

CORONEL LABORATORIUM. LABORATO-  
RIUM DE PSICOFISIOLOGIA DE LA UNI-  
VERSIDAD DE AMSTERDAM

INSTITUTO DE MORFOLOGIA DE LA UNI-  
VERSIDAD LIBRE DE BRUSELAS

# EFICIENCIA PROPULSIVA EN LA NATACION ESTILO CROWL

DR. H. C. G. KEMPER - DR. E. VERSCHUUR - DR. J. P. CLARYS

## 1. — INTRODUCCION

Desde que KARPOVICH mencionó la resistencia friccional, la de producción de olas y la de remolino aplicadas a la investigación en la construcción de buques, se ha intentado determinar también estos componentes parciales de resistencia en relación con el cuerpo humano. Respecto a la eficiencia, las medidas de resistencia y velocidad deben completarse con investigaciones del gasto energético. Conociendo la resistencia y el coste de energía, puede hacerse un análisis cuantitativo de la natación para evaluar las diferencias individuales en el rendimiento y así predecir la eficiencia propulsiva del nado. HOLMER estableció que deben considerarse un número de criterios fundamentales a fin de obtener medidas fiables de las reacciones del cuerpo al nadar: *a)* Debe medirse el gasto de energía durante el trabajo constante en condiciones de «steady state»; y *b)* el método de trabajo debe coincidir con las condiciones naturales durante la natación.

El propósito del estudio es establecer la eficiencia propulsiva ( $E_p$ ) de los sujetos al nadar croul a una velocidad constante por medio de las mediciones del consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) y del trabajo mecánico ( $W$ ).

## 2. — METODOS

Los sujetos eran 63 hombres caucasicos, estudiantes de educación física (Amsterdam). Trece fueron excluidos por resultados incompletos. Todos los sujetos tenían entre 18 y 24 años de edad y familiarizados con los procedimientos en experimentos previos.

La resistencia corporal está relacionada con las dimensiones corporales. Las siguientes dimensiones corporales parecen ser las más relevantes en relación con la resistencia corporal y por lo tanto se han tomado:

- a)* Talla.
- b)* Peso corporal.
- c)* Volumen corporal, calculado de acuerdo con el principio peso en el aire, peso en el agua.
- d)* Mayor sección transversal del área corporal.
- e)* Area de superficie corporal, calculada por un gráfico fraccionado de 35 circunferencias y la respectiva talla.

Cuadro 1. Características físicas de los 50 sujetos, hombres, de 18 - 24 años.

Medida	Talla	Peso	Volumen	Mayor sección transversal del cuerpo	Area de superficie
Unidad	cm.	kg.	dm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Media	179.1	75.7	73.8	787.30	1.69
D. S.	16.2	9.4	12.3	128.96	0.17
Mínimo	164.3	58.6	49.5	596.5	1.39
Máximo	195.9	115.0	141.5	1251.5	2.09

Las características físicas principales se muestran en el cuadro 1.

En general se ha considerado que expresando el consumo de oxígeno independientemente de la talla, volumen o peso corporal, esta puntuación proporciona el método teóricamente correcto. Sin embargo, KATCH presentó evidencias convincentes mostrando que esas puntuaciones pueden no expresar el consumo de oxígeno independientemente del peso, volumen o talla, y que el uso de tales resultados puede ocasionar correlaciones espurias con otras variables. Por tanto, además de expresar el consumo de oxígeno por kilogramo de peso corporal y por dm<sup>3</sup> de volumen corporal, calculamos ajustes correlacionales del consumo de oxígeno con las dimensiones del cuerpo más importantes al predecir el trabajo mecánico.

Todas las pruebas se realizaron en un tanque para remolcar (arrastrar) modelos de barcos (Wageningen) de 200 x 4 x 4 m., que ya ha sido descrito previamente. Durante el experimento la temperatura del agua variaba de 24 - 28° C. y la temperatura del aire de 19 - 23° centígrados.

