

LOS PRINCÍPIOS BIOMECÁNICOS DE LAS TÉCNICAS SIMÉTRICAS EN NATACIÓN DEPORTIVA

Silva, A.¹; Persyn, U.²; Colman, V.² & Alves F.³

¹Departamento de Ciencias de Deporte, Universidad de Tras-os-Montes y Alto
Doro, Vila Real, Portugal.

² Fac. Bewegings en Revalidatiewetenschappen, KULeuven, Belgium.

³ Facultad de Motricidad Humana, Universidad Técnica de Lisboa, Portugal.

Abstract

In symmetrical strokes, there was an evolution to more butterfly-like undulation. Since the seventies till now, almost 1500 competitive swimmers were diagnosed and advised in the Leuven Research and Evaluation Center, based on a technique analysis and a physical screening. In addition, logbook information on their age, training history and performances was available. The relations between these data, and between these data and performance in the four swimming strokes and in different style variants per stroke, were investigated in six doctor's theses (Persyn, 1978; Daly, 1984; Van Tilborgh, 1987; Colman, 1991; Zhu, 1996 and Silva 2001). Presently, the technique of about 60 breaststroke and butterfly swimmers at international level has been digitized. Based on the data obtained from this research, and on the experience in diagnosing, a kinesiological expert system was developed. Therefore, each of the shortcomings in the diagnostic systems, specified earlier, was solved step by step in the doctoral research. Thanks to this research, from the seventies till now, there was an evolution from a predominantly qualitative to quantitative diagnosis and a series of working hypotheses related to ship and animal propulsion that he needed for diagnosing were developed. Therefore, the main purpose of this paper is to present, not only the general biomechanical model of swimming velocity, but also the already confirmed working hypotheses, in specific phases in the stroke cycle, for: (i) swimming performance (corrected for sex and age in a % score); (ii) for velocity variation of the CMbody in the cycle and; (iii) for vertical displacement of the CMbody.

Key Words: Swimming; Symmetrical strokes; Breaststroke; Butterfly; waving

Resumen

En las técnicas simultáneas, ha existido una evolución hacia variantes de natación cada vez más ondulantes. Desde los años 70 hasta nuestros días, cerca de 1500 nadadores han sido evaluados y diagnosticados en el "Leuven Research and Evaluation Center", mediante el análisis técnico y la evaluación física. Más aún, información sobre su edad, historial de entrenamiento y rendimiento han sido acumulados. La asociación de estos datos y el rendimiento en las cuatro técnicas de natación han sido investigados en seis tesis Doctorales, no sólo para cada una de las técnicas, sino también para las variantes técnicas existentes (Persyn, 1978; Daly, 1984; Van Tilborgh, 1987; Colman, 1991; Zhu, 1996 y Silva 2001). Actualmente, la técnica de, aproximadamente 60 braicistas y mariposistas de nivel internacional, ha sido digitalizada. Basándose en los datos obtenidos de estos estudios de investigación y en la experiencia en el diagnóstico e informe técnico se ha desarrollado un buen sistema de evaluación. Gracias a las investigaciones efectuadas desde los años setenta, ha evolucionado la evaluación cualitativa para un análisis cuantitativo y una serie de hipótesis de trabajo relativas a la propulsión naval y animal que podrá ser aplicada al caso de la propulsión humana. Así, el principal objetivo de este artículo es presentar no sólo el modelo biomecánico general de la velocidad de natación, sino también las hipótesis de trabajo ya confirmadas para determinadas fases específicas del ciclo gestual para: (i) el rendimiento competitivo (corregido para género y edad); (ii) para la variación de la velocidad en el interior del ciclo gestual; (iii) para el desplazamiento vertical CM del cuerpo del nadador.

Palabras clave: Natación; técnicas simétricas; braza; mariposa; ondulación.

1. INTRODUCCIÓN

La técnica debe ser considerada como un acto motor en el cual el objetivo es la producción de un determinado patrón de movimiento, resultante de un proceso de aprendizaje. Existe, en consecuencia, una cuestión previa que debe ser formulada, antes de la presentación de cualquier programa de enseñanza/entrenamiento técnico. *¿Cuál es el modelo técnico, basado en un determinado modelo biomecánico general de rendimiento y principios biomecánicos específicos de cada una de las técnicas, que deberemos tener como referencia para el proceso de enseñanza/entrenamiento técnico?*

Con este documento intentaremos: (i) encuadrar de una forma conceptual el modelo biomecánico general condicionante de la velocidad de natación; (ii) sintetizar el complejo sistema de investigación biomecánica en las técnicas simultáneas en forma de principios biomecánicos, que deberán dirigir la intervención pedagógica hacia el proceso de enseñanza, principios éstos, resultantes de un amplio proceso de investigación que ha sido desarrollado fundamentalmente por seis tesis doctorales (Persyn, 1978; 1983; Daly, 1984; Van Tilborgh, 1987; Colman, 1991; Zhu, 1996; Silva, 2001) así como en varios documentos científicos (Colman et al., 1992; Colman & Persyn, 1993, 2000; Colman et al., 1995, 1998; Persyn, 1969 a, b, 1974; Persyn et al., 1975, 1976, 1983, 1988, 1992; Van Tilborgh et al., 1988).

