

M. GUTIÉRREZ DÁVILA

Departamento de Educación Física y
Deportiva.
Universidad de Granada.

Bases Biomecánicas de la natación

Biomechanics of swimming

Resumen

El presente trabajo constituye una revisión general y análisis de los fundamentos biomecánicos básicos implicados en los desplazamientos en medios acuáticos y especialmente en la natación. Para su estudio se ha considerado al nadador como un sistema mecánico sujeto a las fuerzas externas, las cuales se han dividido, para su estudio, en tres grupos: a) la gravedad y de flotación, b) las propulsivas, como las de arrastre y sustentación y c) las de resistencia, como las de forma y oleaje.

Finalmente y de una forma muy genérica se expone lo que se ha dado en llamar análisis temporal de competición, donde se analizan los tiempos de salida, de nado y de vuelta, con el propósito de orientar al lector hacia una aplicación práctica simple.

Summary

The present work is a general review and analysis of the fundamental biomechanics of movement in water, particularly swimming. We have considered the swimmer as a mechanical system in which three different forces were analyzed: a) force of gravity and force of flotation, b) propulsive forces, and c) drag forces.

Finally, a general description is made of temporal analysis of competition, analyzing different intervals: start, stroke and turns.

Aspectos generales sobre la flotación y desplazamiento en un medio acuático

En la mayoría de las actividades acuáticas es determinante la flotabilidad de los cuerpos, es decir, la capacidad que tienen para ser transportados por el agua. Lógicamente, una persona que es capaz de flotar con facilidad podrá desplazarse mejor por este medio que otra persona que flota con dificultad.

El que un cuerpo flote o se hunda, depende de la magnitud relativa de dos fuerzas que tienen igual dirección pero sentido contrario (el peso y la fuerza de flotación). El cuerpo flotará si la fuerza de flotación es mayor que el peso del cuerpo que flota, en caso contrario, el cuerpo no flotará y su posibilidad de desplazamiento por un medio acuático disminuirá. Según dicha relación y sustituyendo el peso del cuerpo por la masa y la fuerza de flotación por volumen del agua que ha sido desplazada por el citado cuerpo, se deduce la importancia que tiene la densidad de un cuerpo para flotar.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$$

En el cuerpo humano, la densidad está en función de la cantidad de huesos, músculo y otros tejidos de los cuales está compuesto, así, mientras el tejido adiposo es capaz de flotar, al tener una densidad de 0,938, el hueso o el músculo no tiene dicha capacidad, ya que su densidad es superior a la unidad (1,9 y 1,052 respectivamente). En este sentido, la mujer, al tener un 20% de grasa, con respecto al 11% del hombre, es capaz de flotar con más facilidad. Asimismo, el volumen de aire que contienen los pulmones es otro factor importante a la hora de considerar la densidad corporal total y, consecuentemente, su facilidad para flotar.

Al margen de las diferencias individualizadas que pueda tener el cuerpo humano para flotar, es posible abordar el estudio de su desplazamiento a través de un medio acuático, desde una perspectiva biomecánica, considerándolo como un sistema mecánico compuesto por catorce segmentos interaccionados entre sí mediante unas fuerzas internas, cuyo sumatorio siempre será igual a cero, y asociado a otras fuerzas que serán ejercidas por cuerpos que no pertenecen al propio sistema (fuerzas externas), las cuales serán las úni-

Correspondencia:

M. GUTIÉRREZ DÁVILA. Laboratorio de Biomecánica. Departamento Educación Física. C/ Carretera de Alfacar, s/n. 18011 Granada.