La eficiencia propulsiva (Ep) viene dada por los cocientes entre el trabajo mecánico (W) y el gasto energético (M).

$$Ep = W/M \times 100 (\%)$$

El trabajo mecánico viene determinado por el producto de la resistencia total del cuerpo y la distancia nadada en un minuto a una velocidad constante. A fin de determinar la velocidad a la que todos los examinados serían capaces de nadar continuamente durante cuatro o cinco minutos, determinamos la máxima velocidad libre al nadar croul (V. máx.) antes de las pruebas.

La velocidad fue escogida al 75 % de la velocidad máxima más baja de todos los sujetos, que

varió de 1.0 a 1.85 m.s<sup>-1</sup>; siendo 0.75 m.s<sup>-1</sup>. La prueba preparada para medir la resistencia total del cuerpo (D) ya se ha descrito y aplicado con anterioridad.

La resistencia total del cuerpo se midió como resistencia pasiva (Dp), arrastrando (remolcando) el cuerpo por el agua en posición prona en línea con la corriente, con los brazos extendidos al frente y las piernas sin apoyo a una velocidad constante de 0.75 m.s<sup>-1</sup>. Los sujetos llevaron el mismo equipo que durante la medición del consumo de oxígeno. El gasto energético (M) se calculó del consumo de oxígeno del nivel de reposo anterior (VO<sub>2</sub> reposo).

$$VO_2 \text{ net} = VO_2 \text{ nadar} - VO_2 \text{ reposo}$$

$$(1 \text{ kg. m. min}^{-1} = 0.16 \text{ watt};$$

$$1 \text{ litr. O}_2 = 348.5 \text{ watt})$$

El consumo de oxígeno se ha medido: a) en reposo (VO<sub>2</sub> reposo), estando el sujeto colgado del aparato remolcador en una posición vertical, relajada, en el agua, y b) nadando croul a una velocidad constante de 0.75 m.s<sup>-1</sup> (VO<sub>2</sub> nadar). Todos los sujetos se adaptaron a esta velocidad de traslado mediante un marcador de ritmo que iba sujeto al mecanismo de arrastre delante del sujeto. Se tomó el consumo de oxígeno en el cuarto minuto como medida del gasto energético durante el nado. El nadador inhalaba a través de una tráquea y exhalaba a través de una válvula respiratoria (Dräger) con un espacio muerto (Vd) de 100 c.c. conectado a una máscara de submarinista (fig. 1). El aire espirado era recogido en el Ergo-analizador (Mijnhardt B. V.), situado en el soporte de arrastre, con un tubo de conexión de 3.5 m. La resistencia espiratoria total de este sistema era de 5.5 cm. H<sub>2</sub>O a una intensidad de flujo de 150 litros/minuto<sup>-1</sup> (fig. 2). Así la válvula y la tráquea de hecho facilitaban la respiración en comparación con la natación nor-



Fig. 1.—El nadador inhala a través del tubo y exhala por medio de la válvula respiratoria montada en una mascarilla de submarinista.



Fig. 2.—El aire espirado es recogido por el Ergo-analizador (arriba-izquierda) situado en el mecanismo de arrastre por medio de un largo tubo conectado con el nadador.

mal. El Ergo-analizador Mijnhardt mide el consumo de oxígeno de forma continuada y automática. Analiza el volumen y composición del aire espirado. Un espirómetro seco (Dordrecht) con una capacidad de cinco litros determina la ventilación pulmonar (VE). Las muestras se toman de una cámara de mezcla y después de secarlas se analiza su contenido en oxígeno ( $\text{FEO}_2$ ) con un analizador paramagnético (Servomex) y su contenido en anhídrico carbónico ( $\text{FECO}_2$ ) con un analizador de infra-rojos (Mijnhardt B. V.).

Por medio de los calculadores electrónicos las medidas de ventilación pulmonar, contenido de oxígeno y contenido de anhídrico carbónico se corrigen según temperatura, presión y humedad ( $\text{VO}_2$  S.T.P.D.). La validez de este método de medida del consumo de oxígeno ha sido probada por comparación con los valores obtenidos con el método del Saco de Douglas-Scholander (fig. 3).