MODELO BIOMECÁNICO: CONCEPTUALIZACIÓN

En términos biomecánicos, la velocidad de natación pura (sin influencia de las salidas y virajes), es determinada por tres factores fundamentales: (i) por la habilidad de maximizar el impulso propulsor derivado de las acciones segmentarias; (ii) por la capacidad de reducir el impulso de resistencia que se opone al desplazamiento; (iii) por la restricción del coste energético, factor relacionado, directamente, con las relaciones temporales en el interior del ciclo gestual.

En base al análisis de estos supuestos, es fácil verificar que diferentes fuerzas podrían originar aumentos similares de velocidad en el Centro de Masa (CM) del cuerpo del nadador, mientras actúen manteniendo constante el producto de la fuerza por el tiempo de actuación.

El producto:

$$I^p = F^p * \Delta t$$

La fuerza constante F , por el tiempo de actuación Δt , representa una magnitud física importante. Esta magnitud se designa por impulso de fuerza constante, F , durante el intervalo de tiempo Δt . La gran cuestión está entonces, en la forma de procesar el aumento del impulso que genera propulsión, y en la

disminución del impulso de resistencia, por la manipulación de la componente magnitud de fuerza y tiempo de actuación de la fuerza.

- Modelo biomecánico: técnicas simultáneas (brazo y mariposa)

En términos específicos, para las técnicas simultáneas, es importante hacer operativo este modelo biomecánico global en un conjunto de principios que respeten los resultados de la investigación y que, al mismo tiempo, puedan ser substancializados en matrices pedagógicas de intervención práctica.

- De la observación a la conceptualización: análisis histórico

Los principios que abordaremos derivan, por un lado, de la observación ecológica de la propulsión de los barcos, peces y mamíferos acuáticos y, por otro lado, del proceso analítico de confirmación experimental de las hipótesis en ecuación en el transcurso de la observación ecológica, aplicada a la propulsión acuática humana.

En la década de los 70, combinando diferentes referencias de observación de los nadadores finalistas de los J. Olímpicos de Munich (1972), Persyn ha establecido un conjunto de hipótesis de trabajo, útiles para el proceso de diagnóstico e informe técnico.

Basándose en este trabajo de investigación, han sido seleccionadas fases específicas, relativas al ciclo gestual, relacionadas con el movimiento de los miembros superiores (MS), miembros inferiores (MI) y cabeza (en relación al tronco) y con las rotaciones del tronco (en relación al nivel del agua).

En la década de los 80, Van Tilborgh (1987), calculó la variación de la velocidad del CM del cuerpo del nadador en el transcurso del ciclo gestual para establecer las fases en las que ocurre la propulsión.

En este sentido, y en base al cálculo de la velocidad del CM del cuerpo de 23 nadadores de nivel internacional, Van Tilborgh (1987), confirmó de forma estadística algunas de las hipótesis de trabajo, anteriormente formuladas. Constató también que la variación de la velocidad del CM del cuerpo en el ciclo gestual requiere cerca del 25% del total de la energía producida por el nadador, porcentaje éste que disminuyen los nadadores con mayor incidencia de movimientos ondulatorios del cuerpo y rotación del tronco, debido a una menor variación de esta velocidad.

Fue en ese momento (1987), cuando se asistió a la alteración reglamentaria que posibilitó la inmersión total de la cabeza, reforzando la atribución a la variación de la velocidad de CM del cuerpo del nadador como uno de los más adecuados criterios de eficacia para el informe técnico. Algunos estudios de simulación

efectuados con nadadores de nivel mundial, demostraron que aumentando los niveles de ondulación corporal, se obtienen mejores resultados.

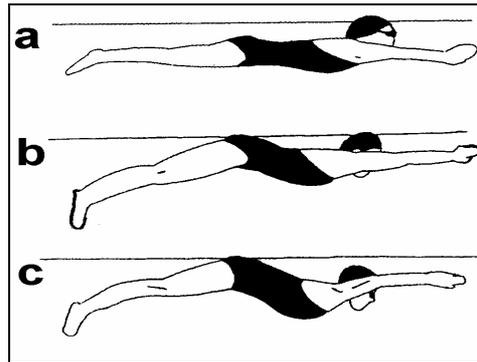


Figura 1: Mudanza técnica de la nadadora I.L., de un estilo horizontal para un estilo más ondulatorio (medalla Olímpica en 1984, utilizando a variante b).

