravedad, cinemática segmentaria y antropometría.

Relaciones entre bioenergética y cinemática del centro de gravedad

La literatura reciente ha demostrado coeficientes de correlación con valores significativos entre \dot{E}_{tot} y V en nadadores adultos de élite (Barbosa et al., 2005). Un aumento de la V significa un incremento en el gasto energético en estilo mariposa; este aumento parece ser debido a un

aumento del $\dot{V} O_2$ y también de las concentraciones del lactato sanguíneo. En niños $\dot{V} O_2$ y C_n aumentan con la velocidad en estilo crol y podría explicarse en parte por un incremento de la resistencia al avance del cuerpo (Poujade et al., 2002).

Relaciones entre bioenergética y cinemática segmentaria

Por una parte, en niños C_n no está vinculado con parámetros de brazada como SL y SR respecto a la velocidad en crol; un menor C_n no significa un menor SL o SR (Poujade et al., 2002). Por otra parte, en nadadores adultos de élite, C_n incrementa significativamente con SR y SI a una velocidad dada en mariposa, pero SL presenta variaciones interindividuales altas relacionada con C_n (Barbosa et al., 2005).

Relaciones entre bioenergética y antropometría

En niños, el coste energético a diferentes velocidades no está correlacionado con la altura, masa corporal, elevación hidrostática y área de la superficie en estilo crol (Poujade et al., 2002). Por otra parte, se ha demostrado recientemente que en nadadores adultos y niños de ambos géneros, la masa corporal, la altura del cuerpo y el área de la superficie corporal parecen determinar el coste energético de natación en crol, pero la edad y el género no parecen ser buenos predictores a la misma velocidad relativa (Ratel y Poujade, 2009).

Relaciones entre el rendimiento y bioenergética, antropometría, cinética del nadador y cinemática segmentaria

El rendimiento de natación se refiere al nivel emocional y físico específico de un nadador en un punto determinado de la temporada. Varios tests y pruebas pueden evaluar el rendimiento del nadador con el objetivo de predecir el mejor rendimiento personal final en la competi-

ción de natación más importante. Los investigadores han intentado encontrar los principales factores que determinan el rendimiento de natación tales como bioenergéticos, antropométricos, cinéticos del nadador y cinesmáticos de los segmentos. Se han publicado varios estudios recientemente sobre este tema y cada apartado de la discusión se ha estructurado según la distancia del evento examinado (salidas, 50 m, 100 m, 200 m, etc.).

Relaciones entre el rendimiento y bioenergética

Muchos autores han investigado la contribución de los sistemas aeróbico, anaeróbico láctico y anaeróbico aláctico en el rendimiento de natación. El tiempo límite a la velocidad mínima correspondiente al máximo consumo de oxígeno ($TLim-v\dot{V}O_{2max}$) es un predictor del rendimiento poco estudiado. En distancias cortas en crol, $TLim-v\dot{V}O_{2max}$ tiende a ser menor en nadadores de élite que presentan una mayor velocidad correspondiente al consumo máximo de oxígeno ($v\dot{V}O_{2max}$) y umbral anaeróbico ventilatorio ($vAnT$). Esto puede ser explicado por un área de la superficie, un coste energético y un índice anaeróbico mayor (Fernandes et al., 2008). En la línea de 100 metros, el rendimiento de jóvenes bracistas de élite se relaciona mejor con el $\dot{V}O_{2peak}$ y $\dot{V}O_2$ a la velocidad de nado correspondiente al umbral $4\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (Reis et al., 2010). En distancias cortas se ha demostrado que el 45.2% de la varianza del rendimiento de nadadores jóvenes puede ser explicada por la acumulación de lactato (ΔLa) (Lätt et al., 2010).

