

CAPITULO III
MEDICION EXPERIMENTAL
DE LA FUERZA PROPULSIVA

En la actualidad no existe ningún sistema para la cuantificación exacta de la fuerza propulsiva ejercida por un nadador. Todos los procedimientos son aproximaciones que con mayor o menor exactitud la valoran, aunque siempre en situaciones modificadas. Cuando la situación de nadar no se modifica la única posibilidad de conocer la fuerza es la medición indirecta de la misma. En este capítulo se hará una revisión cronológica de los procedimientos utilizados para medir la fuerza propulsiva en nadadores, observándose la evolución de la tecnología y métodos experimentales empleados.

3. 1. Medición Indirecta de la Fuerza Propulsiva

Este método ha sido desarrollado por Schleihauf, autor que desde 1974 hasta la fecha ha venido estudiando el problema de la valoración de la fuerza propulsiva en natación.

Los pasos que el citado autor explica en 1979 para obtener la fuerza propulsiva son los siguientes:

- Previamente fueron introducidos modelos de manos de resina sintética, en tubos de corriente utilizados para realizar mediciones hidrodinámicas, obteniendo los coeficientes de arrastre y sustentación para una gran variedad de ángulos de ataque y azimut. (Ver interacción de fuerza arrastre y sustentación y diagramas polares en el capítulo anterior).
- Gracias a estos datos se obtuvieron los diagramas polares de las manos.
- Se filmaron nadadores de forma tridimensional (dos cámaras, una frontal y otra lateral) obteniéndose gráficas del desplazamiento tridimensional del centro de la mano y diversos puntos de la mano.
- Durante su recorrido subacuático se digitalizaron 4 puntos de la mano, lo que permitió conocer los ángulos de azimut y ataque en cada momento de la trayectoria. Se digitalizó también el codo, el hombro, la extremidad distal de la clavícula y la cadera. (Ver figura 3.1, página 31)
- Basándose en las trayectorias anteriores se calculó la velocidad de la mano en cada punto de la trayectoria.
- Al conocer los citados ángulos se pueden conocer los coeficientes de arrastre y sustentación de la mano en cada momento, basándose en los diagramas polares de las manos.
- Previamente se conocía la superficie de la mano.

- Con todos estos datos se pueden calcular las fuerzas de arrastre y de sustentación y por fin la fuerza propulsiva para cada momento de la trayectoria propulsiva, así como la dirección del vector, utilizando las fórmulas 2.3 y 2.4. (Ver figura 3.2, página 31)

La validación del sistema se realizó obteniendo la fuerza al filmar al nadador en natación estática sujeto por una carga conocida, sólo realizando la fuerza suficiente para mantenerse en el sitio. (Ver la trayectoria obtenida al nadar así y los valores de fuerza en el ciclo propulsivo en las figuras 3.2, página 31 y 3.3, página 32). Si se comparan las figuras 3.3 y 3.4 (página 32), puede verse como la fuerza es mucho mayor en el caso de natación estática, y la amplitud de la misma es diferente. En el nado a velocidad libre, el nadador realiza la máxima fuerza cuando se encuentra su mano próxima al final de la tracción. En el caso, de la natación estática, la fuerza tiene un valor alto en el movimiento hacia dentro que corresponde a la parte media de la tracción. En este caso, como se puede observar, la fuerza media (38,35 N) es prácticamente similar a la carga soportada (40 N). Obviamente el nadador se desplazará ligeramente hacia adelante cuando se aplican fuerzas mayores que la media y volverá hacia atrás cuando ésta es menor.

Schleihauf (1974) realizó por primera vez el análisis tridimensional de la trayectoria propulsiva en el estilo crol, utilizando los movimientos propulsivos de Mark Spitz. Mostró como la mano en el momento de su salida del agua se encontraba por delante de donde entró en el agua¹, por tanto el movimiento resultante de la mano relativo al agua fue hacia delante, no hacia atrás, como pocos años antes pensaban los entrenadores. Consideró que observar las trayectorias, bidimensionalmente o en relación al cuerpo y no al espacio que rodea al nadador, no permitía resolver el problema de la propulsión y sólo se estaba proporcionando una descripción parcial de los movimientos en la natación. Por tanto, para analizar los movimientos completamente deben de tenerse en cuenta las tres dimensiones del movimiento, y un cuarto factor crucial para entender la fuerza propulsiva, la velocidad de la mano, la cuarta dimensión de la habilidad en natación. La mano cambia continuamente de velocidad en los tres planos, los puntos de velocidad máxima no pueden ser mantenidos continuamente en la misma dirección y sentido, por tanto el nadador debe cambiar de dirección si quiere seguir manteniendo una propulsión efectiva y no entrar en una situación donde la mano se resbale en el agua sin producir propulsión. Spitz realizaba a mayor velocidad los movimientos laterales y abajo-arriba que los movimientos hacia atrás. Al conseguirse la fuerza de sustentación de una forma muy importante con movimientos en esas direcciones y como la magnitud de esta fuerza aumenta al incrementarse la velocidad, el autor deduce que los movimientos que generan sustentación son los que deben predominar en la propulsión natatoria. Así mismo, debe de tenerse en cuenta la posición de la mano con

¹ Mark Spitz utilizaba la coordinación brazos/piernas denominada 6 tiempos, en esta coordinación la mano sale del agua claramente por delante de donde entró.

relación al fluido, observando la trayectoria propulsiva, no basta con una trayectoria adecuada y una velocidad óptima si la posición de la mano es inadecuada. Al modificarse la dirección y la velocidad continuamente, también la posición de la mano debe adecuarse en cada instante a la situación propulsiva para conseguir que la resultante propulsiva sea óptima.

El mismo autor en 1979, en uno de los artículos más clarificadores escrito sobre este tema, al analizar el estilo crol encontró tres posibles variaciones en la trayectorias propulsivas de estilo, basándose en la muestra de nadadores de élite utilizados. El estilo denominado clásico es similar al que se muestra en la figura 3.5. (página 33). En él, en el plano sagital el movimiento inicial descendente y el final ascendente se caracterizan por una componente vertical muy importante. En la porción media del estilo, que se puede observar en el plano horizontal, se observan dos movimientos, uno hacia dentro y otro hacia fuera en aproximadamente 45° la dirección de desplazamiento del nadador. Estos movimientos se caracterizan por el predominio de la fuerza sustentadora. El segundo estilo utilizado por nadadoras de dos tiempos, es similar en cuanto a las características del plano sagital, pero en el plano horizontal, los movimientos diagonales son mucho menos pronunciados, compensándolo el nadador con una frecuencia mayor. El tercer modelo se caracteriza porque en la parte media del estilo, al ser observado sagitalmente, la mano se dirige hacia atrás predominando el arrastre en ese movimiento. Esta observación es similar en la observación sobre el plano horizontal.

Schleihauf, Gray y DeRose (1983) mejoraron la precisión del sistema de medición, centrándose más en este trabajo en las características de la fuerza obtenida durante todo el ciclo propulsivo. En el estudio se utilizaron nadadores de alto nivel en el estilo crol. Los resultados obtenidos fueron:

- El punto de máxima velocidad dentro de la trayectoria propulsiva se encontró en un instante que formaba un ángulo de $63,1^\circ$ ($d.t.=6,8^\circ$), diagonal al eje sagital del cuerpo.
- El valor del índice de fuerza máxima, es decir, la relación entre las fuerza máxima obtenida y la fuerza media, fue de 2,37 ($d.t.=0,32$).
- La posición del pico de fuerza máxima se encontró en un punto que correspondía al 78% ($d.t.=0,08$) del recorrido total de la trayectoria propulsiva.
- La relación entre fuerza sustentadora y fuerza arrastre media durante la tracción fue de 1 ($d.t.=0,19$), lo que significa que los nadadores producen la propulsión con un aporte similar de las dos fuerzas que la componen.
- La media de fuerza propulsiva obtenida por unidad de tiempo durante el ciclo motor de los dos brazos fue de 48 N ($d.t.=17,7 N$).

Schleihauf, Higgins, Hinrichs, Luedtke, Maglischo y Thayer (1988) analizaron las características de la fuerza propulsiva de los nadadores del equipo americano durante su preparación para los Juegos Olímpicos de 1984. El estudio se realizó en todos los estilos, siendo 36 los nadadores estilo crol. Los resultados fueron:

- Se analizaron las dimensiones de la trayectoria propulsiva en cada estilo, siendo para el estilo crol: a) profundidad máxima ($\bar{x} = 69,8$ *d.t.* = 8,4); b) desplazamiento lateral ($\bar{x} = 37,1$ *d.t.* = 8,1); c) diferencia entre el punto más adelantado y el más atrasado ($\bar{x} = 64,5$ *d.t.* = 9,7); d) máxima flexión del codo ($\bar{x} = 93$ *d.t.* = 11).
- La relación entre fuerza sustentadora y fuerza arrastre media durante la tracción, en este estudio, fue de 1,04 (*d.t.* = 0,28).
- La posición del pico de fuerza máxima se encontró en un instante que correspondía al 82% (*d.t.* = 0,07) del recorrido total de la trayectoria propulsiva.

C. Maglischo, E. Maglischo, Higgins, Hinricks, Luedtke, Schleihauf y Thayer (1986) en un estudio con el mismo grupo anterior encontraron que en el estilo crol independientemente de la especialidad se encuentran cuatro fases: movimiento hacia abajo, movimiento hacia dentro, hacia fuera y hacia arriba. Los nadadores de crol presentan picos de fuerza en una o dos de las fases anteriores, lo que es debido a que para el nadador resulta imposible mantener la fuerza y velocidad de la manos más de dos veces por ciclo. Los picos de fuerza se pueden encontrar en cualquier fase menos en la de movimiento hacia abajo.

Hasta este momento la medición indirecta de la fuerza propulsiva en natación ha continuado una evolución rápida paralela a la evolución de los medios de filmación, informáticos, etc. Sin embargo, este procedimiento tiene un gran problema debido a la necesidad de la realización de un proceso de digitalización excesivamente largo. De hecho los estudios anteriores, cuya filmación se realizó en el año 1984, no comenzaron a publicarse hasta dos años después. Este problema es especialmente importante si lo que se quiere es dar información inmediata al nadador y al entrenador. En la actualidad se están desarrollando sistemas de digitalización inmediata por medio de imágenes registradas en vídeo. Su uso, sencillo en especialidades deportivas terrestres, es todavía difícil con filmaciones subacuáticas. Esto hace que los sistemas de registro directo sigan siendo una alternativa válida y mucho más eficaz para que el deportista reciba una información útil e inmediata.

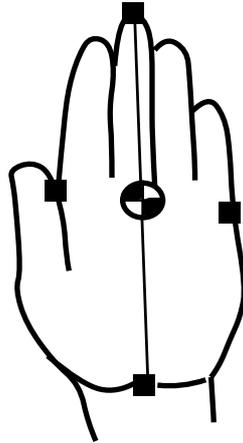


Figura 3.1.: Puntos digitalizados en la mano (cuadrados negros) para conocer la posición de la mano con relación al espacio y a la trayectoria del punto medio de la mano. Esto permite conocer el ángulo de ataque y de azimut.

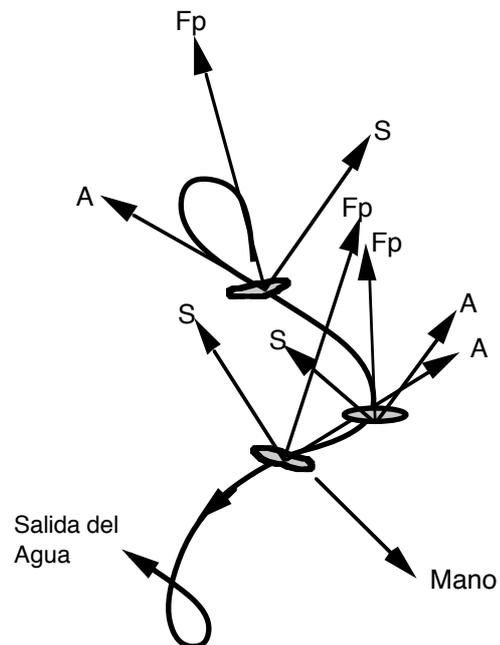


Figura 3.2.: Gráfica de la trayectoria propulsiva en su proyección sobre el plano horizontal y ejemplos de fuerza propulsiva obtenida por medición indirecta en un nadador sujeto a una carga de 40 N en natación estática, en tres instantes del ciclo propulsivo. F_p : fuerza propulsiva resultante. A : fuerza de arrastre. S : Fuerza de sustentación. (Schleihauf,1979)

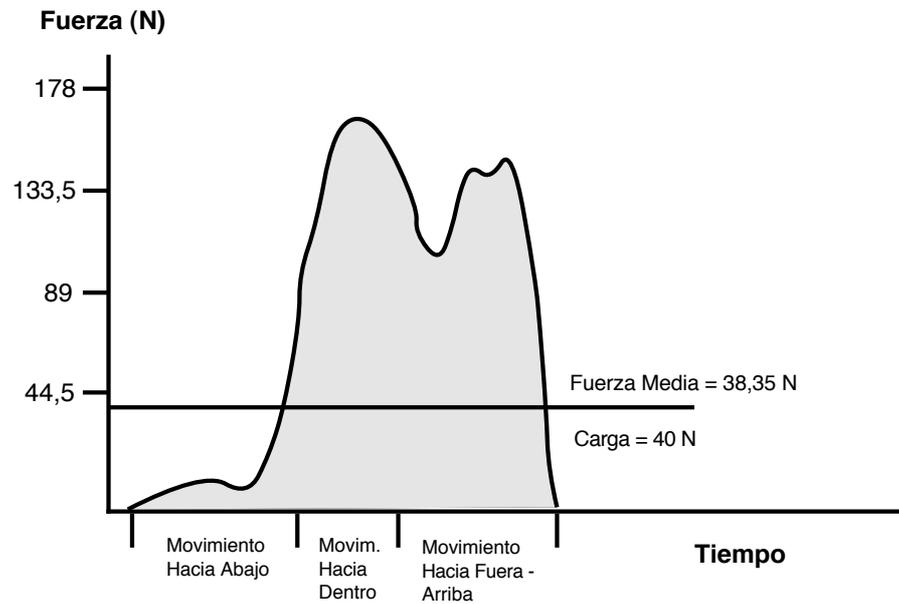


Figura 3.3.: Gráfica de la fuerza propulsiva obtenida por medición indirecta en un nadador sujeto a una carga de 40 N en natación estática, señalándose la fuerza media obtenida y las fases propulsivas (Schleihauf,1979)

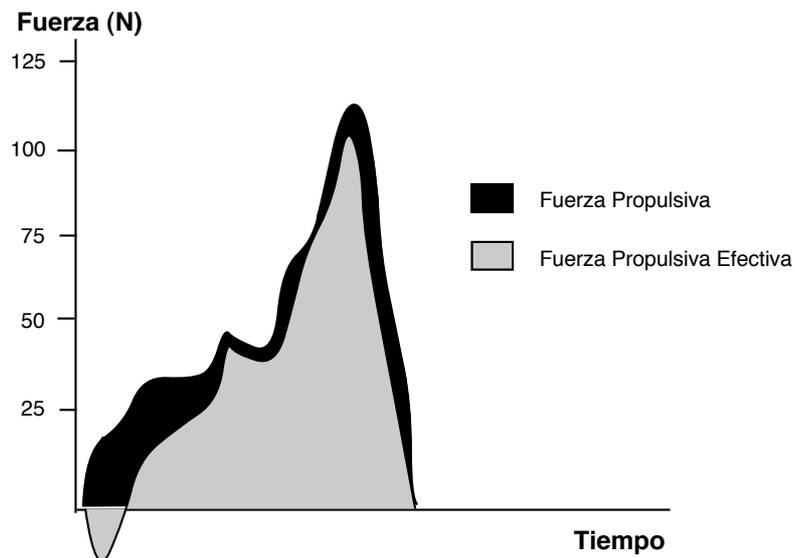


Figura 3.4.: Gráfica de fuerza propulsiva obtenida por medición indirecta en un nadador. Obsérvese la diferencia entre la fuerza propulsiva y la fuerza propulsiva efectiva y como los valores más altos de fuerza se obtienen al final del ciclo propulsivo (Schleihauf y col.1983).