En seguimiento de estos resultados, aún en la década de los 80, Colman desarrolló el sistema de vídeo que permitió obtener una imagen global y visible del nadador, mediante el registro en vídeo de un gran plano del nadador en los dos medios (agua y aire), lo que implicó la utilización de cámaras rotativas.

Para visualizar y cuantificar las variables espacio- temporales relevantes, Colman desarrolló un programa informático de análisis de imagen (Amiga), dando especial enfoque a la reconstrucción de los movimientos del nadador en las secciones de dentro y fuera de la superficie del agua, incluyendo la flexión y la extensión del tronco.

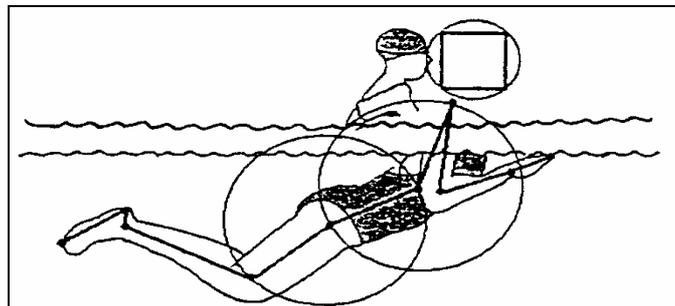


Figura 2: Reconstrucción de las imágenes de doble medio

Solamente la reconstrucción de doble medio permite la utilización de la amplitud de ondulación, calculada en base a la rotación del tronco y ondulación del cuerpo, como criterio para la definición de las variantes técnicas.

En la década de los 90, el sistema de análisis de imagen de Colman ha sido utilizado para la confirmación de las hipótesis de trabajo, relacionadas con la propulsión, utilizando un muestreo de 60 nadadores de nivel internacional, mediante la comparación de dos grupos extremos, un grupo con características muy ondulantes y otro de características más horizontales. Esta investigación partió de la delimitación de tipos básicos de estilos de natación, de braza y mariposa, mediante el análisis de aglomerados (cluster análisis). En este sistema, han sido integradas, no solo las variables espacio-temporales, sino también las características físicas del nadador con vista al proceso de optimización de la técnica de natación.

En la primera década del nuevo milenio Silva (2001), utilizando el sistema de análisis de imagen de Colman confirmó las hipótesis de trabajo, relacionadas con la propulsión, utilizando un número amplio de variables espacio-temporales, definidas mediante diferentes referencias de observación. Para posibilitar la concretización del diagnóstico y consecuente informe técnico, ha sido estudiada no sólo la población total, sino también la influencia de la diferenciación sexual y técnica en los criterios de validez de las hipótesis de trabajo.

En base a los resultados obtenidos, especialmente los que derivan de la confirmación de las hipótesis de trabajo, basados en los criterios de análisis escogidos, es posible el desarrollo de un modelo de diagnóstico e informe técnico, fundamentalmente, para la técnica de braza y mariposa, teniendo en cuenta los instantes considerados críticos en la ejecución.

- Principios biomecánicos: técnica de braza y mariposa

Los principios parten, también, del presupuesto fundamental que las variantes ondulatorias de las técnicas simultaneas, son más eficaces para la resolución del problema triple propuesto en el modelo biomecánico general.

(i) Habilidad en maximizar el impulso propulsor decurrente de las acciones segmentares; (ii) Capacidad en reducir el impulso resistivo que se opone al desplazamiento; (iii) Restricción del coste energético, factor relacionado, directamente, con las relaciones temporales en el interior del ciclo gestual.

- Principios relacionados con el aumento de la propulsión por el aumento de la magnitud de la propulsión en las técnicas ondulatorias:

1º y 2º principios: relacionados con la propulsión en base el modelo helicoidal y/o rectilíneo.

En relación a una referencia fija en el propio ámbito, los desplazamientos pueden ser considerados mayoritariamente laterales o antero-posteriores. Así, podrán ser derivados modelos explicativos de la generación de la fuerza propulsora basados en la fuerza de sustentación hidrodinámica (lift) o en la fuerza de resistencia propulsora (drag).