En 200 metros, los determinantes bioenergéticos cambian un poco. En nadadores de élite, la velocidad en los cuatro estilos parece estar determinada por BLa . Por otra parte, en jóvenes bracistas el mejor rendimiento personal de la temporada se relaciona mejor con la combinación de fracción aeróbica sobre la energía liberada (AER), lactato sanguíneo pico post ejercicio (BL) y $\dot{V}O_2$ a la velocidad de nado correspondiente al umbral $2\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (Reis et al., 2010). Referente a niños, una mayor producción media de lactato parece ser también un buen predictor de una mayor velocidad media en 200 m crol (Cicchella et al., 2009).

En 400 metros, tanto nadadores de élite como nadadores adultos competitivos en crol, la frecuencia cardiaca máxima y el nivel de lactato máximo parecen ser buenos predictores de la velocidad máxima aeróbica, aunque el nivel de lactato y la frecuencia cardiaca disminuye más rápido en nadadores de élite que en recreativos (Schnitzler et al., 2007). Por otra parte, los niños presentan una correlación alta entre el rendimiento en 400 m crol y $\dot{V}O_{2max}$ (Poujade et al., 2003). También para nadadores jóvenes $\dot{V}O_{2peak}$ parece ser uno de los factores más importantes que determinan rendimiento de crol en 400 m (Jürimäe et al., 2007).

Para un rango de distancias desde 50 hasta 1000 metros, $\dot{V}O_{2peak}$ no parece ser un determinante significativo del rendimiento en nadadoras de élite de crol, aunque C_n si lo es (Unnithan et al., 2009). Por último, la velocidad de nado en 2000 metros crol en nadadores jóvenes de élite es determinada, en parte, por el umbral anaeróbico (Strazla et al., 2007).

Relaciones entre el rendimiento y la cinética del nadador

Los estudios en el rendimiento de las salidas de natación parecen estar limitados en la literatura reciente de ciencias del deporte. En nadadores adultos de élite, el rendimiento de las salidas de crol (tiempo hasta 15s) está inversamente relacionado con la potencia máxima y 1RM predicho, y relacionado significativamente con la altura de salto y potencia relativa. Por lo tanto, el rendimiento de la salida de crol parece estar fuertemente determinado por la fuerza y potencia de la parte inferior del cuerpo en velocistas masculinos internacionales de élite (West et al., 2011). Para salidas de espalda, tanto el tiempo de la salida paralela y completamente sumergida (BSFI) como sobre la superficie del agua (BSFE) están relacionadas con la velocidad media resultante del centro de gravedad en la fase de deslizamiento, y específicamente BSFI está determinada por el impulso horizontal en el despegue mientras que BSFE está determinada por la posición horizontal del centro de gravedad en la señal de salida. Por consiguiente, un mayor impulso durante el despegue determina una salida más rápida en la salida de espalda en BSFI y, una mayor aproximación a la pared de la piscina compromete la velocidad subacuática y el rendimiento de salida en BSFE en nadadores adultos de élite (de Jesus et al., 2011).

Respecto a las pruebas de 100 metros, en nadadores adultos la velocidad de nado se correlaciona con la producción de potencia mecánica (Pd). Por lo tanto, una mayor velocidad se predice con una mayor producción relativa y absoluta de potencia mecánica en 100 m crol (Seifert et al., 2010). En nadadores jóvenes de élite, el rendimiento de 100 metros crol parece estar parcialmente determinado por el salto horizontal y la fuerza de agarre en chicos, y el salto horizontal en chicas (Geladas et al., 2005). Por último, en nadadores máster de élite, la fuerza de agarre parece ser uno de los factores más importantes que determinan el rendimiento en pruebas cortas tales como 50 y 100 m (Zampagni et al., 2008).

Desde 50 hasta 200 metros en nadadores de élite en los cuatro estilos, las velocidades de nado en competición parecen estar determinadas por la fuerza de brazada media. Además, los valores absolutos de producción de fuerza son mejores predictores que los valores relativos (normalizados a la masa corporal) (Morouço et al., 2011).