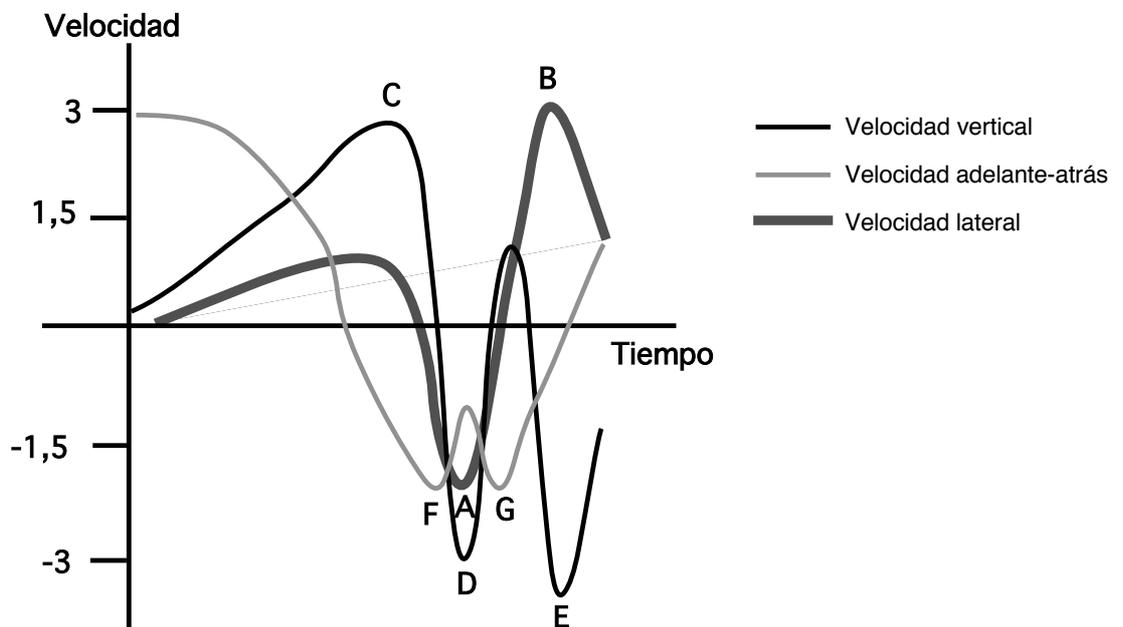
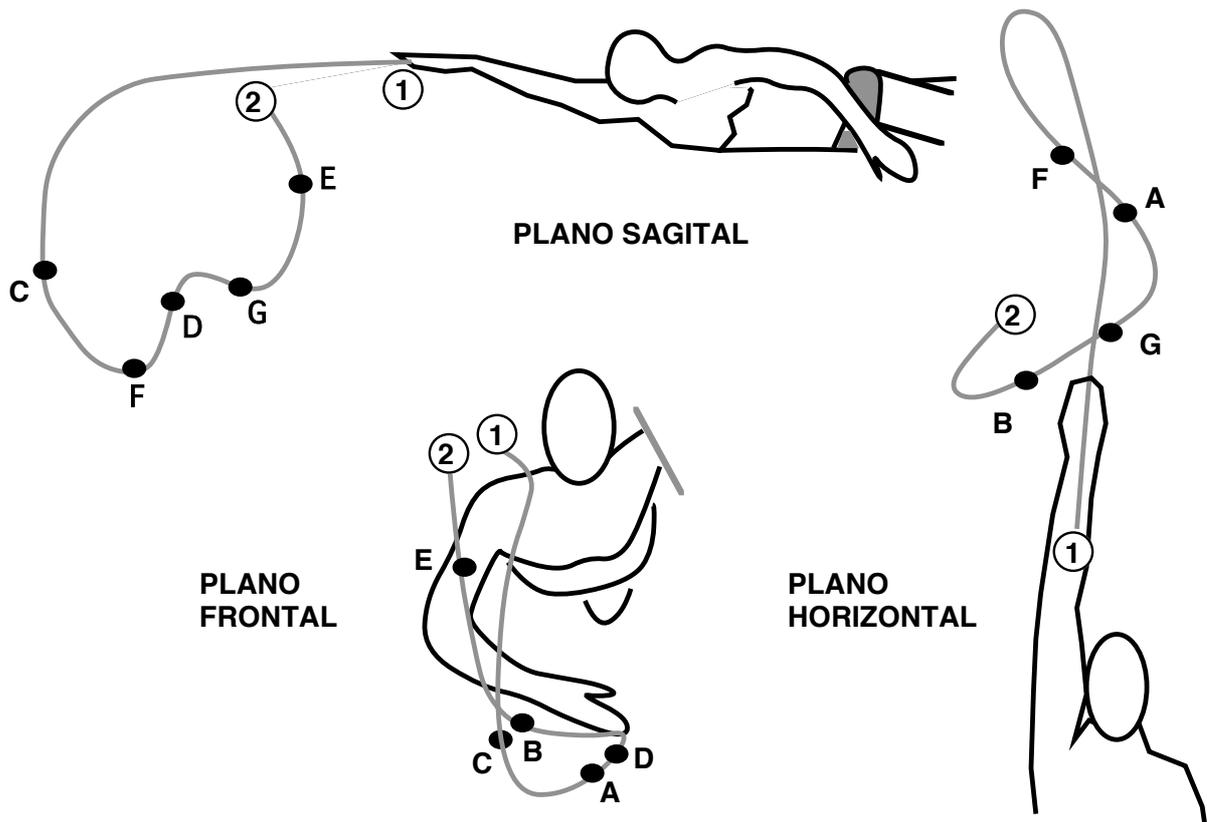


Figura 3. 5.: Gráfica de la proyección en los tres planos y de la velocidad de la mano, en la trayectoria propulsiva del estilo crol, siendo el nadador Mark Spitz. 1) Punto de entrada de la mano en el agua. 2) Punto de salida. (Según Schleihau,1974).

3. 2. Medición Directa de la Fuerza Propulsiva

Según Kemper, Clarys, Verschuur y Jiskoot (1983) el conocimiento de los valores de la fuerza propulsiva en natación puede realizarse a través de tres clases de aproximaciones: a) natación estática, registrando la fuerza propulsiva a velocidad cero; b) registro de la fuerza propulsiva a velocidades mayores que cero; c) medición del consumo energético durante la natación. A partir de ahora sólo tomaremos en cuenta aspectos relativos a los dos primeros métodos.

El método general consiste en conocer la fuerza propulsiva aplicada contra el agua o contra un sistema especial de registro, durante el desplazamiento natural del nadador o en una situación modificada. La captación de la señal se efectúa mediante un transductor (dinamómetro, piezocerámica, etc.) que conectado a un amplificador y éste a un oscilógrafo (polígrafo), registra en papel la señal enviada por el nadador. Gracias a este procedimiento se pueden conocer dentro del ciclo motor las variaciones de fuerza aplicada, las diferencias entre ciclos, la fuerza media producida durante un período de tiempo, etc. En la actualidad se puede conectar al sistema un ordenador personal que mediante un "interface" convertidor de señal analógica en digital puede almacenar los datos obtenidos, realizando los cálculos matemáticos o estadísticos de forma automática. Sin embargo, este procedimiento sólo es usado en investigaciones muy recientes (Costill, Rayfiels, Kirwan y Thomas, 1986).

3. 2. 1. Registro de la Fuerza Propulsiva a Velocidad Cero

Hace casi de cuatro décadas que Alley (1952) clasificó los estudios realizados hasta la época sobre resistencia y propulsión del hombre en el agua, en función del procedimiento que seguían, siendo uno de ellos el único, o utilizando la combinación de dos o más de los siguientes:

- Estudios en los que se medía la resistencia que ofrecía el sujeto al moverse a través del agua al ser desplazado por diferentes tipos de arrastre a distintas velocidades.
- Estudios en los que la fuerza propulsiva que el nadador puede ejercer contra un instrumento de medida es tomada como base para atacar el problema de la propulsión. La fuerza ejercida de esta manera es la fuerza propulsiva que el nadador puede generar a velocidad cero, ya que los aparatos utilizados no permiten al nadador moverse en el agua.

- Estudios en los que el nadador se desplaza a la máxima velocidad posible, siendo ésta la medida fundamental, relacionándose posteriormente con la resistencia y la propulsión.
- Estudios de naturaleza teórica, en los que las fórmulas de la hidrodinámica clásica son aplicadas a los movimientos del nadador o a los resultados del nadador.

Esta clasificación sigue estando vigente, teniendo en cuenta el correspondiente desarrollo tecnológico, pero los problemas a resolver son los mismos.

Dubois-Reymond (1905) hicieron que un nadador arrastrara una embarcación, sujetándolo a ella por medio de un dinamómetro. Fueron los primeros investigadores que se plantearon el problema de la medición de la fuerza propulsiva. Houssay unos años después estudió la natación a velocidad cero. (Citados por Lewillie, 1983).

Con el fin de conocer la fuerza propulsiva y la resistencia, Alley en 1952 ideó el aparato cuyo esquema aparece en la figura 3.6. Aunque el diseño del aparato se ajusta más a las necesidades de la medición de la resistencia, ya que disponía de un motor que permitía arrastrar al nadador, también servía para el registro de fuerza a velocidad cero. Utilizando un sólo sujeto en el experimento, se midieron distintos aspectos relacionados con diversas variaciones técnicas, resistencia, etc. De todo lo realizado, lo más interesante para nosotros fue la variable denominada "*Surplus-propulsive force*"² que el autor definió como "la fuerza que un nadador puede ejercer a una velocidad dada, por encima de la fuerza requerida para vencer la resistencia ofrecida por el agua a esa velocidad. Puede ser también considerada como la fuerza utilizada para acelerarse en cualquier velocidad." La fuerza efectiva se definió como la suma de la fuerza excedente y la fuerza de resistencia. Con este sistema el nadador se separaba del aparato a una velocidad constante marcada por el motor utilizado, registrándose la fuerza propulsiva excedente. Un ejemplo de los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 3.1. Como se puede ver en la tabla los valores de fuerza excedente tienden a disminuir a medida que aumenta la velocidad, concluyendo el autor que "este descenso es sin duda debido a una disminución de la efectividad de la tracción y a un incremento de la resistencia total del agua, siendo ambos causados por la naturaleza de los movimientos en natación."

Utilizando un sistema similar al usado por Alley, Counsilman en 1955 realizó un experimento con tres sujetos, con el fin de encontrar las diferencias entre dos formas de nadar el estilo crol usadas en competición en esa época, denominados crol continuo y crol con deslizamiento. La mejora fundamental, realizada al sistema, fue la sustitución del dinamómetro de muelle utilizado por Alley por dos soportes no elásticos a la pared del

² Este término será traducido a partir de ahora como fuerza propulsiva excedente.

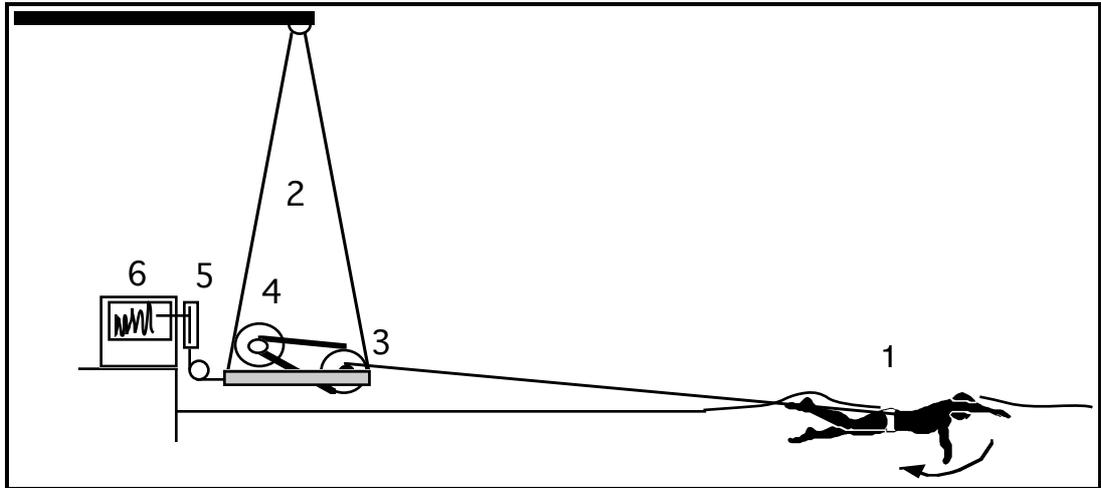


Figura 3.6.: Sistema utilizado por Alley (1952) para la medición de la fuerza de la resistencia y la fuerza propulsiva. 1) Sujeto nadando a crol. 2) Sujeción de la plataforma. 3) Poleas de distintos diámetros para modificar la velocidad de arrastre. 4) Motor eléctrico. 5) Dinamómetro de muelle. 6) Polígrafo.