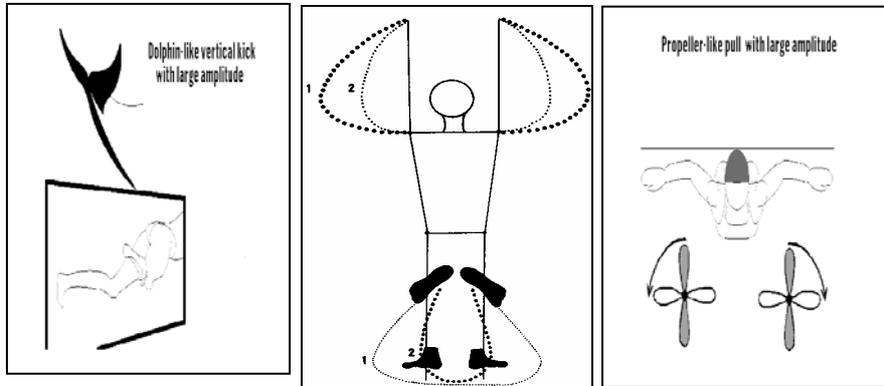


Figura 3: 1. Brazada y patada más amplias en relación a la cintura escapular y pélvica (Dominio del Lift). 2. Brazada y patada menos amplias (Dominio de la resistencia propulsora. Persyn, (1974).

En consecuencia, la aplicación de los principios de propulsión derivados de la investigación naval pueden ser aplicados a las acciones segmentarias humanas: (i) durante los movimientos laterales, el dominio del Lift como principio propulsor, tal como la hélice de Voith-Schneider en el plano horizontal (1); (ii) durante los desplazamientos antero-posteriores, el dominio de la resistencia propulsora como principio básico, tal como en las palas móviles en un plano vertical.

La utilización de acciones laterales, por su mayor amplitud, confieren un mayor impulso propulsor y, en consecuencia un menor impulso de resistencia.

3° principio: se puede obtener más propulsión, cuando la pierna, la mano y el antebrazo se desplazan lateral y verticalmente (más de lo que en dirección horizontal, anterior o posterior) durante la extensión de los MI y flexión de los MS.

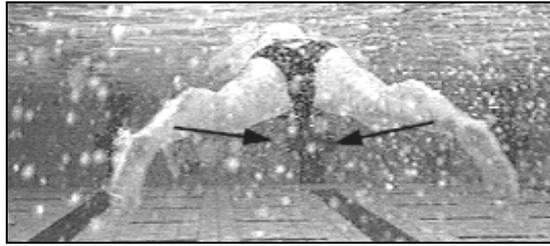


Figura 4: Generación de propulsión con dominio del Lift, durante la acción de aproximación de los MI

No sólo las superficies proyectadas en un plano de la mano y el pie pueden ser consideradas como superficies propulsoras donde predomina el Lift como probable mecanismo propulsor. En algunas situaciones también las superficies de formas cilíndricas como la pierna y el antebrazo pueden serlo. (Persyn, 1969^a).

Otro efecto surge, cuando inmediatamente después de la extensión completa de la rodilla, la planta del pie se desplazada menos hacia adelante (más lateral/verticalmente) de lo que una rodilla sin capacidad de hiperextensión acentuada. Esta acción permite estabilizar el pie en una dirección antero-posterior, al mismo tiempo que el cuerpo se desplaza hacia adelante. El mismo fenómeno puede ser observado durante el movimiento de hiperextensión de la rodilla o durante la acción ascendente del pie en crol, mariposa o incluso en la técnica de braza.



Figura 5: Durante la extensión de la pierna, el pie es desplazado más verticalmente (en vez de hacia adelante, como sucede con una rodilla normal), lo que origina la existencia de un apoyo más estable en el medio acuático.

Cuando el antebrazo se desplaza lateral o verticalmente, en relación a una referencia fija en su ámbito, y se orienta de una forma oblicua con respecto a su trayectoria, pueden surgir mecanismos generadores de Lift. El mayor aprovechamiento de este movimiento rotativo es generado cuando el dedo gordo de la mano lidera el movimiento durante la transición de ambas fases.

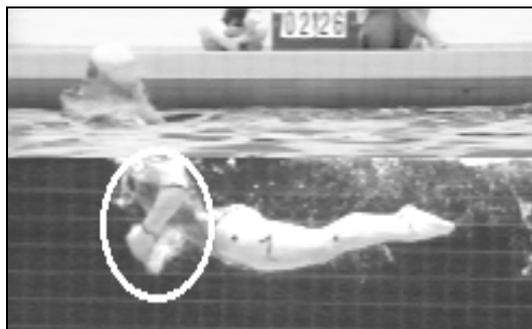


Figura 6: Durante la brazada, al antebrazo puede generar propulsión durante la transición de la acción de apertura de los MS para la acción de aproximación de los MS, recurriendo al efecto de Magnus.