Además de medir la eficiencia propulsiva, medimos la carga relativa de nadar crawl a una velocidad constante de  $0.75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  registrando la frecuencia cardíaca (fh) y el cociente respiratorio (R). La frecuencia cardíaca se registraba con un grabador (Servogor). El cociente respiratorio por minuto se calculaba con el Ergo-analizador a partir del contenido de oxígeno y anhídrico carbónico en el aire espirado (fig. 4).

### 3. — RESULTADOS

En el cuadro 2 se muestran los valores de la media, desviación standard, valor máximo y mínimo de la eficiencia propulsiva durante el cuarto minuto de nadar y los valores de resistencia pasiva.

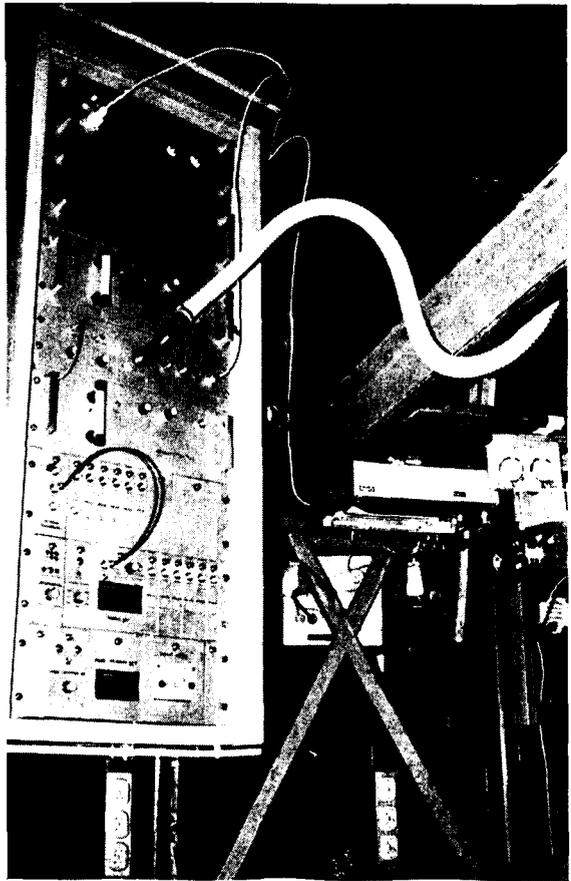


Fig. 3.—El Ergo-analizador mide el consumo de oxígeno continua y automáticamente.

Puesto que se requiere un nivel de «steady-state» en el consumo de oxígeno para calcular la eficiencia propulsiva, los valores de consumo de oxígeno y cociente respiratorio obtenidos en el tercer y cuarto minuto de nadar se comparan en el cuadro 3.

El consumo de oxígeno está relacionado con el peso corporal y con el volumen corporal de los sujetos. El relacionar el consumo de oxígeno con el peso corporal de los sujetos es habitual en fisiología del ejercicio. El volumen corporal se ha tomado en base a experimentos previos en los que el volumen corporal demostró ser un parámetro importante en relación con la resistencia pasiva.

El incremento en el consumo de oxígeno del tercer al cuarto minuto no es significativo ( $p > 0.05$ ), indicando que la mayoría de los nadadores había alcanzado un nivel de «steady state» en su consumo de oxígeno. Esta afirmación viene confirmada por los valores del cociente respiratorio. Sin embargo ambos pará-



Fig. 4.—Nadador con la máscara completa y los electrodos pectorales para registrar frecuencia cardíaca.

Cuadro 2. Resistencia pasiva durante el arrastre ( $0.75 \text{ m. seg.}^{-1}$ ) y eficiencia propulsiva en el cuarto minuto de nadar crawl a  $0.75 \text{ m. seg.}^{-1}$ .