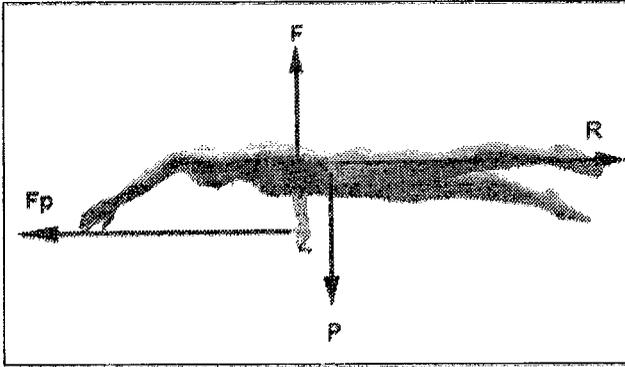


FIG. 1.—Diagrama de fuerzas referido a un nadador cuando se desplaza a través de un medio acuático, donde F es la fuerza de sustentación, P el peso del nadador, R la fuerza de resistencia al desplazamiento y F_p la fuerza propulsiva que aplica el nadador contra el agua.

cas que deben tomarse en consideración para el análisis de un nadador al desplazarse, como la fuerza de la gravedad o peso del sistema (P), fuerza de flotación (F), fuerzas propulsivas que se aplican contra el agua (F_p) y la fuerza de resistencia que le frena al avance (R). En la figura 1 se presenta un diagrama de fuerzas representativo de un nadador que se desplaza por un medio acuático.

Fuerza de gravedad o peso y de flotación

En reposo y adoptando una posición anatómica, el origen de todas las fuerzas gravitatorias que actúan sobre el cuerpo humano (*centro de gravedad*), se encuentra, dependiendo de cada biotipo, aproximadamente a la altura de la 3.^a vértebra lumbar, y el origen de la fuerza resultante ejercida sobre el nadador por el agua (*centro de empuje o de carena*), a la altura de la región torácica inferior. Con esta situación y partiendo de una posición horizontal, se crea un par de fuerzas que hace girar al nadador hacia una posición vertical y, cuanto más separados estén los orígenes de estas dos fuerzas, tanto mayor el esfuerzo que se deberá realizar para mantener su posición horizontal.

En general se puede decir que cuanto mayor sea la distancia horizontal entre los dos centros, más grande es el par de fuerzas resultante y más tendrá que rotar la parte inferior del cuerpo, antes de que las fuerzas se alineen verticalmente. Normalmente, con una posición cercana a la vertical, la mayor parte de las personas consiguen la posición de equilibrio. Aquellos cuya flotabilidad es grande tienden a colocarse en equilibrio en una posición más horizontal (tienen los dos centros más próximos). La acumulación de tejido adiposo en el abdomen, pelvis o piernas hace que éstas zonas desplacen más agua y trasladen el centro de empuje hacia la pelvis, acercándolo al centro de gravedad (CG)¹.

Las diferentes posiciones que adoptan los segmentos corporales que componen el sistema del cuerpo del nadador modifican la posición del centro de gravedad. Si los brazos se extienden por detrás de la cabeza y las rodillas se flexionan, el CG se desplaza hacia el tórax, acercándose al centro de empuje consiguiendo, por tanto, que el cuerpo flote en una posición más horizontal.

En general el CG suele estar por debajo del centro de empuje, aunque en ciertas ocasiones puede estar por encima, sin embargo, es una posición muy inestable y es necesario el uso de fuerzas externas para mantenerla. Este caso se da en las posiciones invertidas de natación sincronizada, en ciertos instantes de las vueltas y en algunas embarcaciones (piraguas).

Es importante considerar que cuando un móvil se desplaza a través del agua el efecto de la fuerza de la resistencia y algunas componentes de las fuerzas propulsivas actúan como una fuerza de empuje que ayuda a reducir el efecto de la fuerza de la gravedad, en cuanto el móvil pierde velocidad, la situación cambia y el par de fuerzas vuelve a actuar, normalmente hasta encontrar la situación de equilibrio.

Fuerzas propulsivas

Las fuerzas propulsivas que desplazan al nadador a través del agua se generan debido a la resistencia que ofrece el agua a los movimientos que se realizan. En realidad el mecanismo por el cual los nadadores generan fuerza para desplazarse no es tan simple y ha sido un tema muy estudiado y debatido por los investigadores, la mayoría de los cuales se han centrado en la propulsión generada por los brazos.