- Principios relacionados con el aumento de la propulsión en las técnicas ondulatorias debido a la rotación del tronco:

4º Principio: la duración superior de los trayectos propulsores y la duración mas reducida de las acciones de recuperación, implican mayor producción de fuerza propulsora.

Debido a la rotación del tronco hacia arriba y hacia atrás, la cadera y los hombros se desplazan en vertical. Como resultado, la trayectoria descrita por el movimiento de las manos y de los pies, es más amplia y dura más tiempo. Además, la rotación de la parte superior del tronco provoca un gran estiramiento articular, causando una tensión muscular extra, pudiendo este efecto generar más impulso de fuerza.

Desde el punto de vista del equilibrio dinámico del cuerpo, el vector resultante de las acciones segmentarias de los MS y MI deberá estar diseccionado en el eje longitudinal del tronco, más concretamente en el CM del cuerpo.



Figura 7: Para orientar la propulsión en el eje longitudinal del tronco, la acción helicoidal deberá iniciarse por debajo del eje longitudinal del tronco y finalizar por encima del eje longitudinal del tronco o al contrario.

5° Principio: La aceleración de los segmentos corporales en un sentido postero-anterior, hacia fuera del agua implica una producción de fuerza propulsora superior. La aceleración en el sentido contrario aumentará la resistencia hidrodinámica.

Después de la rotación de la parte superior del tronco hacia arriba y hacia atrás, por fuera del agua, los hombros, los MS y la cabeza pueden ser acelerados hacia adelante. Debido al efecto inercial que se genera con esta aceleración segmentar, la sección corporal debajo del nivel del agua desplazada ligeramente hacia atrás (lo que hace aumentar la resistencia del agua con el movimiento del pie). Pero debido al ambiente de resistencia en el que se desarrolla esta acción (acuática), el efecto del desplazamiento relativo de las secciones corporales que se sitúan por debajo del nivel del agua no es equivalente al efecto del desplazamiento hacia adelante de las secciones corporales por encima del nivel del agua.

Consecuentemente, se asiste a un desplazamiento hacia adelante del CM del cuerpo. Este fenómeno es observable en las aceleraciones laterales del cuerpo de los mamíferos acuáticos cuando están en posición vertical, y cuando gran parte de su sección corporal se eleva por encima del nivel del agua. La aceleración de los segmentos corporales lateralmente por encima del nivel del agua, provoca el desplazamiento de la totalidad del cuerpo en el mismo sentido.



Figura 8: Las secciones corporales aceleradas por encima del nivel del agua provocan un efecto inercial que puede generar propulsión.

Cuando por el contrario, una sección corporal es acelerada hacia atrás, por encima del nivel del agua, debido a un efecto de inercia asociado, las secciones del cuerpo que quedan por debajo del agua son relativamente desplazadas hacia adelante. Es hecho causa una resistencia adicional, sumada al desplazamiento de una masa de agua hacia adelante, que empuja la zona dorsal del cuerpo del nadador (Persyn, 1976: 415).



Figura 9: Cuando el m. Superior se inclina hacia adelante durante la salida, la tensión en los miembros inferiores aumenta debido a un efecto de inercia.

6° Principio: el efecto inercial de la masa del agua puesta en movimiento por detrás del nadador, “empujándolo” hacia adelante en la zona dorso-lumbar en una fase en la que el cuerpo está en aceleración negativa, es propulsor.

La masa de agua en desplazamiento hacia adelante en la zona dorso-lumbar del nadador, también en aceleración, puede ser propulsora cuando empuja el cuerpo del nadador hacia adelante en fases de reducción de la velocidad del CM del cuerpo, evitando de esta forma, aceleraciones negativas pronunciadas del CM del cuerpo.

El efecto de inercia de esta masa de agua en desplazamiento es similar al efecto de inercia generado por un ciclista que lleva una mochila en la espalda y frena de forma brusca, haciendo que la mochila se desplace hacia el cuerpo del ciclista, empujándolo.

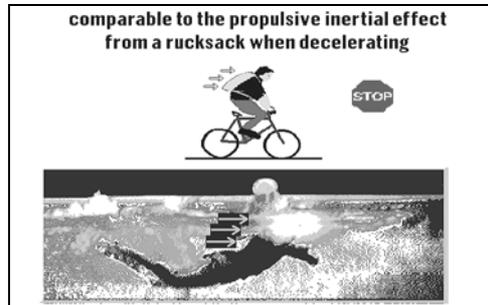


Figura 10: Efecto de inercia generado por la masa de agua en desplazamiento.

7º Principio: El desplazamiento de una sección corporal importante por encima del nivel del agua reduce la resistencia hidrodinámica.