Medida	Eficiencia propulsiva Ep	Aire espirado Dp
Unidad	%	kg.
Media	3.64	3.14
D. S.	1.43	0.77
Mínimo	1.99	2.05
Máximo	8.33	6.10

metros muestran considerables diferencias interindividuales. En algunos sujetos el cociente respiratorio durante el cuarto minuto de nado era superior a 1.0, lo que significa que parte de la energía era producida por fuentes anaeróbicas. Estos sujetos realizaron casi un trabajo maximal, y su eficiencia propulsiva está sobre-estimada. Las medidas de frecuencia cardíaca muestran idéntica tendencia con valores que varían de 102 a 188 pulsaciones por minuto<sup>-1</sup>.

Cuadro 3. Consumo de oxígeno ( $VO_2$  nadar) y proporción de intercambio respiratorio (R) en 50 sujetos masculinos durante el tercer (3') y cuarto (4') minuto de nadar a una velocidad constante de 0.75 m. seg.<sup>-1</sup>.

Medida	$VO_2$ nadar (3')	$VO_2$ nadar (4')	$VO_2$ nadar (3')	$VO_2$ nadar (4')	R (3')	R (4')
Unidad	ml. dm <sup>-3</sup> min <sup>-1</sup>	ml. kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>	ml. kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>	ml. dm <sup>-3</sup> min <sup>-1</sup>	—	—
Media	41.37	43.37	40.34	41.89	1.03	1.07
D. S.	7.03	8.01	6.49	7.33	0.13	0.13
Mínimo	21.1	26.2	25.91	26.08	0.68	0.82
Máximo	57.6	55.5	54.85	57.94	1.36	1.42

Cuadro 4. Correlaciones de PEARSON (r) entre la resistencia corporal y variables antropométricas.

Variabes	r
Peso corporal ... ..	0.21
Volumen corporal ... ..	0.15
Area de superficie corporal ... ..	0.20
Mayor área de sección transversal del cuerpo ... ..	0.25
Delgadez corporal (altura, vol. 1/3) ...	0.19
Talla ... ..	0.56*

Si la forma del cuerpo es un factor importante en la resistencia pasiva, debe existir una alta correlación entre ambos. En el cuadro 4 se ofrecen las correlaciones de PEARSON entre resistencia del cuerpo y talla, peso, volumen, áreas de superficie, mayor sección transversal del cuerpo y delgadez corporal (altura, volumen <sup>-1/3</sup>). Las correlaciones de PEARSON (r) son generalmente bajas, excepto para la altura (r = .56) indicando que la talla es el mejor predictor de la resistencia corporal. Por tanto en natación, el expresar el metabolismo de energía de sujetos con distintos somatotipos como consumo de oxígeno referido al peso o volumen parece bastante inútil.

Un método mejor sería relacionar el consumo de oxígeno a la talla.

De 50 sujetos seleccionamos dos grupos extremos de 9 sujetos cada uno en base a su máxima velocidad de nadar libre: un grupo de

nadadores de élite experimentados (nadadores hábiles) y los nadadores poco experimentados.

Al comparar la eficiencia propulsiva, el consumo de oxígeno y el cociente respiratorio en el tercer y cuarto minutos de nadar de estos dos grupos contrastados (cuadro 5) podemos concluir:

a) La eficiencia propulsiva del nadador experimentado es significativamente mayor que la del no experimentado ( $p < 01$ ).

b) Los nadadores experimentados muestran un consumo de oxígeno significativamente menor en relación con la talla, comparados con los no experimentados ( $p < 001$ ).

c) El cociente respiratorio en los nadadores no experimentados es significativamente mayor que en el grupo experimentado ( $p < 001$ ).

d) Las diferencias entre eficiencia propulsiva y consumo de oxígeno ajustado según altura y el cociente respiratorio en el tercer y cuarto minutos de nadar dentro de cada grupo no son significativas ( $p < 05$ ).

#### 4. — DISCUSION

La eficiencia propulsiva media en nuestros sujetos fue de 3.6 %. Esto es inferior a los valores aportados en la literatura. HOLMER aportó un valor de aproximadamente 6.5% y DI PRAMPERO de aproximadamente 4.2 %. Estos valores se calcularon de sus datos en base a nadar a la misma velocidad de 0.75 m.s<sup>-1</sup>.