Resumiendo lo publicado durante los últimos años, se puede llegar a la conclusión general de que la fuerza propulsiva que realiza el nadador es la suma vectorial de dos fuerzas, cuya correcta interacción tendrá como resultado que la fuerza propulsiva se dirija horizontalmente hacia delante: a) *fuerza de arrastre*, producida en la misma dirección del desplazamiento de los segmentos que realizan la propulsión y en sentido contrario y b) *fuerza de sustentación*, perpendicular a la dirección del desplazamiento de dichos segmentos. Cada una de estas fuerzas responde a dos principios físicos distintos. En primer lugar analizaremos la fuerza de arrastre, la cual se fundamenta en el llamado *Principio de acción y reacción* y en segundo lugar la fuerza de sustentación que se explica básicamente por el *Principio de Bernoulli*.

Fuerza de arrastre

Hasta hace algunos años, toda la propulsión generada por el nadador con los brazos, se explicaba sólo por el *Principio de acción y reacción*. Según dicho principio, a toda fuerza de acción que se produce contra

el agua le corresponde otra igual y de sentido opuesto, es decir, la acción hacia atrás de los miembros superiores producen una reacción en el cuerpo del nadador que provoca un cambio en su posición de equilibrio.

La fuerza de arrastre puede considerarse compuesta de un *arrastre viscoso o superficial*, producido por la fricción laminar del agua contra los segmentos que producen la propulsión, cuya mayor o menor intensidad estará relacionada con la viscosidad que posee el fluido y el rozamiento de deslizamiento que produce el agua a través de la superficie, más una segunda fuerza de *arrastre de forma*, producida por el déficit de momento de la estela al existir separación entre las líneas de corriente, y su intensidad está relacionada con la forma del contorno y el coeficiente de resistencia de los segmentos que producen la propulsión.

Como se ha dicho, la fuerza de arrastre total que actúa sobre el cuerpo del nadador para desplazarlo a través del agua tiene la misma dirección del movimiento de los segmentos que producen la propulsión en sentido contrario, sin embargo, dicha fuerza de arrastre no es tan grande como para hacer mover el cuerpo hacia delante la misma distancia que se movieron los segmentos propulsivos hacia atrás. Se produce un efecto similar a si resbalaran los segmentos en el agua al desplazarse hacia atrás, ya que, instantes después de iniciar el desplazamiento, el agua que se empuja directamente hacia atrás ya es agua que está en movimiento y producirá menor «apoyo».

COUNSILMAN (1971)² explica, en pocas palabras, la poca eficacia del uso de este tipo de tracción diciendo: *Es mejor mover una gran cantidad de agua una corta distancia que poca cantidad una larga distancia siendo, por consiguiente, la técnica de empujar el agua directamente hacia atrás la peor forma de obtener la propulsión.* Debemos considerar que el agua está en reposo sólo los primeros instantes de aplicar la fuerza, después el agua que se empuja ya está en movimiento y los segmentos propulsivos se desplazan con ella, perdiendo eficacia la propulsión.

Aunque la teoría de la resistencia propulsiva ha sido aceptada durante décadas, ahora se sabe que no está plenamente justificada, al menos cuando se utiliza para el análisis de la propulsión un *Sistema de referencias inercial* donde el sumatorio de las fuerzas y de los momentos de fuerza en reposo es igual a cero, es decir, se trata de un sistema de referencias que está asociado a la tierra (borde de la piscina, por ejemplo) pero no al propio cuerpo del nadador como habitualmente se utilizó años atrás. Sólo el hecho de considerar el estudio de las fuerzas propulsivas desde un sistema de referencia inercial en lugar del propio cuerpo, ha cambiado las teorías explicativas y, consecuentemente, la técnica utilizada por los nadadores.