TABLA 3.1
VALORES DE FUERZA PROPULSIVA EXCEDENTE
OBTENIDOS POR ALLEY (1952)*

Velocidad Aproximada (m/s)	Fuerza en Tracción Normal (N)	Tracción con el codo flexionado (N)
0,0	16,62	16,68
0,365	11,61	11,74
0,4572	13,92	8,85
0,64	11,25	4,76
0,792	7,11	3,69
1,005	7,20	5,33

* Las unidades originales eran pies y libras, siendo transformadas en m y N para este cuadro

vaso, colocando en ellos 4 bobinas "strain gauges" que hacían que la plataforma no oscilara tanto como en el estudio anterior y a la vez se registraban las deformaciones de los soportes, lo que añadió precisión a las mediciones. Como ocurrió anteriormente, los valores mayores de fuerza excedente se obtuvieron a velocidad cero, descendiendo a medida que la velocidad aumentaba.

Se puede observar como la fuerza efectiva mantiene un valor casi constante independientemente de que se aumente la velocidad, como la fuerza efectiva es la suma de la fuerza excedente y de la resistencia, al disminuir la primera al aumentar la velocidad e incrementarse la segunda, la fuerza efectiva permanece constante.

Al comparar el registro de fuerza a velocidad cero de las dos formas de nadar el crol, Counsilman observó que el estilo deslizante³ tenía una fase en que ninguno de los dos brazos contribuía en absoluto a la propulsión. En el estilo continuo el brazo no se para completamente en ninguna fase del movimiento. En cualquier caso los nadadores registraron más fuerza con el brazo del lado por el que respiraban, siendo diestros todos los sujetos y siendo este brazo el más fuerte según tests de fuerza realizados fuera del agua. Según esta observación el autor recomienda que el nadador respire por el lado contrario de su brazo más fuerte, ya que el momento de respirar es el instante en que el nadador ofrece más resistencia, debiendo en ese momento aplicar la máxima fuerza posible con el brazo propulsor. Así mismo, observó que el momento de máxima fuerza lo realizaron los nadadores, cuando el brazo se encontraba a 90° del eje longitudinal del cuerpo.

Entre las conclusiones de este estudio cabe destacar: a) el estilo continuo generó más fuerza propulsiva efectiva que el deslizante a igual velocidad y frecuencia; b) el estilo continuo fue más rápido en una distancia de 10 yardas (9,144 m); c) al igual que la fuerza excedente descendía al aumentar la velocidad, también lo hizo la cantidad de fluctuación entre la fuerza máxima y la mínima; d) el estilo deslizante creó más fluctuaciones en la fuerza de lo que lo hizo el estilo continuo a igual velocidad y frecuencia. e) cuando se utiliza el estilo continuo, la máxima fuerza excedente creada por el peor brazo era menor probablemente por dos factores: la pérdida de eficacia de la tracción debida a la existencia de un ángulo (de rotación del cuerpo sobre el eje longitudinal en el momento de respirar) que disminuye la eficiencia muscular y la presencia de un incremento en la resistencia del cuerpo en esta posición⁴, máxima rotación del cuerpo. Por tanto, el nadador debe respirar por el lado opuesto a su brazo más fuerte.

³ El nadador mantiene un brazo delante extendido mientras el otro completa un ciclo de movimiento, esta forma de nadar no se usa en la actualidad en competición y sirve fundamentalmente como ejercicio de entrenamiento denominándose "punto muerto de crol".

⁴ En este mismo estudio y con sólo un sujeto registró las diferencias de resistencia en diversas posiciones encontrando que el sujeto tendido lateralmente en el agua ofrecía más resistencia que tendido en posición prona. Este resultado ha sido cuestionado en investigaciones más recientes.

Magel (1970) midió la fuerza propulsiva media realizada durante tres minutos a velocidad cero a 26 nadadores entrenados en cada uno de los cuatro estilos de competición mediante un transductor dinamométrico. Los nadadores fueron atados a un sistema formado por una polea y pesas por medio de un cinturón. El transductor se colocó justo por encima del soporte de las pesas. (Ver figura 3.7). El test consistió en esfuerzos de 3 tres minutos seguidos de descansos de 3 a 5 minutos de duración. La carga se iba aumentando cada período en 1,14 Kg hasta que el nadador no podía soportar el peso durante el tiempo del test. La media de fuerza propulsiva registrada en crol, espalda y mariposa con este procedimiento no fueron diferentes. Los nadadores braicistas fueron capaces de ejecutar las mayores fuerzas a velocidad cero, probablemente debido a la potente patada que caracteriza este estilo. Aunque este estilo es el que produce más fuerza, sin embargo es el más lento, debido a los movimientos que realiza el nadador bajo el agua en sentido y dirección de desplazamiento, que hacen que aumente la resistencia con relación a los otros estilos. El estilo espalda mostró la propulsión de mayor continuidad, pero aunque su fuerza fue similar a la de crol y debiera por tanto nadarse más rápido, el ligero incremento de resistencia medido al deslizarse dorsalmente y el efecto de las salidas y las vueltas (beneficiadas reglamentariamente en el crol) hacen que este estilo sea más lento que el crol. El autor afirmó en su discusión que "la medición de las fuerza propulsiva a velocidad cero proporciona una buena estimación de la fuerza propulsiva que puede ser desarrollada en natación normal". (Ver tabla 3.2)

Goldfuss y Nelson. (1971) utilizaron simultáneamente el registro de fuerza en natación estática, con el nadador atado por la cintura a un cable, y la filmación subacuática, en un sistema sincronizado. Se utilizó exclusivamente la acción de los brazos, con dos nadadores de estilo crol. Dichos nadadores fueron entrenados previamente en natación estática seis semanas antes, cinco sesiones de 15 minutos a la semana. Sólo durante cuatro períodos diferentes en un tiempo total de 2 minutos fueron filmadas y registradas las tracciones, tomándose siempre como unidad el ciclo de dos brazadas, es decir, desde que la mano izquierda entra en el agua, hasta que la mano derecha entra por segunda vez, considerando sólo los ciclos en que se incluye la respiración. Se diferenciaron las siguientes fases: fase de entrada, desde que la mano entra en el agua hasta que llega al punto más adelantado, fase de tirón , desde el punto más adelantado hasta que se alcanza la máxima profundidad, fase de tirón-empuje , desde el punto más profundo hasta el punto que se aplica la fuerza máxima, fase de empuje, desde el punto de fuerza máxima hasta la salida del agua, fase de recobro, desde que la mano sale del agua hasta su entrada. Los resultados mostraron que la máxima fuerza producida por un brazo ocurre durante la fase de entrada del otro y la máxima profundidad de un brazo ocurre durante el recobro del contrario, así mismo, la entrada de un brazo se realiza siempre antes que ocurra el punto de máxima fuerza del contrario.

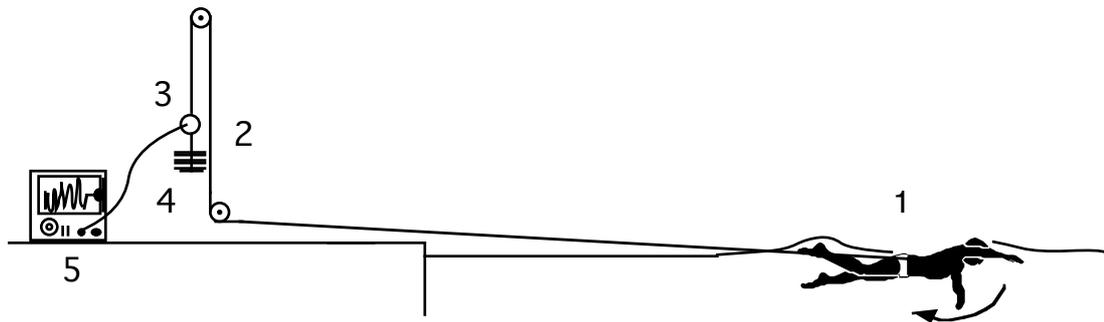


Figura 3.7.: Sistema utilizado por Magel (1970) para la medición de la fuerza propulsiva a velocidad cero. 1) Sujeto nadando a crol. 2) Poleas que sujetan al nadador con el sistema. 3) Dinamómetro analógico. 4) Pesas que mantienen al nadador sin desplazarse. 5) Amplificador y polígrafo.

TABLA 3.2
COMPARACION DE LA FUERZA PROPULSIVA MEDIA EJERCIDA POR NADADORES ENTRENADOS A VELOCIDAD CERO EN LOS DISTINTOS ESTILOS DE NATACION

Estilo	Fuerza en 20 s * (Kg)	Fuerza en 60 s* (Kg)	Fuerza en 180 s ** (Kg)
Crol	13,4 (12,1 - 14,6) n=5	10,3 (9,8 - 10,7) n=5	7,8 (6,6 - 9,1) n=11
Mariposa	13,1 (--) n=1	9,9 (--) n=1	8,0 (7,9 - 8,2) n=4
Espalda	14,1 (12,5 - 15,5) n=2	10,8 (9,5 - 12,1) n=2	8,6 (8,5 - 9,0) n=5
Braza	20,9 (18,1 - 22,7) n=3	16,0 (14,1 - 17,3) n=3	10,8 (9,1 - 11,7) n=6

* Datos citados por Magel (1970) y obtenidos por Mosterd y Jongbloed (1964)

** Datos obtenidos por Magel (1970)

La fuerza decrecía a lo largo de los dos minutos. La fuerza aplicada por el brazo del lado de respiración fue mayor que la del otro (respiraron por el lado izquierdo). El tiempo de duración del ciclo aumentó a lo largo de los dos minutos, especialmente en la fase de entrada. En esta fase era también donde más diferencias se encontraban entre los dos brazos del sujeto. La duración del ciclo de brazada, aumentaba a lo largo de los cuatro períodos de control, 13.4% y 14.5% respectivamente cada día en un sujeto y un 8.1% en los dos días en el otro sujeto. La conclusión de esta investigación dentro de sus limitaciones (sólo se analizaron dos sujetos) es que en un esfuerzo máximo de dos minutos a velocidad cero el tiempo que dura el ciclo de brazada aumenta a lo largo del tiempo de esfuerzo, disminuyendo la fuerza aplicada.

Wankow (1972) cita los trabajos de otros autores sobre la fuerza propulsiva obtenida en natación estática resumidos en las tablas 3.3 y 3.4. (debe tenerse la precaución, al observar los datos, de que no conocemos el protocolo de medición, por lo que los valores sólo se pueden comparar entre sí). En la tabla 3.3 podemos ver como los nadadores de clase superior tienen unos valores de fuerza mayores que los de inferior clase y en la tabla 3.4 los nadadores masculinos obtienen más fuerza que los femeninos. En cualquiera de los dos casos, el nado estilo completo produce más fuerza que el de sólo brazos y que el sólo piernas. El autor realizó el siguiente comentario en su artículo: "la fuerza medida durante la tracción estática, al nadar sólo con los brazos no ofrece, sin embargo, un cuadro completo, de la fuerza de la brazada del nadador, porque durante dichos movimientos también el mismo nadador se mueve hacia delante en la natación libre. Por esta razón los valores de fuerza de brazada indicados en las tablas, no pueden alcanzarse durante el nado. A primera vista, la fuerza del movimiento de la brazada parece proporcional al peso corporal del nadador".

Onoprienco y Bartaszuk (1973) por medio de un dinamómetro registraron la fuerza propulsiva y obtuvieron un índice de fuerza relativa (relación entre fuerza propulsiva y peso corporal) cuyos valores se pueden ver en la tabla 3.5. El peso específico se valoró por medio de un dinamómetro utilizando la fórmula de K. Chanin y R. Changovets (citados en el artículo):

$$Peso\ Específico = \frac{P (Kg)}{P(Kg) - P. A. (Kg) + V (l)} \quad (3.1)$$

Dónde P es el peso corporal, P.A. es el peso corporal en el agua y V es el volumen de aire de los pulmones. Encontraron una correlación significativa entre la fuerza de los movimientos natatorios y la velocidad en 50 metros ($r = 0,858$) y que el peso específico aumentaba al aumentar la fuerza relativa correspondiendo a un incremento de 0,01 Kg. de fuerza propulsiva un aumento de 0.0034 g./cm³ en el peso específico.

TABLA 3.3
INDICES DE FUERZA DESARROLLADA EN EL ESTILO CROL
OBTENIDOS POR ABSALIAMOV *

Nivel de los Nadadores	II Clase	I Clase	Clase Extra
Fuerza Estilo Completo	12,6	16,3	19,7
Fuerza sólo Brazos	9,8	12,7	13,9
Fuerza sólo Piernas	6,9	8,25	10,5

* Citado en Wankow (1972)

TABLA 3.4
INDICES DE FUERZA DESARROLLADA EN EL ESTILO CROL
OBTENIDOS POR BELOKOWKY Y GORDON **

	Hombres (Kg)	Mujeres (Kg)
Fuerza Estilo Completo	28,0	14,0
Fuerza sólo Brazos	20,1	12,8
Fuerza sólo Piernas	14,8	8,5

**Citado en Wankow (1972)

TABLA 3.5
VALORES DE FUERZA RELATIVA DE
NADADORES SOVIETICOS

Categoría Deportiva	n	Fuerza Relativa (\bar{x})	d.t.	Peso Específico	d.t.
Maestros del Deporte	14	0,223	0,018	1,0850	0,0047
Candidatos a MD	23	0,209	0,021	1,0807	0,0048
1ª Categoría	38	0,194	0,016	1,0734	0,0051
2ª Categoría	34	0,162	0,028	1,0685	0,0063

Esta situación es contraria a la idea generalizada de que la flotabilidad es la cualidad predominante en la selección de nadadores. Concluyendo los autores: "Una buena

flotabilidad del cuerpo es indiscutiblemente una cualidad positiva para el nadador. Dicha cualidad sobre todo favorece el aprendizaje en las primeras etapas. Se ha demostrado que una buena flotabilidad tiene una importancia singular en deportistas cuya velocidad de nado es baja. Gracias al alto grado de flotabilidad el cuerpo se mantiene sobre el agua, disminuye su superficie mojada y por tanto la fricción. Sin embargo, hay que tener en cuenta que junto con el incremento de la velocidad, aumenta la capacidad hidrodinámica de flotabilidad disminuyendo la influencia de las relaciones descritas anteriormente. Por eso, el papel principal en el incremento de la velocidad natatoria lo juegan las cualidades físicas, como la fuerza, que garantizan una fuerte y fluida brazada".