Cuando, después de un movimiento de rotación, una sección corporal se desplace hacia adelante, por encima del nivel del agua (manteniendo como consecuencia la zona dorso-lumbar y los glúteos fuera del agua), el CM del cuerpo sufre pequeñas oscilaciones verticales durante la acción subsiguiente de elevación natural del tronco. Por otro lado, se puede inhibir la aparición de la fuerza de succión derivada de la inmersión del tronco.



Figura 11: Desplazamiento de una sección corporal por encima del nivel del agua.

- Principios relacionados con el aumento de la propulsión en las técnicas ondulatorias debido a la ondulación del cuerpo:

8° Principio: la reducción del área de la sección vertical en la cual la totalidad del cuerpo se desplaza, disminuye la resistencia hidrodinámica total.

La observación del flujo de las partículas sobre la superficie del nadador, similar al que ocurre con los pejes y mamíferos, muestra que las oscilaciones laterales de la totalidad del cuerpo provoca, por un lado, un efecto acelerador del desplazamiento en vuelta del cuerpo en la dirección de la parte posterior, precaviendo la turbulencia en la camada límite. Como la camada límite turbulenta tiene una mayor cantidad de movimiento que la laminar, puede resistir mejor a un gradiente de presiones adverso.

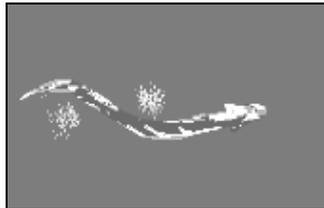


Figura 12: Reducción del área de la sección vertical en la cual la totalidad del cuerpo se desplaza.

Por otro lado, este movimiento ondulatorio, provoca también una reducción del área de superficie de contacto, una vez que la resistencia varía con la naturaleza del flujo en vuelta de la superficie del cuerpo en dependencia del tamaño y de la velocidad del cuerpo en desplazamiento.

9° Principio: la compensación de los movimientos de la parte anterior del cuerpo por los movimientos de la parte posterior, aumenta la fuerza propulsora y/o reduce la resistencia al avance.

Después del movimiento de rotación del tronco hacia adelante, y de la acción descendente subsiguiente de los miembros inferiores (acciones que provocan la elevación de la cadera), debe existir un movimiento de compensación caracterizado por un desplazamiento hacia abajo del pecho y de los miembros superiores.

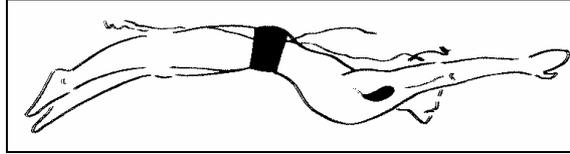


Figura 13: Movimiento de compensación entre m. Superiores y m. Inferiores (Persyn, 1974: 128).

Cuando los movimientos descendentes de la parte anterior del cuerpo son compensados por los movimientos descendentes de la cola de los peces y mamíferos acuáticos, el desplazamiento hacia adelante del cuerpo sigue una trayectoria más rectilínea que curvilínea. En nadadores con mucha flexibilidad en el tronco y en la cintura escapular, los movimientos de compensación pueden ser demasiado amplios, teniendo la necesidad de controlar estas acciones debido al indeseable desplazamiento vertical exagerado del CM del cuerpo (*"...as a result, movement occurs in two planes, hip-legs, arms-head-chest, in Persyn et al., 1975: 217*).

10° Principio: la acción del cuerpo que produce un efecto de onda de orientación cefalo-caudal, aumenta la propulsión creada y/o disminuye la resistencia hidrodinámica total.

Debido al movimiento ondulatorio del cuerpo una determinada cantidad de agua contenida en las curvaturas del cuerpo pueden ser desplazadas hacia atrás. Esta acción es idéntica al que ocurre con el movimiento ondulatorio del cuerpo de los pejes oscilando lateralmente, generando un determinado momento proporcional a la velocidad de oscilación y a la masa de agua afectada. De acuerdo con la 2ª e 3ª ley de Newton, la tasa de alteración del momento lineal generado en el agua en la dirección contraria a la dirección del desplazamiento del peje va provocar una reacción en el mismo. Lo que ocurre, es lo siguiente: (i) la cabeza del peje entra en contacto con las masas de agua inmovilizadas; (ii) el agua es dislocada para la derecha, izquierda y hacia atrás de forma contraria al desplazamiento del peje; (iii) el desplazamiento de estas masas de agua hacia atrás van generar suficiente propulsión en el cuerpo para superar la resistencia al desplazamiento.



Figura 14: El desplazamiento hacia adelante del cuerpo, como reacción al desplazamiento hacia atrás de determinadas masas de agua, es similar al que ocurre con un kayak cuando una bola se desplaza, en rotación hacia atrás.