HAY (1988)³ propone un ejemplo simplificado pero ilustrativo para explicar este hecho, el cual se repre-

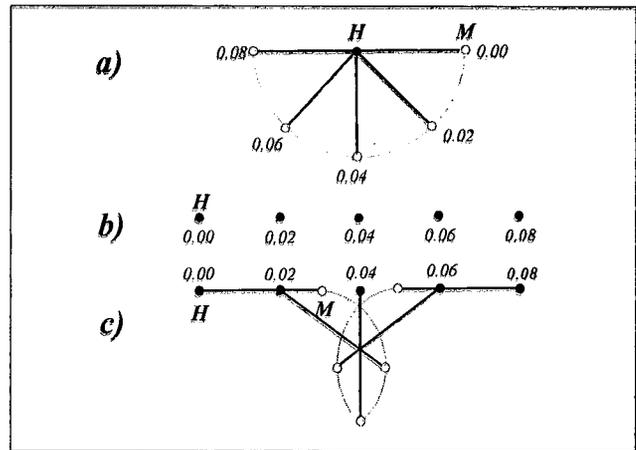


FIG. 2.—Representación gráfica de la trayectoria descrita por la mano cuando se utiliza un sistema de referencia del propio cuerpo, el cual se desplaza con el nadador y su origen está asociado a su hombro (a) y esta misma trayectoria cuando se utiliza un sistema de referencias inercial cuyo origen está asociado al borde de la piscina (c).

senta gráficamente en la figura 2. Consideremos el caso de un nadador de estilo libre que desplaza los brazos rectos hacia atrás 45 grados cada 0,02 s. Cuando el análisis se realiza a partir de un sistema de referencias relacionado con el propio cuerpo, la representación gráfica del desplazamiento de la mano (M) con respecto al hombro (H) durante 0,08 sería de 180 grados (a). En este caso, donde se considera que el hombro permanece quieto, las fuerzas tangenciales ejercidas por la mano tendrían una función propulsiva sobre el hombro, pero el hombro, realmente, no está quieto, se desplaza hacia delante con respecto al borde de la piscina (Sistema inercial) con una velocidad horizontal determinada (b).

El efecto combinado del movimiento del hombro con respecto al sistema de referencia inercial y el brazo relativo al sistema de referencia inercial produce una trayectoria de la mano predominantemente vertical y no horizontal (c). Con dicha trayectoria, la posibilidad de que las fuerzas tangenciales ejercidas por la mano tengan una función propulsiva hacia delante se limita y es necesario buscar el origen de la fuerza propulsiva en otro lugar o basándonos en otro principio.

Fuerza de sustentación

La otra fuerza producida por la mano del nadador es la *fuerza de sustentación o elevación hidrodinámica*. Este tipo de fuerza es la que utiliza la hélice (medio de propulsión acuático más eficaz que se conoce). Las hojas de la hélice no empujan agua directamente hacia atrás, sino que se mueven hacia delante encontrando continuamente agua en reposo⁴, lo que supone un incremento considerable en la eficacia propulsiva.

COUNSILMAN (1971)² observó cómo los nadadores de élite realizaban movimientos laterales con la mano y no empujaban el agua directamente hacia atrás. Teniendo en cuenta la forma de la mano y con una inclinación adecuada se producirá una mayor velocidad en el flujo de agua que pasa por el dorso de la mano que por la palma, es decir, aparecen diferencias en las velocidades del fluido que se relaciona con la mano, lo que ha permitido explicar que parte de la fuerza propulsiva que aplica el nadador se produce mediante el *Principio de Bernoulli*.

De acuerdo con el Principio de Bernoulli la *velocidad de las líneas de corriente y la presión hidrostática son inversamente proporcionales*. Donde el fluido se mueve más rápido (dorso de la mano) se producirá menor presión y donde se mueve más lento (palma de la mano) la presión será mayor, creándose una diferencia de presión, la cual tendrá como resultado una fuerza a la que llamaremos de sustentación.

Cuando un nadador coloca la mano con un determinado ángulo con respecto a su trayectoria, la circulación del agua hace que se creen dos torbellinos o *vórtices* detrás de su mano. Cuando el ángulo es de 90 grados los dos vórtices son iguales, anulándose mutuamente para conservar el momento angular. Al cambiar a un ángulo inferior, uno de los vórtices se hará más intenso que otro y para conservar el momento angular tiene que originarse en el fluido y alrededor de toda la mano otro vórtice de igual sentido que el vórtice más pequeño. Este vórtice, generado alrededor de la mano, acelera el fluido por encima y lo frena por debajo, con lo que se incrementa la sustentación además de la fuerza de arrastre.