Abramson (1973) en una serie de artículos dedicados al análisis de la natación desde el punto de vista de la ciencia y la ingeniería recomienda el uso de un dinamómetro que por medio de un cable sujeto a la cintura del nadador mide la fuerza del nadador a velocidad cero, en estilo completo, sólo brazos y sólo piernas. Estas mediciones, según el autor, deberían utilizarse como guías para el trabajo de fortalecimiento en seco, utilizando el deportista cargas ligeramente superiores a las obtenidas en las observaciones.

Boicev y Tzvetkov (1975) en un trabajo en el que desarrollaron diversos métodos para evaluar al nadador tanto técnica como fisiológicamente, muestran en uno de sus ejemplos registros de fuerza a velocidad cero en el estilo mariposa, comparándola con la registrada en un aparato fuera del agua diseñado al efecto. El aparato hacía deslizar el cuerpo del nadador en unos railes inclinados al realizar la tracción.

Craig y Boomer (1980) midieron la velocidad máxima en nado libre (V), la fuerza desarrollada a velocidad cero (F) y las velocidades (V_w) que obtenían cuando el sujeto era frenado por distintas cargas (D). Todos los registros se realizaron en esfuerzos de 5 - 6 s. El grupo estaba compuesto por 12 hombres y 26 mujeres de nivel nacional (EE.UU.) y otros 9 hombres y 9 mujeres de nivel universitario. En las mediciones de nado parcialmente libre, la velocidad aumentaba a medida que las cargas disminuían, siendo la relación descrita por la ecuación $V_w = A(D) + B$. La velocidad calculada cuando $D = 0$ estuvo relacionada con la V . La carga (D) calculada cuando $V = 0$ correlacionaba con F . Gracias a la relación entre V_w y D se pudo calcular teóricamente la máxima capacidad de trabajo contra una carga externa. Esta capacidad máxima correlacionó con V y fue un 30% menor en las mujeres. Sin embargo, la velocidad máxima fue sólo un 10% menor en las mujeres que en los hombres. Esta aparente discrepancia es explicada por la observación de que las mujeres obtienen un mayor incremento en la V , a medida que D disminuía, mientras que en los hombres esto no ocurrió así. El factor A fue mayor para el grupo femenino. Este último resultado probablemente refleja las observaciones de otros estudios, en los cuales se demuestra que el consumo de oxígeno de la natación es menor en las mujeres que en los hombres.

Monpetit (1981) hizo un completo análisis de la utilidad y metodología del registro de fuerza en el agua. ¿Cuáles son las razones para medir esta fuerza? a) evaluar la condición física y la eficacia de los programas de entrenamiento; b) poder predecir el sobreentrenamiento; c) proporcionar una meta de mejora a los nadadores; d) objetivar el conocimiento por parte del nadador de su estado de forma. La metodología aplicada fue el test estandarizado de máxima fuerza propuesto por Caldwell para pruebas isométricas máximas, en el cual después de una fase de puesta en marcha de no más de dos segundos se intenta que el sujeto mantenga la máxima fuerza al menos tres segundos. El cable debe estar perpendicular a la pared. En el caso de la capacidad anaérobica se registra la fuerza media propulsiva durante 40 s a unas frecuencias de movimiento controladas. En el caso de la resistencia muscular se mide la fuerza durante tres minutos, estableciéndose un índice de fatiga fuerza vs. tiempo. ¿Qué tiene que ver la fuerza propulsiva medida así con el resultado en competición? La propulsión depende de la fuerza y de la técnica y se ha observado que existe un alto nivel de correlación entre la fuerza propulsiva máxima y los resultados en pruebas de velocidad. Sin embargo, en pruebas de 400 - 1500 m., esta correlación no existió. El estilo de menor fuerza propulsiva es la espalda. Técnicamente no se encontraron diferencias entre la natación atada o en movimiento, aunque las cargas a soportar por las extremidades superiores fueron mayores durante la natación dinámica. Diferentemente a otros autores encontraron que en nadadores de élite, las diferencias entre la braza y el crol en la fuerza propulsiva máxima a velocidad cero no eran significativas. El nadador al realizar los tests fue sujeto a un cable en crol y espalda, añadiéndole al mismo un muelle rígido en braza y mariposa con el fin de evitar las sacudidas que realizaba el nadador debido a la discontinuidad en la aplicación de las fuerzas de estos estilos. El autor citando a Yensen y Tihaniyi (1978) se plantea la cuestión de que si la técnica usada en natación estática es similar a la usada en natación libre, dichos autores encontraron que las dos condiciones no eran marcadamente diferentes, sin embargo las fuerzas aplicadas por las extremidades superiores fueron mucho más grandes en natación a velocidad cero que en nado libre. (Ver resultados obtenidos en este estudio en las tablas 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10).

TABLA 3.6
MEDIAS DE FUERZA PROPULSIVA EN NADADORES DE ELITE
HOMBRES

Estilo	Completo (N)	% Brazos	% Piernas
Crol (n=20)	191	83	66
Espalda (n=15)	165	80	66
Braza (n=16)	206	70	70
Mariposa (n=10)	171	83	80

TABLA 3.7
MEDIAS DE FUERZA PROPULSIVA EN NADADORES DE ELITE
MUJERES

Estilo	Completo (N)	% Brazos	% Piernas
Crol (n=20)	143	85	74
Espalda (n=15)	128	77	73
Braza (n=16)	144	72	74
Mariposa (n=10)	129	82	80

TABLA 3.8
MEDIAS DE FUERZA PROPULSIVA EN NADADORES DE
GRUPOS DE EDAD - ESTILO CROL (MASCULINOS)

Edad	Fuerza (N) \pm d.t.
11	99 \pm 10,8
12	116 \pm 9,8
13	147 \pm 45
14	162 \pm 18
15	189 \pm 27

TABLA 3.9
CORRELACION ENTRE FUERZA PROPULSIVA A VELOCIDAD CERO
Y RESULTADOS EN COMPETICION EN NADADORES DE ELITE

	100 Libres	400 Libres	1500 Libres	100 Espalda	100 Mariposa	100 Braza
Estilo Completo	-0,78	n.s.	n.s.	-0,62	-0,82	-0,85
Sólo Brazos	-0,61	n.s.	n.s.	-0,47	-0,79	-0,55
Sólo Piernas	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0,69	-0,81

TABLA 3.10
CORRELACION ENTRE FUERZA PROPULSIVA A VELOCIDAD CERO
Y RESULTADOS EN COMPETICION ESTILO CROL (NADO LIBRE⁵)

Edad	50 m	100 m	200 m
13	-0,65	-0,68	-0,54
16	-0,61	-0,50	-0,35
Elite	-0,78	-0,77	-0,75

⁵ En competiciones el estilo crol no existe reglamentariamente, ya que la prueba se denomina "nado libre", es decir, el nadador puede utilizar cualquier técnica de nado. Al ser el estilo crol el más rápido, éste es el que se utiliza siempre en estas pruebas.

Yeater, Martin, White y Gilson (1981) midieron la fuerza propulsiva a velocidad cero en los estilos crol, espalda y braza, aislando la acción de los brazos y piernas en crol y braza. Así mismo, trataron de encontrar una relación entre esas fuerzas y las velocidades de competición. Utilizaron 18 nadadores (todos hombres) participantes en competiciones universitarias catalogados como velocistas (n=7), mediofondistas (n=4) y fondistas (n=3). El registro de fuerza se realizaba sujetando al nadador a un cable (ver figura 3.8) y ejecutando seis ciclos en crol y espalda y cinco en braza a la máxima intensidad. Se midió la fuerza máxima por ciclo y la fuerza media. Se registró la fuerza en distintas condiciones de frecuencia de ciclo con el fin de relacionar estas variables. Se evaluaron los tiempos en competición de 100 yardas libres, espalda, braza y 500 yardas libres. Igualmente se realizaron diversas medidas antropométricas (ver resultados en tabla 3.11). Existió una considerable variación en los registros de fuerza entre los nadadores en cada estilo, siendo estas variaciones reflejadas en los relativamente altos valores de las desviaciones típicas. Los valores de fuerza máxima por ciclo en braza fueron los más altos, aunque la media fue similar al crol. El estilo espalda fue el que con un valor significativamente menor de fuerza a velocidad cero. Un resultado ciertamente sorprendente fue que la media de fuerza en pies de crol fue mayor que en brazos de crol. Se encontró una alta correlación entre la media de fuerza propulsiva y la velocidad de competición en crol, especialmente en nadadores fondistas. Se obtuvo correlación negativa entre la velocidad del crol y la relación fuerza máxima y fuerza media. Los datos sugieren también que la acción de los pies contribuye significativamente en crol y braza. En ningún caso el estilo completo produce tanta fuerza como la suma de los brazos y piernas. Al analizar la relación entre frecuencia de brazada con la fuerza propulsiva a velocidad cero, se encontró que existía una frecuencia óptima a partir de la cual la fuerza declina. Se encontró para estos nadadores que la frecuencia óptima oscilaba entre 0,8 y 0,9 cic/s. Los mejores nadadores tenían significativamente más fuerza que los peores nadadores en crol y braza. Los autores indicaron que el registro de fuerza propulsiva a velocidad cero ofrece la posibilidad al entrenador de utilizar medios para predecir el resultado en competición y diagnosticar problemas en la técnica, siempre teniendo en cuenta que la fuerza propulsiva a velocidad cero no es la misma que la aplicada en nado libre.

Martin, Yeater y White (1981) desarrollaron un modelo analítico del crol. El nadador se representó por un torso con brazos rotando como una rueda de palas en el agua. El modelo a partir de los datos de estudios previos relativos a la resistencia y anatomía humana se ajustó a la situación del nadador desplazándose libremente, a la del nadador atado en velocidad cero y a la del nadador atado nadando a velocidades inferiores a la de nado. La fuerza aplicada estáticamente es mucho mayor a la aplicada en natación a velocidad de nado libre. La fuerza propulsiva del modelo en natación libre es casi igual a la fuerza aplicada al nadar atado a $2/3$ de la velocidad de natación libre.

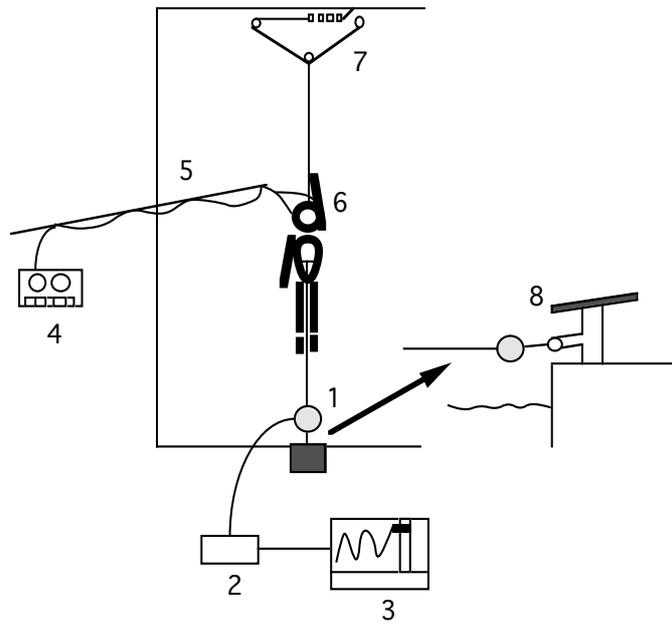


Figura 3.8.: Sistema utilizado por Yeater y col. (1981) para la medición de la fuerza propulsiva a velocidad cero. 1) Dinamómetro y cable de acero. 2) Amplificador. 3) Polígrafo. 4) Magnetófono 5) Pértiga para mantener el cable sin que moleste al nadador. 6) Auriculares. 7) Sistema para el ajuste de tensión a 50 N. 8) Detalle de la sujeción del dinamómetro.

TABLA 3.11
COMPARACION DE LA FUERZA PROPULSIVA A VELOCIDAD CERO
ENTRE ESTILOS Y VARIACIONES TECNICAS

Edad	Estilo completo (N)	Brazos (N)	Piernas (N)
Crol	191,41 ± 41* (n=18)	97 ± 23 (n=18)	119 ± 35 (n=16)
Fuerza Máx.	384 ± 77		
Braza	188 ± 51 (n=15)	126 ± 38 (n=18)	138 ± 47 (n=16)
Fuerza Máx.	693 ± 231		
Espalda	156 ± 43 (n=15)		

* Desviación Típica

Yancher, Larsen y Baer (1984) utilizaron la metodología del registro de fuerza propulsiva a velocidad cero al diseñar un ingenioso sistema para conocer el tiempo de recuperación necesaria para esfuerzos típicos del entrenamiento de velocidad en natación (entre 8 y 15 s). Conocida la fuerza media durante este tiempo se utilizan distintos intervalos de recuperación con el fin de conocer con cual de ellos se consigue que el nadador alcance los niveles de fuerza media de la prueba inicial.

Adams, Martin, Yeater y Gilson (1983) evaluaron las interrelaciones entre la fuerza propulsiva a velocidad cero, a velocidad inferior a la de nado, la velocidad de nado y la frecuencia de ciclo en crol, utilizando como sujetos experimentales nueve hombres y nueve mujeres y el mismo sistema de registro usado por Yeater y col. (1981). Encontraron que la fuerza propulsiva a velocidad cero y la velocidad de nado tenían una relación lineal con la frecuencia de ciclo, hasta que se llegaba a un valor individual crítico. No se encontraron diferencias significativas entre sexos en fuerza propulsiva a velocidad cero y velocidad de nado. Los gráficos individuales proporcionan un método práctico para determinar la frecuencia de ciclo ideal y las pruebas para las que el sujeto puede estar más adaptado. Se observó que las mujeres tenían una mayor capacidad que los hombres para elegir una frecuencia de ciclo que produzca más fuerza propulsiva a velocidad cero o velocidad de nado. No se encontraron relaciones entre la fuerza propulsiva a velocidad cero y la velocidad de nado, explicándose las causas por: 1) utilizarse una muestra muy reducida; 2) producirse variaciones en la mecánica del estilo; 3) las componentes de la fuerza propulsiva (fuerza de elevación y fuerza de arrastre) están en función de la velocidad, la cual es diferente en fuerza propulsiva a velocidad cero, 4) hay variaciones en la frecuencia. Por tanto la fuerza propulsiva a velocidad cero y fuerza propulsiva a velocidad inferior a la de nado servirán fundamentalmente para determinar la efectividad del programa de entrenamiento de fuerza utilizado con los nadadores.