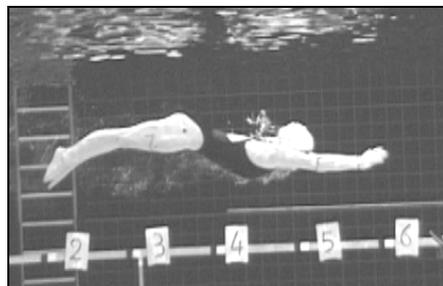
11° Principio: Los pies se desplazan verticalmente, durante la extensión del cuerpo, provocando el movimiento de masas de agua hacia atrás aumentando la propulsión creada.

Puede también ser generada propulsión, cuando la amplitud de la oscilación se restringe a la zona anterior del cuerpo, desde que la ondulación aumente para valores superiores en la zona posterior del cuerpo próximo de la extremidad de fuga (piernas e pies). De hecho, se la ondulación se tornar significativa en la 2ª mitad del cuerpo o mismo en el 1/3 posterior del cuerpo, el momento generado y energía proyectadas en la estera de vórtices podrá tener los mismos valores do que os verificados para la ondulación con la totalidad del cuerpo.

12° Principio: Los pies se apoyan en masas de agua desplazadas en un movimiento rotativo.

Figura 15: Se espera que las masas de agua en contacto directo con la superficie del cuerpo del nadador inicien un movimiento rotacional hacia atrás, pudiendo originar como consecuencia una disminución de la resistencia de fricción.

Los movimientos verticales y flexibles de la acción de la patada, combinados con el desplazamiento hacia frente del cuerpo, van generar un vórtice aislado, pudiendo este facto ser confirmado experimentalmente por modelos



dimensionais de aeorfólios, de que este é o caso e que sucesivas acciones van criar una estera, formada por vórtices alternados. El vórtice 1, es generado durante el movimiento ocurrido durante la acción ascendente de los pies, y tiene un sentido de

rotación contrario al verificado en los pontillos del reloj. Después de esta acción, los pies se orientan para la fase descendente del movimiento, lo que faz parar e invertir la rotación del vórtice inicial. Cuando esto sucede, existe la transferencia de un momento, pudiendo este dislocar el cuerpo durante la segunda fase del movimiento, desde el punto de transición superior hasta el punto en que las piernas están al nivel horizontalmente con la longitudinal definida por el cuerpo.

2. DISCUSIÓN-CONCLUSIONES

Se ha constatado, que más ondulación corresponde a mejor eficacia técnica (menor variación de la velocidad del CM del cuerpo) (Van Tilborgh, 1987). En consecuencia, la ondulación ha sido considerada como un factor de eficacia debido a la menor pérdida de energía recurrente. En un segundo estudio, comparativo, con dos grupos extremos de nadadores de nivel internacional, ha sido posible desarrollar principios de propulsión derivados de las diferentes formas encontradas de interpretación de la técnica derivada del análisis de la variación de la velocidad del CM del cuerpo (Colman & Persyn, 1993).

Además de este hecho, se ha probado la relevancia de determinadas variables espacio-temporales no sólo para la eficacia técnica, sino también para el desempeño de la natación. Así, es fundamental que la evaluación técnica y consecuente informe se haga, teniendo en cuenta, no sólo el sexo del nadador, sino también su inclusión en un grupo específico de natación, correspondiente a un estilo propio de acuerdo con las características físicas y constitucionales.

Así, como conclusiones finales, y mediante la visualización del campo de flujos durante el desplazamiento del cuerpo del nadador en el medio acuático es posible:

- Entender la propulsión y los mecanismos que la generan, por la percepción de cuál es la reacción del agua: (i) en la brazada rectilínea; (ii) en la brazada curvilínea. Cada brazada genera un tipo diferente y caracterizador de flujo reactivo en el agua;
- Analizar la propulsión. Aprendiendo a observar y analizar el flujo resultante causado por la acción segmentaria del nadador. Un observador de fuera puede relacionar al flujo resultante así como su eficiencia de acuerdo con el tamaño tipo y colocación del vórtice en determinadas fases específicas de la brazada o movimiento del pie;
- Mejorar la propulsión. Aprendiendo a reconocer mediante la sensación táctil el flujo resultante ideal necesario para generar una propulsión eficiente, envolviendo nuevas formas de aprendizaje técnico basado en el dominio de la sensibilidad cenestésica.