Según lo expuesto, la fuerza de sustentación no se producirá si la mano se lleva directamente hacia atrás, sólo se produce cuando la mano se mueve lateral y verticalmente, debiendo cambiar de posición al cambiar de sentido. Estas teorías propulsivas explican por qué los nadadores realizan trayectorias elípticas con continuos cambios, tanto en la dirección de movimiento como de la posición de la mano. Según lo expuesto, es necesario abandonar la noción de que la mano se desplaza hacia atrás, ya que, observando el movimiento desde el citado sistema de referencia inercial, ésta incluso llega a salir del agua por delante de donde entró.

Al margen de esta propulsión de brazos, las piernas tienen un papel importante a la hora de determinar la propulsión. La acción de piernas se puede resumir en los siguientes puntos:

- a) Puede ayudar en la producción de fuerzas propulsivas, fundamentalmente, en la brazada. La acción propulsiva de la patada de brazada simula más al movimiento rotatorio de una hélice que el ondulatorio de la aleta caudal de los peces. Como tal hélice, los mecanismos propulsivos son muy parecidos a los explicados para la acción de los brazos.

- b) Puede disminuir la fuerza de resistencia que se opone al avance del nadador, además de producir una cierta fuerza propulsiva, especialmente en los estilos crol y espalda.

Fuerzas de resistencia

La resistencia se puede definir como el conjunto de fuerzas que se oponen al movimiento de un cuerpo en el seno de un fluido, matizando que el fluido es el agua. En general, se puede decir que la resistencia total que encuentra un móvil al desplazarse por un fluido es la suma vectorial de las dos fuerzas antes mencionadas, la de *arrastre* y de *sustentación*, aunque considerando las características propias de los desplazamientos en natación se puede desprestigiar la fuerza de sustentación como factor de resistencia al avance y significar que es la *fuerza de arrastre*, en sus componentes de *arrastre de forma* y *arrastre viscoso o superficial*, la más significativa. Aunque asociadas a ellas dos, clásicamente se ha entendido que la resistencia que ofrecen las olas que se producen durante el desplazamiento a través del agua es un factor que incide sobre la resistencia total al avance del nadador, por lo que tendremos que tratarla específicamente.

Se debe a Newton una expresión que permite calcular el valor de la fuerza de resistencia al avance que aparece en el movimiento de un cuerpo respecto a un fluido, de la cual se pueden deducir ciertos factores que determinan o interactúan sobre las resistencias a que debe enfrentarse el nadador.

$$R = 1/2K * S * V^2 * D$$

donde *R* es la fuerza de resistencia al avance, *S* la superficie de la sección normal a la dirección del movimiento, *D* la densidad del fluido, *V* la velocidad del fluido y *K* el coeficiente de forma.

La resistencia debida al arrastre de forma

Es un factor relativamente muy significativo con respecto al valor de la resistencia total. Es causada por la diferencia de presión entre la parte anterior y posterior del cuerpo. Cuanto mayor es el valor de esta diferencia de presión, mayor es el valor de resistencia total.

Es llamada resistencia debida al arrastre de forma, porque su valor está directamente relacionado con la superficie del cuerpo que contacta directamente con el agua, o bien, es el área del cuerpo visto como una silueta desde el frente. En la fórmula expresada por Newton para calcular la fuerza de resistencia total, a este área se la llamó *S* y es el valor de la superficie normal a la dirección de movimiento del cuerpo. Según avanza el cuerpo a través del agua, ésta es apartada, para permitirnos pasar a través de

ella. Cuanto mayor sea el área del cuerpo o de sus partes de cara al fluido, mayor será la resistencia debida al arrastre de forma.

Considerando que el cuerpo humano se mantiene lo más horizontal posible, sin inclinarse hacia los pies, la resistencia debida al arrastre de forma se verá disminuida y el nadador no necesita aplicar tanta fuerza propulsiva para mantener su velocidad. Por tanto la resistencia de forma es directamente proporcional al seno del ángulo que forma el cuerpo del nadador con respecto a la superficie del agua.