Gullstrand y Holmer (1983) analizaron por medio de una batería de tests fisiológicos la evolución de los nadadores del equipo nacional de Suecia de natación en el período comprendido entre el año 1977 y el 1981. Entre los tests utilizados registraron la fuerza propulsiva a velocidad cero por medio de un dinamómetro sujeto al nadador por un cable. Se midió la fuerza estilo completo, sólo piernas y sólo brazos. El tiempo de esfuerzo fue de 10 s realizados a la máxima intensidad. Así mismo, se midió la fuerza propulsiva a una velocidad de fluido fija (1,1 m/s en mujeres y 1,2 m/s en hombres) en el "swimming flume"⁶. Los resultados mostraron un incremento en la fuerza en este período del 25% en el estilo completo, un 30% en sólo brazos, un 50% en sólo brazos contra el agua a una velocidad de 1,2 m/s y un 25% en sólo piernas en el grupo de hombres. En el caso de las mujeres los incrementos fueron similares pero un 10% más bajos en cada test, a excepción del registro

⁶Denominación anglosajona de una pequeña piscina equipada con un motor para mover el agua a determinadas velocidades. Su utilización se asemeja a la de un cicloergómetro, comunmente usado en los laboratorios de fisiología.

sólo piernas en que no hubo mejoras. Se observaron mejoras dentro de la temporada pero, coincidiendo con los momentos de puesta a punto⁷, la fuerza declinaba, mientras que los valores de lactato obtenidos en otro tipo de evaluaciones fisiológicas aumentaban. Se observó que la variación del máximo consumo de oxígeno durante este período prácticamente no existió, a pesar de que en este período se mejoraron de forma muy rápida los records suecos de natación. Los autores concluyen que los resultados en el registro de fuerza a velocidad cero indican claramente que el incremento en la fuerza al nadar es uno de los factores más importante en la mejora en los tiempos de competición conseguidos en este período. Esto ha sido, posiblemente, resultado de un aumento en la utilización de diferentes entrenamientos de fuerza, utilización de nuevos aparatos y un aumento en general del volumen de entrenamiento de fuerza. El descenso de la fuerza durante la puesta a punto es resultado de la forma habitual de realizarla en natación. En la mayor parte de los casos el nadador deja el entrenamiento de fuerza totalmente cuatro o cinco semanas antes de los campeonatos, recomendándose que esto no ocurra hasta 10 ó 14 días antes de la competición.

Platonov (1988)⁸ describe los sistemas utilizados en la U.R.S.S. para la evaluación de la fuerza específica máxima en natación. De forma general se utilizaron dos procedimientos de registro de la fuerza propulsiva a velocidad cero: estando el nadador sujeto por un sistema elástico o por un sistema no elástico. En el primer caso, y teniendo en cuenta el papel amortiguador del sistema elástico, nadaba sujeto al aparato durante un tiempo de 10 a 12 s obteniéndose el valor de fuerza entre el segundo 5 y 8, lo que se considerará fuerza máxima. En el segundo se registra la fuerza aplicada en cada momento de la fase propulsiva, y las diferencias posibles entre brazos en cantidad y forma. Según el autor, estas gráficas se pueden relacionar con los valores de velocidad de desplazamiento en nado libre registrados por un nadador en cada una de las fases, realizándose un estudio muy completo de la situación técnica del nadador. Los procedimientos utilizados para evaluar la fuerza resistencia específica, utilizando un sistema de registro elástico, fueron tres: a) registrar durante 30 a 35 s a intensidad máxima; se calcula la diferencia entre el segundo 30 y el valor de fuerza máxima registrado; b) registrar durante un tiempo, que depende de la ejecución del ejercicio, a una intensidad submáxima, se le fija la intensidad previamente (50-70% de la fuerza máxima), una señal advierte al nadador si varía más de un 5% del objetivo previsto. La variable medida es la duración en la que el nadador puede soportar este esfuerzo. c) El nadador es arrastrado a una velocidad constante (p.ej.: 0,5 m/s), durante 40 s, sin tener en cuenta los primeros 5 m se registra la fuerza aplicada en los primeros 5 s (fuerza máxima del test) y los últimos 5 s, calculándose la diferencia.

⁷ Período final del ciclo de entrenamiento anual que precede a las competiciones más importantes.

⁸ A pesar de que se sigue un orden cronológico, este autor se coloca aquí, ya que la aparición de su libro original en ruso se produjo en el año 1984.

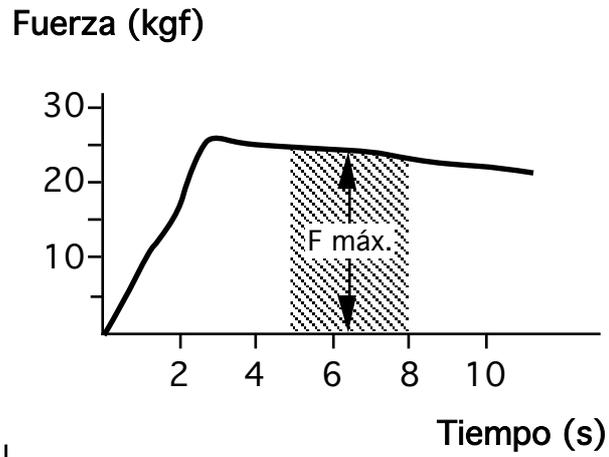


Figura.3.9.: Registro de fuerza propulsiva a velocidad cero (con sujeción elástica), utilizado por Platonov (1988) para medir la fuerza específica en natación.

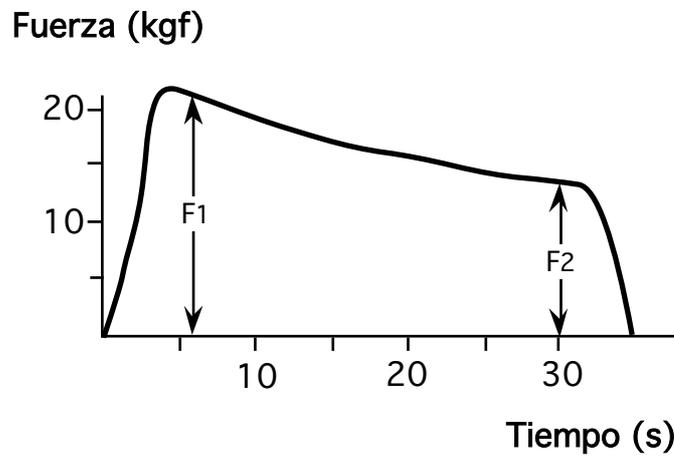


Figura.3.10.: Registro de fuerza propulsiva a velocidad cero (con sujeción elástica), utilizado por Platonov (1988) para medir la fuerza resistencia específica en natación.

Rasulbekov, Fomin, Chulkov y Chudovsky (1986) haciéndose la pregunta ¿es importante la fuerza explosiva en natación?, investigaron su influencia en la eficiencia técnica y su posible entrenabilidad. Utilizando el registro de fuerza a velocidad cero y otros tipos de mediciones con aparatos utilizados en laboratorio, observaron el tiempo mínimo en alcanzar el pico de fuerza máxima en un ciclo de movimiento de brazos, resultando un tiempo de 1-1,5 s medido en aparatos fuera del agua y 0,5-0,8 en el agua. Sin embargo el nadador, no llega realmente a comenzar a utilizar una gran fuerza en la tracción hasta pasados 0,3-0,4 s lo que tiene como efecto que la tracción ya ha terminado cuando pasa el tiempo necesario para aplicar la fuerza máxima. El autor propone una forma de trabajo en la que se busque no sólo un aumento en el pico de fuerza, sino que además el nadador aplique la fuerza cuanto antes, siendo la pendiente inicial de la curva mucho mayor. La curva del registro de fuerza pasaría de ser triangular a trapezoidal si el entrenamiento sigue las siguientes premisas: a) entrenamiento isométrico de la primera fase de la tracción (movimiento hacia abajo o agarre), realizando contracciones máximas de uno a dos segundos con 10-12 s de recuperación en series de 6 a 8 repeticiones; b) utilizando una variante del aparato isocinético, realizar 8 a 10 movimientos a máxima velocidad (con la máxima fuerza posible), simulando el movimiento de la natación; c) realizar sprints de 12,5 a 25 m en el agua con palas concentrándose en un agarre instantáneo; d) para aumentar la velocidad de contracción de los brazos al facilitarse la situación, realizar el nado con aletas; e) trabajo de técnica de forma analítica concentrándose en el concepto agarre instantáneo en distancias de 25 a 50 m. En la figura 3.4 se puede observar la variación en el registro de fuerza en una tracción de mariposa en un nadador en un período de un año de entrenamiento donde se utilizaron los procedimientos anteriores, obteniendo una mejora en su tiempo en 100 mariposa de 3,07 s (de 58,94 s a 55,87 s).

Ria, Van-Praagh y Falgairrette (1986) registraron la fuerza propulsiva del estilo crol durante esfuerzos de 8-10 s, tres veces con descansos de tres minutos, considerándose sólo el valor medio. Se utilizó el estilo completo, sólo pies, sólo brazos y sólo brazos utilizando palas de entrenamiento de 178 cm². El nadador se encontraba atado a una cuerda elástica de 12.5 m y 9 mm de diámetro. Se obtuvo: 1) la fuerza máxima propulsiva de pies de crol; 2) la fuerza máxima propulsiva de brazos de crol; 3) la fuerza máxima propulsiva del crol completo; 4) relación fuerza propulsiva partido por peso corporal y 5) a partir de los datos anteriores y utilizando la ecuación siguiente se calculó el coeficiente de coordinación:

$$\text{Coef. Coordinación} = \frac{FMP (NC)}{FMP (P) + FMP (B)} \quad (3.2)$$

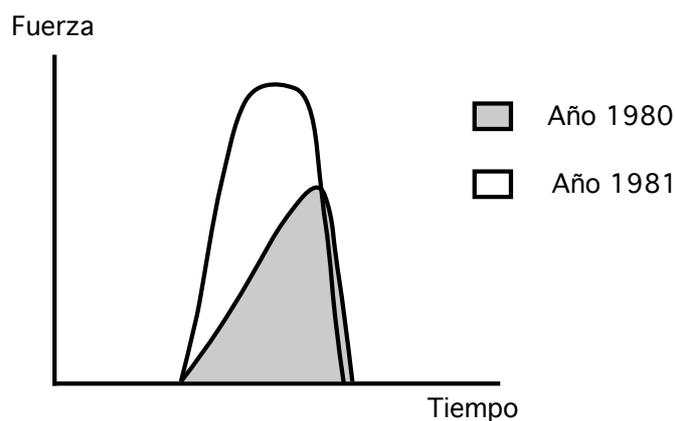


Figura 3.11.: Gráfica de los registros de fuerza de una tracción de mariposa antes y después de un año de entrenamiento según Rasulbekov y col. (1986)

TABLA 3.12
VALORES DE TIEMPO DE NADO Y FUERZA A VELOCIDAD CERO OBTENIDOS POR RIA Y COL. (1986)

	Suj.	Tiempo 25 m (s)	Sólo Piernas	Sólo Brazos	Sólo Br palas	Nado Compl.	Nado C. Palas	FMP/ P. g/Kg	Coef. Coord.
Chicas (11-14 años)	6	15,2 (1,9)*	3,5** (0,8)	5,4 (1,3)	5,6 (1,3)	6,5 (1,9)	6,72 (1,87)	0,153	0,729 (0,08)
Chicos (13-14 años)	4	13,8 (0,96)	3,9 (0,85)	6 (1,4)	6,3 (1,5)	7,25 (1,16)	7,26 (1,16)	0,164 (0,15)	0,723

*Desviación Típica

** Expresado en Kg

TABLA 3.13
COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LAS DISTINTAS PRUEBAS ANALIZADAS POR RIA Y COL. (1986)

	Tiempo 25 (m)	FMP (NC)	Coef. Coord.
FMP (NC)	- 0,88 *		
FMP (NC) relat.	- 0,79 *		
FMP (B)	- 0,83 *	0,94 *	0,24
FMP (P)	- 0,705 *	0,88 *	- 0,59

* $p < 0,05$

Así mismo se midieron parámetros antropométricos y el tiempo realizado en una distancia de 25 m (ver resultados en tabla 3.12), encontrándose una alta correlación entre la velocidad de nado en esta distancia, la fuerza máxima propulsiva a velocidad cero y el porcentaje de masa magra ($r = 0,82$ $p < 0,01$). La fuerza propulsiva a velocidad cero en estilo completo y sólo brazos es mayor en los chicos que en las chicas, no existiendo diferencias en la acción sólo brazos. La fuerza propulsiva de los brazos es el doble que la de las piernas. La fuerza propulsiva ganada gracias a la acción propulsiva con palas es sólo un 3,6 % mayor que sin su utilización. La fuerza máxima propulsiva relativa no aporta elementos nuevos a las correlaciones, sólo las confirma. El coeficiente de coordinación correlacionó particularmente con el tiempo en 25 m en el caso de las chicas cuyo valor es $r = 0,90$, $p < 0,05$. En conclusión el autor afirma que la fuerza propulsiva a velocidad cero es representativa del potencial anaeróbico del velocista.

Cabri, Annemans, Clarys, Bollen y Publie (1988) realizaron un estudio donde se intentaron relacionar la frecuencia de ciclo, la fuerza registrada a velocidad cero y el registro de EMG de los músculos que principalmente participan en la propulsión. Trece sujetos participaron en los experimentos, siendo los músculos en los que se registró el EMG los siguientes: tríceps braquial (porción larga), pectoral mayor, flexor largo de los dedos, dorsal ancho, recto femoral y gemelos (porción lateral externa). Se registró simultáneamente la fuerza propulsiva y el EMG de los músculos citados en tres condiciones de frecuencia de ciclo: 100%, 85% y 75%. El 100% se obtuvo de la medición de la frecuencia en un "sprint" de 15 m. También se realizaron registros utilizando sólo los brazos y sólo las piernas. Los resultados mostraron que los máximos niveles de fuerza se obtuvieron en la frecuencia del 100%. (10,75 Kg al 70%, 12,06 Kg al 85% y 13,3 al 100% $p < 0,01$). Al relacionar actividad muscular con la frecuencia se observó que en el pectoral mayor y el recto femoral, el aumento de la frecuencia significaba también un aumento de la relación intensidad actividad muscular/fuerza a velocidad cero, siendo 2,24 al 70%, 2,492 al 85% y 2,884 al 100% ($p < 0,01$) en el pectoral mayor, y 2,23 al 70%, 2,602 al 85% y 2,786 al 100% en el recto femoral. Esto podría implicar una pérdida de eficacia, ya que como se puede observar la frecuencia menor (70%) parece ser más eficiente en términos de producción de fuerza, probablemente porque existe más tiempo para realizar la tracción completa. Pero el hecho de que mayores frecuencias tienen que superar más resistencia implica que para las diferentes velocidades estudiadas, se obtendrá una mejora en los resultados deportivos en pruebas cortas y largas. A pesar de que en las frecuencias más altas se obtenía mayor intensidad en la actividad muscular, no se encontró una correlación significativa entre intensidad de actividad muscular y fuerza propulsiva a velocidad cero. Esto puede ser debido al crecimiento no lineal de la actividad muscular al aumentar la carga, aumentando la fuerza de forma lineal al aumentar las frecuencias. Los resultados dan a entender que con el incremento de la fuerza, es necesaria más actividad muscular para producir la fuerza a altas velocidades de

contracción (frecuencias de ciclo). Esto sugiere la eficacia del entrenamiento de fuerza usando una alta frecuencia de ciclo con diferentes duraciones.