REFERENCIAS

- Colman V, (1991). Bewegings- en fysieke diagnose bij schoolslagzwemmers (Movement and physical diagnosis in breaststroke swimmers), 132 p. + appendices, (Leuven: K.U.Leuven; doctoral thesis physical education).
- Colman V; Daly D; Desmet S; Persyn U, (1992). Relation between physical characteristics and undulation in the breaststroke, in Maclaren D; Reilly T; Lees A (eds), Biomechanics and medicine in swimming_(Swimming science VI), London: Spon, 365-370.
- Colman V; Persyn U, (1993). Trunk rotation, body waving and propulsion in breaststroke, *Journal of human movement studies* 24: 169-189.
- Colman V; Persyn U, (2000). The need for measurement of trunk flexion in breaststroke movement analysis, in Hong Y, Johns D (eds), Proceedings of XVIII International symposium on biomechanics in sports, The Chinese University University Press: Hong Kong, 240-244.
- Colman V; Persyn U; Daly D; Stijnen V, (1998). A comparison of the intra-cyclic velocity variation in breaststroke swimmers with flat and undulating styles, *Journal of sports sciences* 16: 653-665.
- Colman, V. Persyn, U. (1995). The importance of the interaction between balance and propulsion in a Kinesiological evaluation of the simmetrical strokes. *Universidade Católica de Leuven. Leuven*
- Persyn U, (1969a). Hydrodynamische gegevens die aan de basis liggen van de zwemtechnieken (Hydrodynamic data at the basis of the swimming techniques), *Sport (Brussel)* 12: 119-123.
- Persyn U, (1969b). Hydrodynamische toepassingen in de totaalcoördinatie van de crawlslagen (Hydrodynamic applications in the global coordination of the crawl), *Sport (Brussel)* 12: 235-239.
- Persyn U, (1974). Technisch-hydrodynamische benadering van de bewegende mens-in-het-water (technical-hydrodynamical approach of the moving human-in-the-water), based on 'The Science of Swimming' of Counsilman, *Hermes (Leuven)* 8: 33-136.
- Persyn U, (1978). De synchronisatie aspecten in de studie van de zwemslagen (Synchronization aspects in the study of the swimming strokes), 205 p. (Leuven: K.U.Leuven; doctoral thesis physical education).
- Persyn U; Colman V; Van Tilborgh L, (1992). Movement analysis of flat and undulating breaststroke patterns, in MacLaren D; Reilly T; Lees A (eds), *Swimming Science VI (Biomechanics and Medicine in swimming)*, London : E & FN SPON.
- Persyn U; Daly D; Thewissen M; Vervaecke H, (1976). The synchronization problem in swimming evaluation, *Hermes (Leuven)* 10 (5): 409-431.

- Persyn U; De Maeyer J; Vervaecke H, (1975). Investigation of hydromechanics determinants of competitive swimming strokes, in Lewillie L; Clarys JP (eds), *Swimming II (International series on sport sciences)*, Baltimore (Maryland): University Park Press, 2: 214-222.
- Persyn U; Van Tilborgh L; Daly D; Colman V; Vijfvinkel DJ; Verhetsel D, (1988). Computerized evaluation and advice in swimming, in Ungerechts B; Wilke K; Reischle K (eds), *Swimming science V*, Champaign (Illinois): Human Kinetics, 341-350.
- Persyn U; Vervaecke H, (1975). A model for a functional evaluation of full-synchronization data in the crawl stroke, *Hermes (Leuven)* 9: 425-435.
- Persyn, U. (1984). *Evaluation of elite swimmers*. Leuven: K.U. Leuven.
- Persyn, U. Daly, D., Vervaecke, H. Van Tilborgh, L., & Vershetsel, D. (1983). Profiles of competitors using different patterns in front crawl events. In P. Hollander, P. Hujing, & C De Groot (Eds.), *Biomechanics and medicine in swimming* (pp. 323-328). Champaign: Human Kinetics.
- Persyn, U.; De-Maeyer, J.; & Verbaecke, H. (1974). Investigation of hidrodinamic determinants of competitive swimming strokes. In *Proceedings-International symposium on biomechanics in swimming*, 2d, Brussels, 1974; Baltimore, University Park Press. Pp. 214-222.
- Van Tilborgh L, (1987). *Stuwen remkrachten bij schoolslagzwemmers: berekening uit filmanalyse (Propulsion and drag forces in breaststroke swimmers: calculation from film analysis)*, 114 p. + appendices, (Leuven: K.U.Leuven; doctoral thesis physical education).
- Van Tilborgh L; Willems EJW; Persyn U, (1988). Estimation of breaststroke propulsion and resistance resultant impulses from film analysis, in Ungerechts B; Wilke K; Reischle K (eds), *Swimming science V (International series on sport sciences 18)*, Champaign (Illinois): Human Kinetics, 67-72.
- Zhu JP, (1996). *Trunk rotations, body waving and kinanthropometric characteristics in the symmetrical swimming strokes*, 110p., (Leuven: K.U.Leuven; doctoral thesis physical education).