La forma en que se realiza el recobro de los miembros o la entrada del brazo en el agua, son factores que pueden hacer aumentar la resistencia debida al arrastre de forma. Llevar las rodillas demasiado adelante en el recobro de la patada de braza son ejemplos de aumento de la resistencia total por errores técnicos.

Un factor que incide sobre este tipo de resistencia es la velocidad. De forma general se puede decir que la resistencia del nadador, en el agua, está en función del cuadro de la velocidad (ley del cuadrado teórico). Los datos experimentales nos muestran una curva de tipo exponencial. Sin embargo esta función necesita de coeficientes de correlación para su aplicación en el cuerpo humano.

Resistencia debida al arrastre viscoso o superficial

Es la fuerza de resistencia que produce el agua al fluir hacia atrás a lo largo de la superficie corporal. Esta resistencia es análoga al rozamiento que producen dos objetos sólidos deslizándose uno sobre el otro. En este caso uno de los objetos es el agua, la cual, al ser un fluido, se deforma o fluye en líneas paralelas o diferentes velocidades a lo largo de los límites del objeto que se mueve a través del agua.

Cuando un nadador se desplaza a través del agua se produce necesariamente un rozamiento del agua con dicha superficie, lo que constituye una fuerza que tiende a reducir la velocidad de desplazamiento del nadador. Dicha fuerza está relacionada con la viscosidad del fluido y el coeficiente de rozamiento del nadador. La viscosidad se considera la fuerza necesaria para deslizar una capa de fluido sobre otra, en este sentido, cuando la viscosidad del fluido se incrementa debido a la temperatura, también se incrementa la fuerza de resistencia al desplazamiento, ya que, si consideramos que un nadador se desplaza a cierta velocidad a través del agua, las capas más próximas se desplazan con él produciendo un cambio gradual de velocidad entre las capas y, consecuentemente, un deslizamiento que se traduce en el incremento de resistencia debida al arrastre viscoso o superficial. Con esta misma lógica, si se incrementa el coeficiente de rozamiento en la superficie del nadador, las capas más próximas se desplazarán con él y no podrán deslizarse a través de su superficie, lo que incrementará la resistencia.

La resistencia debida al oleaje

Es la resistencia causada por el cuerpo al moverse a través de la superficie del agua y motivada por la formación de olas. Éstas se forman por la turbulencia en la superficie del agua. Su valor es igual al de la energía necesaria para levantar la ola.

La fuerza aplicada por el cuerpo del nadador al desplazarse produce olas, las cuales generan una fuerza de reacción opuesta y que interactúa con el cuerpo del nadador incrementando la resistencia al avance. La fuerza de esas olas aumenta con la velocidad del nadador.

Según LARSEN y cols. (1981)⁵ la resistencia total del cuerpo disminuye cuando se desliza a mayor profundidad. Esto es debido a que según aumenta la profundidad disminuye la formación de olas. Por tanto, en vueltas y salidas será mejor aprovechar el impulso inicial a una profundidad mayor y sin salir rápidamente a la superficie, lo que utilizan algunos nadadores actualmente de forma notoria y que supone un elemento técnico de especial relevancia.

El fenómeno del oleaje determina la utilización de unas corcheras que lo frenen y unos rebosaderos que no devuelvan la ola al nadador. TAKAMOTO y cols. (1983)⁶ encontraron cómo nadadores de distinto nivel no tienen la misma altura de ola cuando nadan a la misma velocidad, siendo menor en los que tienen más calidad.

Análisis temporal de la competición

La complejidad en el análisis de las fuerzas expuestas, tanto propulsivas como de resistencia, ha motivado que el estudio de las fuerzas se realice de forma indirecta a través de una valoración temporal, lo que simplifica el análisis y ofrece una información muy válida para el entrenador. Siguiendo a HAY^{3,7}, el análisis temporal de la competición en natación se puede fraccionar en tres tiempos parciales: a) *tiempo de salida*, b) *tiempo de nado* y c) *tiempo de virajes*. Consideraremos este esquema para hacer un repaso de los factores interactuantes que determinan la eficacia en cada una de las citadas fases.