Christensen y Smith (1987) realizaron un estudio para observar la posible relación entre la fuerza propulsiva máxima a velocidad cero (FPMV0) y la velocidad (VMAX) en 25 yardas saliendo desde el agua. Utilizaron 39 nadadores (24 hombres y 15 mujeres) con edades comprendidas entre los 14 y 20 años. Utilizaron el procedimiento de Caldwell (ya citado anteriormente) para medir la fuerza propulsiva a velocidad cero, utilizando un cable para sujetar al nadador al dinamómetro. Se encontraron correlaciones significativas entre FPMV0 y VMAX en hombres ($r = -0,685$, $p < 0,005$) y mujeres ($r = -0,576$, $p < 0,01$). Los valores de fuerza medios fueron en hombres de 352,7 N ($d.t. = 56,04$) y en mujeres de 244,2 N ($d.t. = 35,58$). Las diferencias entre sexos fueron significativas tanto en FPMV0 ($t = 6,67$, $p < 0,001$) como en VMAX ($t = 8,62$, $p < 0,01$). Apoyándose en los resultados anteriores los autores concluyen que la correlación significativa encontrada en hombres y en mujeres sugiere que mientras no pueda establecerse una relación causa efecto, la evaluación de la MFPV0 podría ser usada para medir los cambios debidos al entrenamiento. Las diferencias encontradas entre sexos pueden ser explicadas porque los hombres tienden a tener más masa muscular, y por tanto más fuerza que las mujeres de edad similar. Los resultados sugieren que este tipo de valoración de la fuerza puede ser más eficaz que utilizando el banco biocinético, ya que se miden las fuerzas al nadar con brazos y piernas, mientras que con este aparato sólo se mide la fuerza aplicada con los brazos. También permite medir separadamente la fuerza de brazos y piernas. Además este sistema podría ser utilizado para medir la fatiga o el sobreentrenamiento en nadadores durante los períodos de preparación. Así mismo, podría ser usado para motivar o proporcionar variedad en el programa de entrenamiento.

Martin (1989) en una revisión general de la problemática de la biomecánica de la natación, analiza la situación de la medición experimental de la fuerza propulsiva. El descuidar el equilibrio entre las fuerzas sustentación y arrastre que producen la fuerza propulsiva y que ésta, varía claramente en función de la velocidad del nadador, tal como lo es la resistencia que encuentra al avanzar, ha causado algunos problemas al investigador ya que una de las formas más habituales para el estudio de la fuerza propulsiva ha sido sujetar al nadador a un cable y éste a un dinamómetro, registrando la fuerza de esta manera. Estos registros son de considerable valor para comparar los estilos entre sí y los deportistas individualmente, pero la fuerza propulsiva no es la misma nadando a velocidad cero que a velocidad real. La fuerza propulsiva varía en función de la velocidad de la mano y otros segmentos del nadador en relación al agua, y esta decrece a medida que la velocidad del cuerpo del nadador aumenta. Si la fuerza que sujeta al nadador disminuye (sistemas en que al nadador se le frena su avance por cargas conocidas) este nada cada vez más rápido, siendo ésta una relación lineal. El problema está en que la fuerza propulsiva en natación libre no puede ser encontrada en el gráfico; no es la fuerza propulsiva a velocidad cero, ya que no es

la fuerza a velocidad normal de nado (siendo la carga de frenado igual cero). Esta situación crea un rompecabezas similar al del estudio de la resistencia activa. El problema de la medición de la fuerza propulsiva a velocidad de nado no ha sido resuelto todavía y sólo aproximaciones analíticas han sido llevadas a cabo. Si bien la medida de la fuerza propulsiva a velocidad cero no representa la fuerza propulsiva del nadador libre, es posible que tales medidas puedan correlacionar con la velocidad de nado o los resultados en competición, esta correlación puede ser significativa e incluso útil, pero no es lo suficientemente fuerte como para ser selectiva. Se sabe también que multitud de entrenadores utilizan el nado estático (normalmente sujeto el nadador por una cuerda elástica), como una forma de entrenamiento. El conseguir llegar más lejos en la piscina estirando el elástico es esencialmente una medida de la fuerza propulsiva. Dado el conocimiento de la dependencia de la fuerza propulsiva a velocidad cero y la resistencia activa con la velocidad del nadador, parece claro que mientras este ejercicio debería desarrollar la fuerza, puede no ofrecer la mejor situación para mejorar su técnica si tenemos en cuenta la hidrodinámica de la natación, incluso podría ayudar a que el nadador aprendiera hábitos técnicos inadecuados.

Keskinen, Tilli y Komi (1989) estudiaron las características biomecánicas de los ciclos motrices durante la realización de sprints, las posibles relaciones entre variables antropométricas y las características biomecánicas anteriores, y la relación entre fuerza máxima propulsiva a velocidad cero y la velocidad de nado en sprint. Los sujetos utilizados fueron 33 hombres competidores en estilo crol ($\bar{x} = 59.56 \text{ s} \pm 4.97 \text{ d.t.}; 52,66 - 68,00 \text{ s}$). El registro de fuerza se realizó por medio de un dinamómetro, estando el nadador sujeto a él por medio de una cuerda elástica. El sujeto tensaba la cuerda nadando suavemente, dándole una señal para empezar a nadar aplicando la mayor fuerza posible. El valor máximo de fuerza (N), que solía conseguirse entre los 5 y 10 s después de oír la señal fue llamado fuerza máxima en natación (FM). Durante este registro se midió también la frecuencia de ciclo (FCFM). El sistema de registro había sido calibrado anteriormente colgando del dinamómetro pesas (5, 10, 15 y 20 kg). La velocidad máxima (VM) en nado libre (estilo crol) se obtuvo en 10 m lanzados, así como las otras variables frecuencia de ciclo (FC), longitud de ciclo (LC), etc. Los resultados de las medidas se pueden observar en las tablas 3.14 y 3.15. En cuanto a las correlaciones, se obtuvo un alto valor entre VM y FM ($r = 0,86; p < 0,001$). Así mismo, la longitud de ciclo y el índice de ciclo ($LC \cdot VM$) correlacionaron significativamente ($p < 0,001$) con la FM ($r = 0,62$ y $r = 0,784$ respectivamente). La FC no correlacionó con VM en el nado libre y la FCFM no correlacionó con FM. El índice de ciclo y FM correlacionaron positivamente con todas las variables antropométricas. Los presentes resultados demuestran una relación no lineal positiva entre VM, LC y FM. Los resultados sugieren que una efectiva técnica propulsiva, la cual es fundamental para conseguir VM, podría ser obtenida como resultado de una LC lo mayor posible mientras la fuerza aplicada permanece cerca del máximo. Cuando la fuerza es medida a velocidad cero, la capacidad total de los segmentos propulsivos puede ser utilizada. Sin embargo, la fuerza

aplicada disminuye a medida que se incrementa la velocidad de nado. La posible explicación de ésto podría ser que a altas velocidades no es fácil producir valores altos de fuerza, y la relación fuerza-velocidad del músculo esquelético debe ser considerada en este contexto. El presente estudio apoya las siguientes conclusiones: a) La natación de distancias cortas a máxima velocidad MV se caracterizó por una positiva correlación con LC, mientras que no fue así con la FC; b) La longitud de las extremidades superiores correlacionó positivamente con buenos resultados en los tests realizados en el experimento; c) La FM correlacionó positivamente con VM y LC, demostrando la relación entre la producción de fuerza y la técnica eficaz.

Rohrs, Mayhew, Arabas y Shelton (1990) compararon siete formas diferentes de medir la capacidad anaeróbica en nadadores relacionándolas con la velocidad de nado en distintas distancias. Utilizaron 32 nadadores (13 hombres con una edad media de 20 años y 19 mujeres con una edad media de 19,4) a los que se les realizaron las siguientes mediciones: medidas antropométricas básicas, densidad corporal, porcentaje de grasa, velocidad en 22,86 m, en 45,72 m y en 91,44 m., salto vertical, test de Margaria-Kalamen, lanzamiento de balón medicinal desde sentado, test de Wingate, tracción simulando el movimiento subacuático del brazo en el banco biocinético, medición de la potencia en 30 s en el banco biocinético y un test de 30 s de fuerza propulsiva a velocidad cero utilizando una cuerda elástica, observándose la fuerza media y la fuerza máxima. Los valores obtenidos de fuerza propulsiva máxima en relación al peso corporal (fuerza/kg) fueron de 0,173 (d.t. = 0,038) en hombres y 0,130 (d.t. = 0,025) en mujeres. Con relación a la fuerza media los valores fueron de 0,138 (d.t. = 0,034) en hombres y 0,116 (d.t. = 0,022) en mujeres. Los valores de fuerza fueron significativamente diferentes entre hombres y mujeres. Los valores de fuerza media propulsiva a velocidad cero durante 30 s correlacionaron significativamente con los tres tests de natación sólo en el caso de las mujeres ($r = 0,62^*$, $r = 0,47^{**}$ y $r = 0,44^{**}$ respectivamente), el valor máximo sólo correlacionó con la distancia de 22,86 ($r = 0,56^*$) y sólo también en el grupo femenino. Los autores explican las diferencias en la correlación (no existentes en el grupo masculino) porque en ese momento el equipo de natación estaba involucrado en un programa de entrenamiento predominantemente aeróbico, lo que disminuyó la posibilidad de aplicar una gran fuerza en los tests, no afectando tanto esta situación al grupo femenino. A pesar de todo el test de fuerza media propulsiva a velocidad cero parece ser un mejor indicador de la velocidad de nado en el grupo de mujeres que en el de hombres.

* $p < 0,01$

** $p < 0,05$

TABLA 3.14
VALORES ANTROPOMETRICOS MEDIDOS POR KESKINEN Y COL. (1989)

	Edad (años)	Altura (cm)	Enverg. (cm)	Long.To t (cm)	Indice E:A	% Grasa	Peso (kg)
\bar{x}	17,89	176,9	182,8	243,6	1,033	6,35	66,9
d.t.	±3,69	±10,2	±12,79	±14,69	±0,022	±2,32	±13,17

TABLA 3.15
**VALORES DE VELOCIDAD DE NADO, FRECUENCIA Y LONGITUD DE CICLO, INDICE DE
 CICLO Y FUERZA MAXIMA PROPULSIVA A VELOCIDAD CERO OBTENIDOS POR KESKINEN
 Y COL. (1989)**

	Velocidad Máxima (m / s)	Frecuencia de Ciclo (Hz)	Longitud de Ciclo (m)	Indice de Ciclo (m ² / s)	Fuerza Máx. a Veloc.cero (N)	Frec. Cic. a Vel. Cero (Hz)
\bar{x}	1,755	1,004	1,763	3,110	144,4	1,069
d.t.	±0,132	±0,108	±0,226	±0,566	±34,5	±0,092

Estas diferencias, en su relación con la velocidad, entre sexos, no fueron encontradas en los otros tests. Una explicación podría encontrarse también en la homogeneidad del grupo femenino que en general eran mejores nadadores que el grupo masculino debido al sistema de selección llevado a cabo por la universidad a la que pertenecían en la que primaba el potencial del equipo femenino. Los autores advierten de la posible dependencia entre la utilización del test de fuerza y el grupo en concreto en el que se aplique.

Boulgakova (1990) publicó los resultados de las evaluaciones llevadas a cabo en la U.R.S.S. de un gran número de nadadores en edades comprendidas entre 11 y 18 años con el fin de conseguir definir objetivamente los criterios de selección de nadadores de élite. Realizaron multitud de mediciones antropométricas y de cualidades físicas generales y específicas. En el caso de la fuerza, se utilizaron varios tests diferentes y mediciones combinadas. Se dividían en dos grupos los tipos de mediciones de fuerza: fuera del agua y dentro del agua. Fuera del agua se midió: a) fuerza isométrica de los músculos más importantes de la tracción en una posición del cuerpo, tendido prono en un banco horizontal que permitía adoptar posiciones similares a las de la natación, siendo las posiciones de medida coincidentes con los momentos de inicio, mitad y final de la tracción; b) relacionar los datos anteriores con el peso corporal en porcentaje; c) medida de la fuerza-velocidad por medio de un aparato isocinético en 30 s; d) medición de la resistencia de fuerza con el mismo aparato en 3 minutos. Dentro del agua se registró la fuerza a velocidad cero con sujeción elástica en los siguientes tests: a) acción propulsiva de los brazos; b) acción propulsiva de las piernas; c) acción propulsiva completa; d) relación entre la fuerza máxima en brazos y los valores de fuerza isométrica fuera del agua en las tres posiciones; e) coeficiente de coordinación o relación entre fuerza propulsiva a velocidad cero de brazos y piernas y la fuerza aplicada con el estilo completo. La correlación entre las medidas fuera del agua de la fuerza isométrica y en el agua fue alta ($r=0,734$). Se observó que la fuerza propulsiva a velocidad cero, al igual que otros tests de fuerza, tenía una evolución a lo largo del período comprendido entre 11 y 18 años, similar a la del peso corporal.