Sin embargo en estos estudios:

a) El trabajo mecánico se calculó durante el nadar (resistencia en el nadador Ds), la cual, según ALLEY, es superior a la resistencia pasiva.

b) Los resultados se obtuvieron en sujetos que eran nadadores de élite. Ambos factores es-

Cuadro 5. Comparación del consumo ajustado según altura, proporción de intercambio respiratorio (R) y eficiencia propulsiva (Ep) de dos grupos contrastados durante el tercer (3') y cuarto (4') minuto de nadar croul a 0.75 m. seg.<sup>-1</sup>.

Nadadores experimentados				Nadadores no experimentados		
n = 9				n = 9		
$V_{\max} = 1.76 (\pm 0.07)$				$V_{\max} = 1.18 (\pm 0.13)$		
Medida	Unidad	Media	S. D.	Media	S. D.	Diferencia media entre grupos.
H-A VO <sub>2</sub> (3')	l.min <sup>-1</sup>	2.53	0.30	3.22	0.49	-0.69**
H-A VO <sub>2</sub> (4')	l.min <sup>-1</sup>	2.56	0.50	3.46	0.55	-0.90**
Diff.	l.min <sup>-1</sup>	+0.03	0.34	+0.24	0.22	
R (3')		0.88	0.12	1.06	0.11	-0.18**
R (4')		0.94	0.10	1.09	0.08	-0.15**
Diff.		+0.06	0.05	+0.03	0.05	
Ep (3')	%	4.76	1.61	3.33	0.80	+1.43*
Ep (4')	%	4.87	1.84	2.95	0.61	+1.92*
Diff.	%	+0.11	0.91	-0.38	0.36	

\* p < 0.01

\*\* p < 0.001

tán a favor de una mayor eficiencia propulsiva.

*ad. a)* HOLMER y DI PRAMPERO encontraron que la resistencia en el nadar era aproximadamente dos veces mayor que la resistencia pasiva, cuando sus sujetos nadaban croul a una velocidad de 0.75 m.s<sup>-1</sup>.

*ad. b)* La comparación de los grupos de contraste de este estudio muestra una eficiencia propulsiva significativamente mayor en los nadadores experimentados. El valor medio en el cuarto minuto es de 4.87, lo cual concuerda con los resultados de los nadadores de élite de DI PRAMPERO.

Esto podría implicar que la resistencia pasiva, medida directamente en este estudio es similar a la resistencia en el nadar calculada por DI PRAMPERO. La diferencia entre resistencia pasiva y la resistencia en el nadar encontrada por DI PRAMPERO puede haber sido debida a su método de medición extrapolación de la regresión del consumo de oxígeno y resistencia añadida al consumo de oxígeno restante. Otra explicación, menos probable, es que los nadadores experimentados que participaron en este estudio poseían una mayor eficiencia propulsiva comparados con los nadadores de élite de DI PRAMPERO.

El cociente respiratorio de los nadadores no experimentados y su frecuencia cardíaca indican que el trabajo realizado es casi máximo durante el tercero así como durante el cuarto

minuto de nadar, y que parte de la energía utilizada procede de fuentes anaeróbicas. El cálculo del gasto energético sobre la base del consumo de oxígeno en estos casos ocasiona una supraestimación del gasto energético y por tanto, una sobre-estimación de la eficiencia propulsiva.

Además podemos asumir que la resistencia en el nadar del nadador no experimentado será mayor que la de los nadadores experimentados, puesto que sus movimientos son menos eficientes por una inferior técnica natatoria.

Por tanto, la magnitud de la diferencia en la eficiencia propulsiva entre nadadores experimentados y no experimentados será todavía mayor que los valores presentados en este estudio si se calcula el trabajo mecánico sobre la base de la resistencia de nadar y si se tienen en cuenta las partes anaeróbicas del gasto energético.

#### RECONOCIMIENTO

Agradecemos la contribución prestada a este estudio por Mr. H. RIJKEN, del Nederlands Scheepshouwkundig Profestation at Wageningen y Mr. J. JISKOOT, de la Akademie voor Lichamelijke Opvoeding en Amsterdam.