Tiempo de salida

El tiempo que se tarda en la salida puede ser considerado como la suma de tres tiempos parciales: a) el tiempo desde que se da la señal de salida hasta que los pies abandonan el poyete o pared (*tiempo de poyete*), b) el tiempo desde que los pies abandonan el poyete hasta que las manos toman contacto con el agua (*tiempo de vuelo*) y c) tiempo comprendido desde el primer contacto con el agua hasta que el nadador comienza la patada y /o brazada (*tiempo de deslizamiento*).

Las investigaciones llevadas a cabo por YOSHIDA y SAITO (1981)⁸ han puesto de manifiesto que una salida rápida es significativa sólo en pruebas que no superan los 50 m de distancia, en distancias más largas no se puede considerar el tiempo de salida como un factor relevante. Estos mismos autores encontraron la existencia de una correlación significativa entre la velocidad durante el tiempo de vuelo y el deslizamiento con respecto al tiempo de salida pero no entre ellos, sugiriendo que la velocidad durante el tiempo de vuelo no influye sobre la velocidad de desplazamiento.

Quizás lo más significativo en relación al tiempo de salida sean las conclusiones a las que llegaron GUIMARAES y HAY (1985)⁹ después de realizar un estudio de la salida en agujero con 24 nadadores. Dichos autores llegaron a la conclusión de que el tiempo de deslizamiento era el más importante y que no tenía relación con la velocidad horizontal de entrada ni la distancia de deslizamiento, la cual variaba muy poco entre sujetos, lo que sugiere que el factor más importante en la salida de agujero es lo que el nadador hace para minimizar las fuerzas de resistencia durante el deslizamiento.

Tiempo de nado

Este tiempo está determinado por la velocidad media que el nadador alcanza desde que comienza la patada y/o brazada, hasta que inicia la vuelta. En este sentido, la velocidad media del nadador (V_m) es igual al producto de dos factores: *a*) longitud media de brazada o distancia que ha recorrido durante un ciclo de brazada completa (S) y *b*) frecuencia de brazada o el número medio de brazadas por minuto (N_f).

$$V_m = S \times N_f$$

Los resultados sobre la relación óptima entre la longitud de brazada y su frecuencia son muy contradic-

torios, aunque, sin tener en cuenta algunas excepciones y siguiendo a HAY³, parece ser que un incremento en la longitud parece aconsejable en pruebas largas, mientras que un entrenamiento con tendencia a incrementar la frecuencia podría estar recomendado hacia pruebas cortas.

Tiempo de vueltas

En este sentido se conocen muy pocos estudios, la razón no es difícil de encontrar, el problema reside en la complejidad de las técnicas que deben de utilizarse para su medida, como la cinematografía tridimensional. Con esta situación, el progreso técnico ha sido de escaso valor³.

Bibliografía

1. Kreighbaum E, Barhels KM. Biomechanics. A qualitative approach for studying human movement. Minnesota: Burgess Publishing Company 1981.
2. Counsilman JE. The application of Bernoulli's Principle to human propulsion in water. En Lewilli I, Clarys JP (eds.). First International Symposium on biomechanics in swimming, water-polo and diving. Bruselles: Université Libre de Bruxelles 1971;59-71.
3. Hay JG. The status of research on the biomechanics of swimming. *Swimming science*. 1988;18:3-14.
4. Redondo JM, Cano JL. Primeras determinaciones de los efectos de suspensión en impulso en natación. Natación, saltos y water-polo. 1979;1,5:32-7.
5. Larsen y Col. Boat design and swimming performance. *Swimming technique*. 1981;Agosto-October.
6. Takamoto y Col. Wave height in relation to swimming velocity and proficiency in front crawl stroke. *Proceeding of IX Congress of Biomechanics*. Ontario. Canadá, 1983.
7. Hay JG. *The biomechanics of sport techniques*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1985.
8. Yoshida A, Saito S. An analysis of the starting form in competitive swimming. *Health and Sport Science*. 1981;4:49-54.
9. Guimaraes ACS, Hay JG. A mechanical analysis of the grab starting technique in swimming. *International Journal of Sport Biomechanics*. 1985;1:25-35.