Relaciones entre el rendimiento y cinemática segmentaria

En primer lugar, en pruebas de 100 metros en nadadores adultos de élite, SL no parece ser un factor importante del rendimiento (Hout-Marchand et al., 2005a). En nadadores jóvenes, los factores biomecánicos pueden explicar el 90.3% de la varianza del rendimiento en 100 m, siendo SI el mejor predictor individual del rendimiento. Además SI y SR por sí solos explican el 92.6% de la variabilidad del rendimiento en 100 m crol en nadadores jóvenes (Lätt et al., 2010).

En pruebas de 200 metros en nadadoras adultas de élite, el rendimiento parece estar determinado por un incremento en SR. Por lo tanto, SL y SI no tienen que ser considerados como los únicos predictores del rendimiento en 200 m crol (Hout-Marchand et al., 2005b).

El rendimiento de 400 metros crol en nadadores adultos de élite parece estar determinado por SI en hombres, y SL y SR en mujeres (Schnitzler et al., 2007). Respecto a nadadores jóvenes, ambos índices de eficiencia de propulsión en crol (SI and η_p) son buenos predictores en pruebas de 400 (Longo et al., 2008; Jürimäe et al., 2007). Por último, el rendimiento de nadadores master de élite parece estar relacionado con SR y SL.

En 2000 metros crol, IdC y SR representan los principales factores que determinan la velocidad de nado en nadadores jóvenes de élite (Strazła et al., 2007).

Para un rango de ritmos de nado (como si competitivamente fuese 1500 m, 800 m, 400 m, 200 m, 100 m, 50 m, y velocidad máxima) incrementos en el ritmo de nado, V, SR y SL determinan la transición en la coordinación de brazos en 40 brazadas $\cdot \text{min}^{-1}$ (200 m). Por lo tanto, en nadadores adultos de élite, SR y SL son buenos determinantes del rendimiento, y SR es uno de los predictores más importantes de los cambios de IdC (Seifert et al., 2007). Para un rango de velocidades de nado SI, IVV y v^2/u^2 se mantienen constantes mientras la continuidad propulsiva y la velocidad de la mano aumentan con un incremento de la velocidad de nado. Los nadadores de mayor nivel presentan mejor efectividad para generar propulsión, por consecuencia la técnica debe ser considerada uno de los factores más importante en el rendimiento en natación (Seifert et al., 2010). En esta línea, una variabilidad de la velocidad intraciclo baja, y su estabilidad sobre un rango de ritmos de nado con una coordinación intra-brazo optimizada, parece determinar el rendimiento de natación en crol (Schnitzler et al., 2010). Respecto al estilo mariposa en nadadores adultos de élite, la velocidad de nado parece estar determinada por SR; incrementos de SR mientras SL se mantiene constante determina un aumento de V (Barbosa et al., 2005). En niños competitivos, para un rango de velocidades de nado en crol, el mejor rendimiento corresponde con un aumento de SR mientras SL se mantiene constante (Poujade et al., 2002). Finalmente, sin importar la edad, estilo y género en todos los estilos, en un rango de velocidades de nado, el mejor rendimiento corresponde con un aumento de SR y un descenso de SL (Psycharakis et al., 2008).

Relaciones entre el rendimiento y antropometría

Recientemente han sido investigados varios parámetros antropométricos en el rendimiento de natación. Con referencia a pruebas de 50 y 100 m, en nadadores jóvenes, los factores antropométricos explican el 45.8% de la varianza del rendimiento de natación, y la envergadura del brazo parece ser el factor más importante en crol (Lätt et al., 2010). Además, la longitud total del cuerpo y la masa magra corporal parecen ser factores importantes que la velocidad de nado

(Strzała y Tyca, 2009). En niños, el rendimiento de 100 m crol está determinado en parte por la longitud de las extremidades (Geladas et al., 2005).

En pruebas de 200 metros crol en niños, los parámetros antropométricos no parecen determinar el rendimiento en natación, pero puede estar influenciado por la flotabilidad (grasa) y la eficiencia de brazada (longitud del brazo) (Cicchella et al., 2009).