TABLA 3.16
VALORES PROMEDIO DE FUERZA PROPULSIVA A VELOCIDAD CERO OBTENIDOS POR
BOULGAKOVA (1990)

Estilo	Brazos (kgf)	Piernas (kgf)	Estilo Completo (kgf)
Crol (100 m)	15 ± 1,8	12 ± 2,0	19 ± 1,9
Crol (1500 m)	11 ± 1,6	8 ± 1,5	15 ± 2,0
Espalda	14 ± 0,5	10 ± 0,7	16,5 ± 1,0
Mariposa	15 ± 0,9	11 ± 0,7	17,5 ± 0,6
Braza	8 ± 0,8	20 ± 0,6	21 ± 0,5
Estilos Individual	13 ± 0,4	12 ± 0,08	15,5 ± 0,3

TABLA 3.17
VALORES PORCENTUALES RELATIVOS A LA FUERZA PROPULSIVA A VELOCIDAD CERO
EN LA EDAD DE 18 AÑOS E INDICES DE
CRECIMIENTO ANUAL (BOULGAKOVA,1990)

Edad	11	12	13	14	15	16	17
%	47,4	55,3	65,6	77,4	90,5	92,6	98,7
Indice	7,9	10,3	11,8	13,1	2,1	6,1	1,3

3. 2. 2. Registro de la Fuerza Propulsiva a Velocidad Distinta de Cero

En este caso se trata de medir la fuerza mientras el nadador se desplaza en el agua a velocidades similares a las del nado libre o a velocidades menores, debido a los aparatos que frenan su desplazamiento. En cualquier caso, este tipo de registro se diferencia de la situación anterior en que el nadador no se desplazaba en absoluto. Los primeros autores que registraron la fuerza a velocidades inferiores a las de nado libre fueron Alley (1952) y Consilman (1955), que fueron citados en el apartado anterior, ya que también registraron la fuerza a velocidad cero, no repitiéndose los detalles de su investigación en este apartado. Al igual que en el apartado anterior la metodología de registro de fuerza era muy similar. Sin embargo, al nadar a velocidades distintas de cero los procedimientos utilizados son más variados diferenciándose fundamentalmente: la utilización de transductores de presión en manos y pies, el registro de fuerza estando el nadador sujeto a un aparato que sólo le permite desplazarse a una velocidad constante, calcular la fuerza suspendiendo pesos diferentes mediante un sistema de poleas, etc.

Miyashita (1971) diseñó un aparato para registrar simultáneamente, la fuerza propulsiva y la variación de velocidad de desplazamiento del nadador. Para la fuerza propulsiva utilizó un disco de plástico rodeado de una pieza metálica colocando en su parte posterior un transductor extensiométrico de sistema puente ("strain gauge"). Dichos discos estaban sujetos a las dos palmas de las manos. Un sistema de dos poleas colocadas a los lados de la piscina con un cable que las unía y con una cuerda sujeta a la cintura del nadador permitía medir las variaciones de velocidad (las poleas estaban agujereadas de manera que cuando un haz de luz pasaba a través del agujero cada 5 cm, una célula fotoeléctrica, originaba un cambio en el voltaje que era amplificado y transmitido a un registrador visual: visirecorder). En ese momento una película sensible registraba la señal. La película se desplazaba a 1 m por segundo. Ocho nadadores entrenados y uno desentrenado fueron los sujetos experimentales. Se les hizo nadar 100 m haciendo el menor tiempo posible con los aparatos colocados. La velocidad y la fuerza fueron registradas durante la distancia de 15 a 20 m en tres ciclos completos. La velocidad de natación varió cada ciclo de brazada, repitiéndose en ciclos de duración media de 1,6 s. La máxima velocidad se obtuvo cuando el brazo derecho está recobrando y el izquierdo está traccionando. La velocidad menor se observa cuando el brazo derecho tracciona y el izquierdo recobra. Aunque la variación de velocidad sigue un ciclo fijo, no existe una relación definitiva en todos los nadadores entre el momento de máxima velocidad y el movimiento de los brazos. La media más alta de velocidad la consiguió el mejor nadador japonés de 100 libras y la menor el nadador no entrenado. La cantidad de fluctuación de la velocidad varió entre 0.5 y 0.8 m./sg.

Belokovsky (1971) intentó clasificar diferentes tipos de presión contra la mano del nadador en el crol. La presión se midió por medio de transductores colocados en la palma, los cuales tenían membranas piezocerámicas fijadas en cajas metálicas sumergibles. Los 57 sujetos con el equipamiento colocado realizaron dos veces 25 m. El tiempo del ciclo de brazada era determinado por medio del registro obtenido. El registro simultáneo de ambos brazos permite observar la coordinación entre ellos. Los registros obtenidos de la fuerza permiten dividir los tipos de curvas de fuerza en tres grandes grupos: Exponenciales, trapezoidales y sinusoidales (ver figura 3.12). Se puede observar en todos los casos que la mayor fuerza propulsiva tiende a aplicarse al final del movimiento propulsivo.

Zaciorsky y Safarian (1972) define dos métodos para la medición de la fuerza propulsiva en natación en función de las investigaciones publicadas hasta ese momento: estático y en movimiento. Los valores obtenidos de fuerza por diversos autores citados oscilaron para la natación estática de 9,6 kp hasta 28,0 kp y en la natación en movimiento a velocidad máxima de 5,6 hasta 12-15 kp. Los autores afirmaron que es de suponer que el segundo método sea más ventajoso, porque el nadador durante la medición de la fuerza en movimiento está expuesto a unas condiciones parecidas a las que ofrece la natación natural. En un estudio bastante completo analizaron la resistencia hidrodinámica, la fuerza propulsiva en distintas condiciones, características antropométricas, fuerza dinamométrica en seco, los tiempos en 50 y 100 libres y las correspondientes correlaciones. El sistema utilizado para medir la fuerza fue similar al utilizado por Counsilman (1955). Encontraron una fuerza media a velocidad cero de 16,6 kp en nadadores de una media de edad de 18,5 años. Al diferenciar en subgrupos los nadadores, los nadadores de máxima categoría obtuvieron valores medios por encima de 21 kp, los nadadores de primera clase alrededor de 16 kp y los nadadores de segunda clase aproximadamente 14 kp. A una velocidad de 0,85 m/s la fuerza registrada fue de 10,16 kp, a 1,35 m/s de 8,51 y a 1,60 m/s de 8,27. La fuerza a velocidad cero relativa al peso corporal fue de 0,23. Los tiempos medios fueron en 50 m de 28,4 s y de 63,3 s en 100 m. En los nadadores de máxima categoría la fuerza propulsiva al nadar a 0,85 m/s se reducía un 35% con relación a la fuerza a velocidad cero, un 52% a 1,35 m/s y un 55% a 1,60 m/s. Encontraron valores de correlación altos entre la fuerza propulsiva y las velocidades en 50 y 100 m, aunque los valores eran ligeramente inferiores en la distancia más larga. Por ejemplo, en la distancia de 50 m la velocidad correlacionó con los siguientes valores: la fuerza a velocidad cero ($r=0,82$), la relación fuerza/peso ($r=0,88$), la fuerza total a 1,60 m/s ($r=0,92$). En los 100 m la velocidad correlacionó con: la fuerza a velocidad cero ($r=0,74$), la relación fuerza/peso ($r=0,86$) y la fuerza total a 1,60 m/s ($r=0,88$).

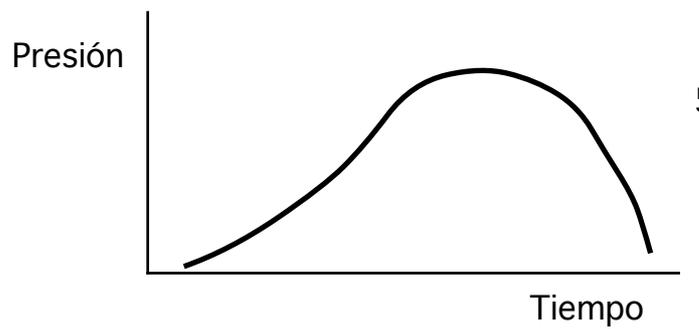
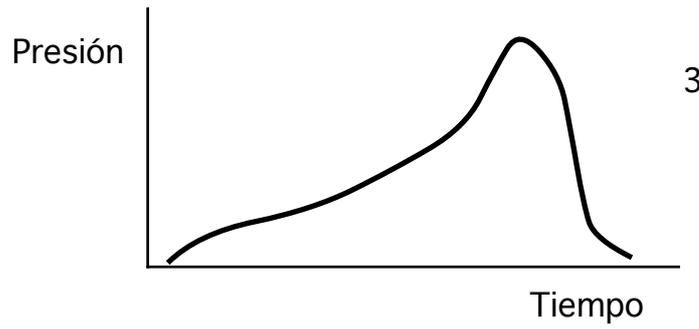
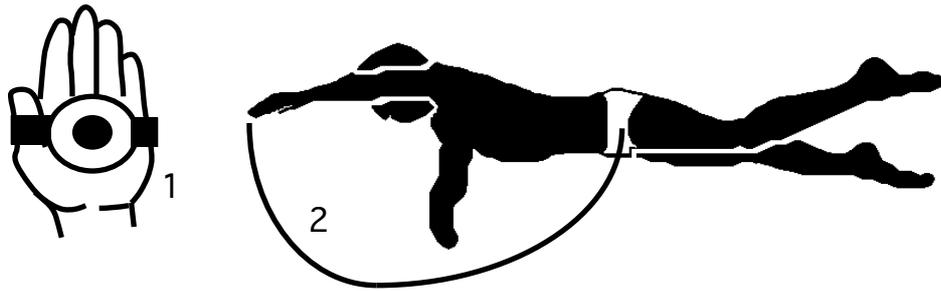


Figura 3.12.: Registros de presión obtenidos por Belokovsky (1971).

- 1) Transductor de presión colocado en la mano.
- 2) Trayectoria propulsiva del nadador.
- 3) Curva de registro con tendencia a ser "exponencial".
- 4) Curva de registro con tendencia a ser "trapezoidal"
- 5) Curva de registro con tendencia a ser "sinusoidal".

Glukhov y Bratkovskiy (1974) con el fin de estudiar la estructura de coordinación del movimiento en nadadores utilizaron un método complejo que obtenía simultáneamente el registro de variables biomecánicas con el registro de variables fisiológicas. El equipamiento consistió en sensores, amplificadores y polígrafos. Se colocaron transductores de presión en manos y pies, un goniómetro en el codo y un acelerómetro en la mano. Así mismo, se registró el EMG del dorsal ancho, pectoral mayor y la cabeza acromial del deltoides. Durante el proceso el nadador era filmado subacuáticamente y también se registraba su frecuencia cardíaca. El uso de todos estos sistemas de medición hace posible la obtención de una gran cantidad de información útil en natación. Esta información es necesaria para estudiar las técnicas de movimiento del nadador sobre una distancia y dirigir efectivamente el proceso de enseñanza y entrenamiento.

Manen y Rijken (1975) utilizando "The Nederlands Ship Model Basin" estudiaron distintos aspectos de la natación. El nadador estaba sujeto a una barra vertical que se movía en un riel donde estaban colocados aparatos de medición (transductores de fuerza, medidores de velocidad, etc), como se puede ver en la figura 3.13. Uno de los aspectos medidos por medio del aparato fué la fuerza utilizada para propulsarse a diversas velocidades, el dinamómetro señaló la fuerza aplicada excedente cuando se desplazaba a bajas velocidades y la resistencia cuando se trasladaba a velocidades mayores, utilizándose el método para conseguir establecer diferencias entre la natación estilo completo, sólo pies y sólo brazos. Se observó que utilizando sólo las extremidades inferiores era el procedimiento que más rápidamente aumentaba la resistencia a bajas velocidades, encontrándose lo contrario cuando se utilizaba el estilo completo. Cuando se intentó diferenciar ambos procedimientos con nadadores de distintos niveles se pudo observar que la velocidad máxima en el punto de resistencia y empuje igualados era mayor para los nadadores de más nivel. Al comparar lo mismo entre el crol de natación y water-polo, aunque la amplitud de las oscilaciones de fuerza eran menores en el water-polo, la velocidad media era menor y el gasto energético total era mayor. Por otro lado se diseñaron transductores de presión para colocar en las manos (pressure pick-up) proponiendo el autor el registro de la fuerza aplicada con ellos, filmándose a la vez en vídeo para luego detectar posiciones incorrectas de la mano en la propulsión.

Boicev y Tzvetkov (1974) colocaron piezocerámicas en las manos y pies del nadador registrando simultáneamente las presiones en ellos, de manera que luego se podían establecer diagramas de coordinación de la aplicación de las fuerzas propulsivas de los distintos miembros. Así mismo era posible establecer, los tiempos utilizados en cada fase del ciclo motor mientras se nadaba.

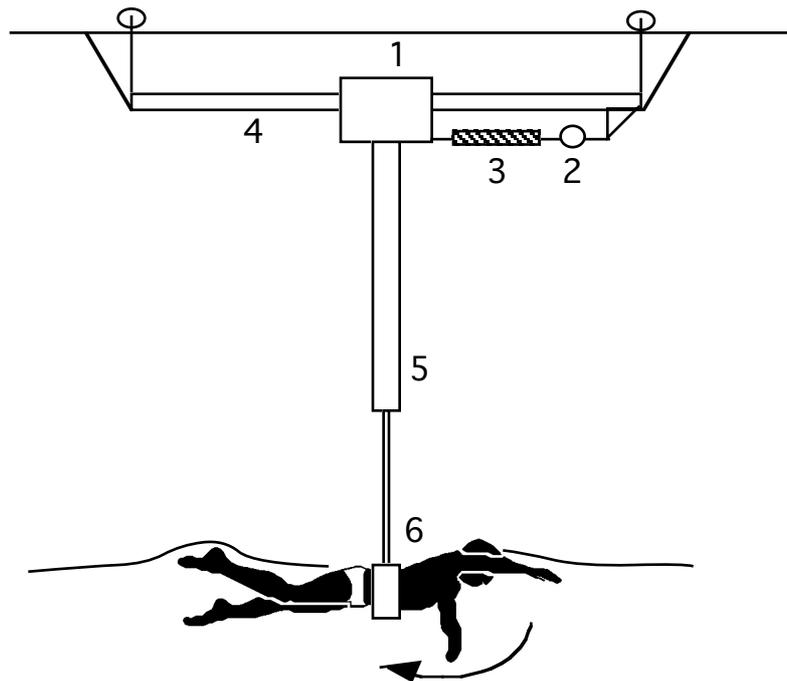


Figura 3.13.: Sistema utilizado por Manen y Rijken (1974) en el "Nederlands Ship Model Basin". 1) Transportador del remolque. 2) Dinamómetro. 3) Muelle amortiguador. 4) Eje horizontal de acero. 5) Varilla vertical regulable en altura. 6) Cinturón.

Redondo y Cano (1979) estudiaron las variaciones de fuerza propulsiva por medio de un transductor de presión piezocerámico colocado en diferentes puntos del perfil de la mano del nadador durante el nado de crol. Utilizó cuatro sujetos nadadores de crol con tiempos comprendidos entre 57 y 60 s. El método permitió obtener la distribución de presiones en el perfil de la mano, mediante registros de presión que proporcionaban las variaciones de potencial inducido en una piezocerámica, calibrada previamente. Los resultados fueron muy reveladores, pues se evaluaron las fuerzas de sustentación e impulso, encontrándose una explicación, al menos parcial, al hecho de que los nadadores muevan sus manos en zig-zag para avanzar. En el momento correspondiente a la parte media de la tracción, la presión media medida en las seis piezocerámicas fue de $0,55 \text{ kg/cm}^2$ y su velocidad de $4,23 \text{ m/s}$. Para un caso dado de una mano que se desplaza a 3 m/s , 160 cm de superficie y un ángulo de ataque de 45° , una fuerza de sustentación de $35,3 \text{ N}$ y una fuerza de impulso (arrastre) de $70,6 \text{ N}$, lo que da como resultado una fuerza propulsiva total en ese instante de $78,9 \text{ N}$. Los cálculos se realizaron aplicando el teorema de Bernoulli, el teorema de Kutta-Joukowski y el teorema de los impulsos. Se observó así mismo que a lo largo del registro de una brazada, la presión variaba de positiva a negativa y viceversa. Estas variaciones correspondieron al comienzo de la brazada y a los cambios en el sentido del movimiento de la mano.