Este estudio es parte de un proyecto de investigación de la resistencia acuática del cuerpo humano, patrocinado por el Instituut voor Morfologie (Prof. P. J. BROUWER).

## BIBLIOGRAFÍA

ALLEY, L. E. — «An analysis of water resistance and propulsion in swimming the crawl stroke». — «Res. Quart». 33: 253-270, 1952.

CLARYS, J. P.; J. JISKOOT and L. LEWILLIE. — «A. Kine.matographical, electromyographical, and resistance study of waterpolo and competition front crawl». — «Biomechanics III, Karger, Basel». 446-452, 1973.

CLARYS, J. P.; J. JISKOOT, H. RIJKEN and P. J. BROUWER. — «Total resistance in water and in relation to body form». «In: Richard C. Nelson and Chauncey A. Morehouse (eds.) Biomechanics IV. University Park Press», Baltimore. 187-196, 1974.

CLARYS, J. P.; J. JISKOOT. — «Total resistance of selected body positions in the front crawl». «Swimming II, University Park Press», Baltimore. 110-117, 1975.

CLARYS, J. P. — «Onderzoek naar de hydrodynamische en morfologische aspecten van het menselijk lichaam». — Thesis V. U. Brussel, 1976.

DI PROMPERO, P. E.; D. R. PENDERGAST, D. W. WILSON and D. W. RENNIE. — «Energetics of swimming in man». — «J. of applied Physiol». 37: 1-5, 1974.

HENRY, F. M. — «Evaluation of motor learning

when performance levels are heterogeneous». — «Res. Quart». 27: 176-181, 1950.

HOLMER, I. — «Physiology of swimming man». — «Acta Physiol. Scand». 407 (suppl.), 1974.

JISKOOT, J. and J. P. CLARYS. — «Body resistance on and under the water surface». — «Swimming II. University Park Press», Baltimore, 195-109, 1975.

KARPOVICH, P. V. — «Water resistance in swimming». — «Res. Quart». 4: 21-28, 1933.

KATCH, F.; E. D. MICHAEL; S. M. HORVATH. — «Estimation of body volume by underwater weighing. Description of a method». — «J. Applied Physiol», 23: 811-813, 1967.

KATCH, V. — «Correlational v. ratio adjustments of body weight in exercise-oxygen studies». — «Ergonomics», 15: 671-680, 1972.

KEMPER, H. C. G.; R. A. BINKHORTS; R. VERSCHUUR and A. C. A. VISSERS. — «Reliability of the Ergo-analyser. A method for continuous determination of oxygen uptake». — «J. of Cardiovascular and Pulmonary technology». «J. of cardiovascular and Pulmonary Technology», 4 (1976), 27-30.

VAN MANEN, J. D. and H. RIJKEN. — «Dynamic measurement techniques on swimming bodies of the Netherlands Ship Model Basin». — «Swimming II, University Park Press», Baltimore, 70-79, 1975.

**Sobreesfuerzo físico**

# **SUPERTONIC**

**SOLUCION**

# 12

**VIALES BEBIBLES**

**Indicaciones:**

Bioenergizante orgánico en la práctica del deporte, así como en anorexias, astenias, convalecencias, etc.

**Presentación y composición:**

Viales bebibles de 10 c.c. Caja de 12 (P.V.P. 265.- Ptas.)  
Cada vial que constituye una dosis,  
contiene en el tapón: Coenzima B<sub>12</sub> 1.000 Gammas  
y l-glutamina 100 mg; en la solución: Carnitina Clorh.  
500 mg. l-lisina 400 mg.; aspartato de arginina 100 mg.  
y fosforilserina 50 mg.

**Contraindicaciones y efectos secundarios.** No tiene.

**Posología:** 1 dosis diaria o a días alternos.

Por su agradable sabor a frambuesa puede tomarse tal como se presenta o bien disuelta en zumo de frutas, leche, etc.



**IFESA**

**INDUSTRIAL FARMACEUTICA ESPAÑOLA, S. A.**