El rendimiento de 400 metros crol en niños parece no estar relacionado con parámetros morfológicos tales como talla, masa, flotabilidad y superficie de flotación de la piel (Poujade et al., 2003), pero está relacionado parcialmente con la envergadura del brazo (Jürimäe et al., 2007).

Para un rango de 50 a 1500 metros, en nadadores jóvenes y niños competitivos en los cuatro estilos, la edad cronológica parece ser el principal predictor del rendimiento. Además, la altura y envergadura del brazo son los mejores predictores del rendimiento en chicos, y la maduración sexual en chicas (Saavedra et al., 2010). Respecto a nadadores master de élite para un rango de distancias, la edad, altura y fuerza de agarre parecen ser los principales del rendimiento en distancias cortas, y la edad y altura en distancias medias y largas.

Limitaciones del estudio

La pérdida de información importante debe ser considerada porque: (a) no se han sido incluidas todas las bases de datos, sólo MEDLINE y SportDiscus se incorporaron a la revisión, (b) la revisión ha sido limitada desde el 2001 hasta el 2011 y los estudios previos no han sido considerados y (c) sólo los estudios en francés e inglés han sido incluidos descartando otros muchos.

Conclusión

El rendimiento de natación está relacionado fuertemente con parámetros bioenergéticos, pero sus determinantes están apenas claros; en nadadores de élite y adultos competitivos, Cn en crol está determinado por SF y SI, y algunos parámetros antropométricos: masa corporal (BM), lactato sanguíneo pico (BL) y área de la superficie corporal (BSA), mientras que Cn en mariposa está determinado por V , $\dot{V}O_2$ and Bla. Respecto a nadadores jóvenes y niños competitivos, Cn en crol está determinado por V , $\dot{V}O_2$, torque subacuático (T^*) y algunos parámetros antropométricos (H, BM, HL, BSA and BL).

Aunque los determinantes del rendimiento de natación han sido ampliamente investigados, existe muchas lagunas de conocimiento y la clave del rendimiento de natación no está todavía

clara siendo contradictoria. Las conclusiones respecto a los determinantes del rendimiento en natación podemos clasificarlas según la distancia del evento examinada:

- a. *Salidas*. En nadadores de élite y adultos competitivos, el rendimiento de las salidas de crol está determinado por la fuerza y potencia de las extremidades inferiores, mientras las salidas de espalda por la posición del centro de gravedad y el impulso de las piernas.
- b. *50 y 100 m*. En pruebas de velocidad, el rendimiento de nadadores de élite y adultos competitivos está relacionado con v_{AnT} y P_d en crol, $\dot{V}O_{2peak}$ en braza, y la fuerza de brazada en los cuatro estilos. El salto horizontal, fuerza de agarre, SI y SR, envergadura del brazo y longitud de las extremidades son los determinantes más importantes en nadadores jóvenes y niños competitivos en crol.
- c. *200 m*. En pruebas de 200 metros, SR en crol y B_{la} en todos los estilos son los principales predictores en nadadores de élite y adultos competitivos, mientras B_{la} , flotabilidad (grasa) y eficiencia de brazada (longitud de la mano) en nadadores jóvenes y niños competitivos.
- d. *400 m*. En 400 metros crol, frecuencia cardiaca (HR) peak, valor de lactato (H_{la}) peak y SR son los determinantes más significativos en nadadores de élite y adultos, mientras $\dot{V}O_{2max}$, SI, η_p y AS en nadadores jóvenes y niños competitivos.
- e. *2000 m*. Por otra parte, el rendimiento de 2000 m crol está fuertemente relacionado con el umbral anaeróbico, IdC y SR en nadadores de élite y adultos competitivos.
- f. Para un rango de velocidades, el rendimiento de nadadores de élite y adultos competitivos está relacionado con SR, H, AS y maduración sexual. En conclusión, para cualquier edad, estilo y género, SR es el determinante principal en el rendimiento de natación mientras el rendimiento de crol está fuertemente relacionado con SI, IVV e IdC.

Aplicaciones prácticas

Como aplicaciones prácticas se puede concluir que: (a) los parámetros bioenergéticos y técnicos con los principales factores que determinan el rendimiento de natación, (b) la frecuencia y eficiencia de brazada son los determinantes técnicos principales, (c) la concentración de lactato sanguíneo y el consumo máximo de oxígeno son los determinantes bioenergéticos más significativos del rendimiento (d) AS es un buen predictor antropométrico del rendimiento de natación y (e) IdC parece ser mejor determinante en distancias largas.

Futuras líneas de investigación

Varios temas importantes se tienen que tomar en cuenta en el futuro con el objetivo de establecer un conocimiento más amplio sobre estas relaciones: (a) explorar la interacción entre los parámetros bioenergéticos, biomecánicos y antropométricos; establecer el porcentaje de varianza explicada por cada parámetro y encontrar sus principales determinantes en el rendimiento de natación o explorar la influencia de cada determinante en los otros como AS en SF o

SI en las concentraciones de lactato sanguíneo, (b) estudiar los determinantes del rendimiento de natación en una mayor escala, incluyendo nadadores de diferentes niveles, todos los estilos y distancias y ambos géneros; explorar los determinantes del rendimiento en distancias poco exploradas como 800 y 1500 metros, investigar los determinantes del rendimiento de las salidas de mariposa y braza o buscar diferencias entre hombres y mujeres en casi todas las pruebas de natación, (c) establecer diferencias entre varias técnicas y distancias o velocidades; buscar diferencias entre crol, mariposa, espalda y braza en los determinantes en casi todas las distancias y velocidades, (d) ampliar el número de participantes y aumentar su homogeneidad y (e) buscar resultados más específicos sobre la cinética del nadador y la cinética segmentaria en casi todas las pruebas de natación; parámetros biomecánicos de las fases de brazada o la fuerza y potencia en piernas y brazos.

Referencia

- Barbosa, T. M., Keskinen, K. L., Fernandes, R., Colaco, P., Carmo, C., & Vilas-Boas, J. (2005). Relationships between energetic, stroke determinants, and velocity in butterfly. *International Journal of Sports Medicine*, 26(10), 841-846.
- Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V., Marinho, D. A., Carvalho, C., & Silva, A. J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: Updating the state of the art. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 13(2), 262-269.
- Cicchella, A., Jidong, L., Jürimäe, T., Zini, M., Passariello, C., Rizzo, L., et al. (2009). Anthropometric comparison between young estonian and chinese swimmers. *Journal of Human Sport & Exercise*, 4(2), 154-160.
- de Jesus, K., Figueiredo, P., Gonçalves, P., Pereira, S., Vilas-Boas, J. P., et al. (2011). Biomechanical analysis of backstroke swimming starts. *International Journal of Sports Medicine*, 32(7), 546-551.
- Fernandes, R. J., Keskinen, K. L., Colaço, P., Querido, A. J., Machado, L. J., Morais, P. A., et al. (2008). Time limit at $\dot{V}O_{2max}$ velocity in elite crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 29(2), 145-150.
- Geladas, N. D., Nassis, G. P., & Pavlicevic, S. (2005). Somatic and physical traits affecting sprint swimming performance in young swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 26(2), 139-144.

- Huot-Marchand, F., Nesi, X., Sidney, M., Alberty, M., & Pelayo, P. (2005a). Is improvement in performance linked to higher stroke length values in top-level 100-m front crawl swimmers? *Human Movement*, 6(1), 12-18.
- Huot-Marchand, F., Nesi, X., Sidney, M., Alberty, M., & Pelayo, P. (2005b). Variations of stroking parameters associated with 200 m competitive performance improvement in top-standard front crawl swimmers. *Sports Biomechanics*, 4(1), 89-99.
- Jürimäe, J., Haljaste, K., Cicchella, A., Lätt, E., Purge, P., Leppik, A., et al. (2007). Analysis of swimming performance from physical, physiological, and biomechanical parameters in young swimmers. *Pediatric Exercise Science*, 19(1), 70-81.
- Lätt, E., Jürimäe, J., Mäestu, J., Purge, P., Rämson, R., Haljaste, K., et al. (2010). Physiological, biomechanical and anthropometrical predictors of sprint swimming performance in adolescent swimmers. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9(3), 398-404.
- Longo, S., Scurati, R., Michielon, G., & Invernizzi, P. L. (2009). Correlation between two propulsion efficiency indices in front crawl swimming. *Sport Sciences for Health*, 4(3), 65-71.
- Morouço, P., Keskinen, K. L., Vilas-Boas, J., & Fernandes, R. J. (2011). Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(2), 161-169.
- Poujade, B. B., Hautier, C. A. C., & Rouard, A. A. (2002). Determinants of the energy cost of front-crawl swimming in children. *European Journal of Applied Physiology*, 87(1), 1-6.
- Poujade, B., Hautier, C.A., & Rouard, A. (2003). Influence of morphology, $\dot{V}O_{2\max}$ and energy cost on young swimmers' performance. *Science & Sports*, 18(4), 182-187.
- Psycharakis, S. G., Cooke, C. B., Paradisis, G. P., O'Hara, J., & Phillips, G. (2008). Analysis of selected kinematic and physiological performance determinants during incremental testing in elite swimmers. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 951-957.
- Ratel, S., & Poujade, B. (2009). Comparative analysis of the energy cost during front crawl swimming in children and adults. *European Journal of Applied Physiology*, 105(4), 543-549.
- Reis, V. M., Barbosa, T. M., Marinho, D. A., Policarpo, F., Reis, A. M., Silva, A. J., et al. (2010). Physiological determinants of performance in breaststroke swimming events. *International SportMed Journal*, 11(3), 324-335.

- Saavedra, J. M., Escalante, Y., & Rodríguez, F. A. (2010). A multivariate analysis of performance in young swimmers. *Pediatric Exercise Science*, 22(1), 135-151.
- Schnitzler, C., Ernwein, V., Seifert, I., & Chollet, D. (2007). Comparison of spatio-temporal, metabolic, and psychometric responses in recreational and highly trained swimmers during and after a 400-m freestyle swim. *International Journal of Sports Medicine*, 28(2), 164-171.
- Schnitzler, C., Seifert, L., Alberty, M., & Chollet, D. (2010). Hip velocity and arm coordination in front crawl swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 31(12), 875-881.
- Seifert, L., Toussaint, H. M., Alberty, M., Schnitzler, C., & Chollet, D. (2010). Arm coordination, power, and swim efficiency in national and regional front crawl swimmers. *Human Movement Science*, 29(3), 426-439.
- Seifert, L., Chollet, D., & Rouard, A. (2007). Swimming constraints and arm coordination. *Human Movement Science*, 26(1), 68-86.
- Strzala, M., Tyka, A., & Krężałek, P. (2007). Crucial swimming velocity parameters in 2000 M front crawl performance. *Human Movement*, 8(1), 15-20.
- Unnithan, V. V., Holohan, J. J., Fernhall, B. B., Wylegala, J. J., Rowland, T. T., & Pendergast, D. R. D. (2009; 2009). Aerobic cost in elite female adolescent swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 30(3), 194-199.
- West, D. J. D., Owen, N. J. N., Cunningham, D. J. D., Cook, C. J. C., & Kilduff, L. P. L. (2011). Strength and power predictors of swimming starts in international sprint swimmers. *Journal of Strength and Conditioning*, 25(4), 950-955.
- Zampagni, M. L., Casino, D., Benelli, P., Visani, A., Marccacci, M., & De Vito, G. (2008). Anthropometric and strength variables to predict freestyle performance times in elite master swimmers. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(4), 1298-1307.