Troup (1980) analizando todos los factores que afectan a la eficiencia en natación, afirma que cuanto más fuerte sea un nadador, mejores tiempos realizará en competición, asumiendo que realiza una técnica correcta. Así mismo, cuanto mayor sea el porcentaje de dicha fuerza máxima, que pueda mantener durante la prueba, mejores resultados obtendrá. Siendo la fuerza tan importante, debería examinarse en el agua, lo que nos ayudaría a observar también la eficiencia mecánica de la técnica. Para hacer esto debe de observarse la fuerza realizada a través de cada fase de la tracción. Esto incluye la entrada, tirón, empuje y salida de la mano del agua⁹. Con los sistemas de medición de la fuerza en el agua podemos examinar la fuerza aplicada, medir el tiempo en cada fase y determinar la potencia. Las curvas obtenidas representan en sus "picos" las fuerzas máximas obtenidas y el área por debajo de la curva el trabajo. Si las partes superiores de la curva son más planas, y existen menos depresiones en la misma entre cada entrada del brazo, esto significa una mayor eficacia de la tracción. Utilizó para el registro un aparato denominado Aquakinetics, que es una modificación de un aparato isocinético¹⁰ que se conecta a un dinamómetro y éste a un polígrafo u ordenador.

Svec (1982) por medio de un transductor de presión montado en una pala colocada en la mano registró la fuerza propulsiva en nadadores. Afirmó que este método es más

⁹ Esta denominación de las fases utilizada tradicionalmente ha sido sustituida en la actualidad por la división de la tracción en fases que definen los movimientos realizados desde un punto de vista tridimensional y basándose en el tipo de movimiento propulsivo predominante. Se ampliarán más detalles en el próximo capítulo.

¹⁰ Aparatos isocinéticos son los utilizados para entrenar la fuerza y la fuerza explosiva, basándose en la ejecución de los movimientos siempre con la misma velocidad.

simple que el cinematográfico (el problema en este método es el de la digitalización de las coordenadas que introduce un error considerable en la apreciación de aspectos tan finos como los ángulos de ataque de la mano, ya que necesitan para su obtención numerosos puntos a digitalizar en las manos) y sobre todo da información inmediata de la fuerza aplicada, cosa que con el cinematográfico es imposible en la actualidad. El problema está en la definición de modelos técnicos que permitan realizar una rápida diagnosis de las curvas obtenidas. Durante este estudio se obtuvieron visibles modificaciones en la fuerza propulsiva ante instrucciones concretas de modificación del movimiento del brazo para conseguir más propulsión. El autor concluye que este tipo de sistema tiene las siguientes ventajas: a) diagnóstico visual inmediato ya que las curvas de presión propulsiva pueden ser inmediatamente analizadas usando características conocidas de las curvas o la experiencia del investigador; b) interacción nadador-instructor, ya que las reacciones del sujeto a las instrucciones para mejorar la tracción pueden ser observadas, administrándose instrucciones apropiadas en base al proceso ensayo-error; c) progresión segura, los resultados son evidentes en un corto período de tiempo y la facilidad en la observación ayuda a que estos progresos puedan ser fácilmente observables; d) observación continua, revela la consistencia del esfuerzo del nadador por mejorar; e) coordinación, la curva de presión propulsiva muestra la coordinación y la curva de esfuerzo efectivo de cada brazada separadamente.

Hopper, Hadley, Piva y Bambauer (1983) basándose en que, aunque la potencia desarrollada por un nadador es muy difícil de medir, es posible evaluar la potencia transmitida a una carga externa, utilizaron un sistema de poleas en el que se suspendían cargas cuantificables, registrando tanto la velocidad que conseguía el nadador con cada carga como la velocidad que imprimía a las propias cargas. Como se puede observar en la figura 3.14, se utilizó una triple polea lo que daba al sistema un ventaja mecánica de 5:1. Las medidas utilizadas fueron la distancia nadada, el peso levantado, tiempo tardado en levantar la carga y el número de ciclos utilizado para levantar la carga con lo que se calculó un valor similar a la potencia llamado "potencia/ciclo" ($P/C = \text{trabajo} / \text{tiempo} / \text{ciclos}$). Este valor no es realmente la potencia desarrollada por el nadador, más bien es la potencia aplicada a una carga externa por el nadador. El cálculo se realizaría de la siguiente manera: si la carga es de 45 kg, al ser la ventaja mecánica 5:1 la carga real que frena al nadador es de 9 kg. Si por otra parte, el nadador recorre 8,7 m en 10 s y usa 15 ciclos, el valor de P/S ($P/S = \text{fuerza} \cdot \text{distancia} / \text{tiempo} / \text{n}^\circ \text{ de ciclos}$), sería: $P/S = 9 \text{ kg} \cdot 8,7 \text{ m} / 10 \text{ s} / 15 \text{ cic}$, siendo el resultado final: $P/S = 0,522 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s} / \text{cic}$. Los sujetos experimentales fueron nadadores con posibilidades de asistir a los Juegos Olímpicos del equipo norteamericano y nadadores de un nivel inferior. Cada nadador realizó tres intentos para medir P/S con un minuto de descanso y después de 30 minutos realizó 50 m a la máxima velocidad posible.

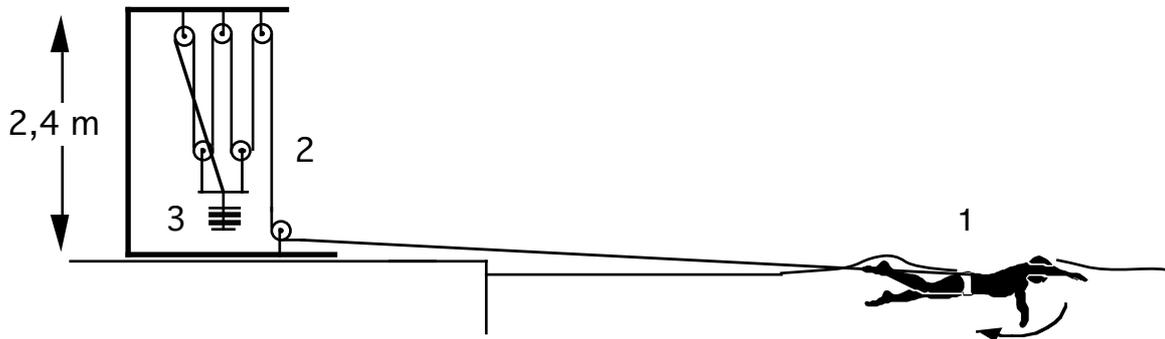


Figura 3.14.: Sistema de poleas utilizado por Hopper y col. (1983) para medir la potencia transmitida a una carga externa por un nadador. 1) Nadador desplazándose en el agua siendo frenado por el sistema. 2) Sistema de poleas que permite que el nadador recorra una gran distancia mientras la carga recorre una distancia pequeña. 3) Cargas utilizadas.

TABLA 3.18
MEDIAS Y D.T. EN LOS VALORES DE P/S EN HOMBRES Y MUJERES EN LOS GRUPOS ESTUDIADOS POR HOPPER Y COL. (1983)

Grupo	Estilo	Hombres			Mujeres		
		n	P/S (kg·m /s/cic)	d.t	n	P/S (kg·m /s/cic)	d.t
Nivel Medio	Mariposa	3	0,84	0,07	5		0,11
	Espalda	3	0,44	0,01	5		0,03
	Braza	3	0,53	0,08	7	0,27	0,02
	Crol	-			-		
Elite	Mariposa	10	0,93	0,17	9	0,49	0,15
	Espalda	7	0,51	0,10	8	0,29	0,04
	Braza	4	0,54	0,07	13	0,28	0,03
	Crol	9	0,54	0,15	6	0,27	0,04

El test se realizó a los distintos estilos. Las correlaciones demostraban que existía una relación negativa entre el tiempo en 50 m y el P/S obtenido ($r = -0,89$ en mariposa, $-0,90$ en braza, $-0,80$ en crol y $-0,84$ en espalda). En un estudio anterior en el que analizó las diferencias entre velocistas y fondistas en el estilo crol con un procedimiento similar el autor encontró una correlación de $r = 0,87$, algo mayor que en el estudio aquí referido, explicándolo el autor por las diferencias en las muestras de sujetos. En este estudio encontró que los mejores velocistas tenían unos valores entre 1,5 a 2 veces mayores que los fondistas ($0,7 \text{ kg}\cdot\text{m /s/cic}$ vs $0,37 \text{ kg}\cdot\text{m /s/cic}$), los nadadores fondistas masculinos tenían unos valores similares a las velocistas femeninas ($0,31 \text{ kg}\cdot\text{m /s/cic}$). Los resultados del estudio realizado se presentan en la tabla 3.18. Los autores concluyen que este aparato (el cual esta disponible comercialmente) es una herramienta eficaz y barata para el investigador, entrenador y nadador.

Costill, King, Holdren y Hargreaves (1983) desarrollaron un sistema biocinético para medir la fuerza propulsiva, el trabajo y la potencia en el estilo crol. Estando sujeto el nadador al sistema y desplazándose a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ de velocidad se registraba la tensión que desarrollaba en el cable que era medida por el transductor de fuerza que lleva el sistema biocinético. Antes de cada sesión de registro el sistema era calibrado dejando caer a esa velocidad fija cargas que oscilaron entre 2 y 15 kg. Además del registro se podía saber el tiempo de duración del test conociendo la velocidad de salida del papel del polígrafo (en segundos). El trabajo realizado ($\text{N}\cdot\text{m}$) era mostrado en una pantalla digital del propio aparato en tiempo real. Como se registró la cantidad de trabajo y la duración del test, fue posible calcular la potencia del nadador ($\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$), siendo transformados estos datos en watios (W). La fuerza máxima se calculó obteniendo la media de los picos de las cinco curvas que mostraron un tamaño mayor. La velocidad de nado libre se obtuvo cronometrando 25 yardas (22,86 m) de nado de crol con salida desde el agua. Encontraron una correlación significativa entre la potencia desarrollada y la velocidad de nado ($r = 0,82$). La correlación entre fuerza máxima y velocidad de nado fue también significativa ($r = 0,84$). Así mismo, se observó que ocho semanas de entrenamiento de natación y de fuerza en seco incrementaron de forma significativa la velocidad de nado y la potencia. Los nadadores mostraron diferencias entre los puntos de fuerza máxima conseguidos con cada brazo, siendo resultado de las diferencias en la forma de la trayectoria propulsiva de los nadadores.

Costill, Rayfield, Kirwan y Thomas (1986) utilizando un sistema computarizado para el registro de fuerza propulsiva en natación midieron por medio de un sistema biocinético las variaciones en el registro de fuerza en natación a velocidad de 0,93 y 0,62 m/s (sensiblemente inferiores a las de nado). Utilizó 76 nadadores universitarios (46 hombres y 30 mujeres, de 17 a 22 años). La fuerza así registrada correlacionó 0,24 con la fuerza medida fuera del agua simulando el movimiento propulsivo en un banco biocinético, y 0,84 con la velocidad máxima en sprint. La baja correlación observada en la fuerza medida en seco es contradictoria con estudios realizados anteriormente incluso por el mismo autor. Esto se

puede explicar por el hecho de que en aquellos estudios el rango tanto en velocidad como en fuerza de los sujetos fue muy grande. En este estudio sin embargo, la muestra fue mucho más homogénea. Los resultados mostraron una diferencia significativa entre hombres y mujeres ($p < 0,01$) en fuerza propulsiva medida con el sistema y en velocidad máxima de nado. Si la fuerza se calcula en relación al peso corporal, los hombres son todavía un 28% más fuertes que las mujeres. Los nadadores velocistas fueron más fuertes que los nadadores fondistas. Los resultados hacen concluir al autor que sólo las medidas de fuerza en el agua son específicas a la fuerza propulsiva utilizada en el estilo crol. El sistema proporciona un método fiable y sensible para la medición de una de las variables más importantes en el resultado deportivo, la fuerza.

Toussaint, Groot, Savelberg, Vervoorn, Hollander, van Ingen, Schenau (1988) al realizar estudios para conocer los valores de resistencia que ofrece el nadador al desplazarse, desarrollaron un sistema que permitía realizar registro de la fuerza propulsiva (ver figura 3.15). Un cable colocado a una profundidad de la superficie del agua permitía al nadador asirse a unos soportes especiales en cada brazada. El cable en un lado está sujeto a la pared y en el otro sujeto a un dinamómetro. El nadador al tirar del cable ejercía una fuerza sobre él que variaba en función del tiempo a distintas velocidades de nado se obtuvieron valores entre 66,3 N a 1,55 m/sg. y 53,2 N a una media de 1,48 m/sg. Estos valores son considerablemente más pequeños que los obtenidos por otros autores al medir la resistencia del agua y en los estudios relacionados con la fuerza propulsiva a velocidad cero. Téngase en cuenta que aquí sólo se mide la fuerza aplicada para vencer la resistencia que opone el cuerpo al agua, y que parte de la fuerza aplicada también se utiliza para mover el agua que choca directamente con la mano al propulsar. Esto es algo no deseable pero inevitable (recuérdese lo explicado sobre este problema en el capítulo anterior).

Chollet, Micallef y Rabischong (1988) desarrollaron un sistema de biofeedback que, por medio de un medidor de presión colocado en una pala sujeta a la mano (de las dimensiones de ésta) y un pequeño amplificador, devolvía una señal auditiva al variar la presión aplicada. El nadador oía la señal por medio de unos auriculares acuáticos (ver figura 3.16). En los experimentos realizados el sistema no demostró unas mejoras palpables en cuanto a velocidad de nado pero sí en la disminución del número de ciclos, lo cual se puede considerar una mejora en la eficacia propulsiva. El experimento planteado no fue suficiente para demostrar la eficacia del sistema. Hubiera sido necesario más tiempo de aplicación del bio-feedback para conseguir mejoras sustanciales.

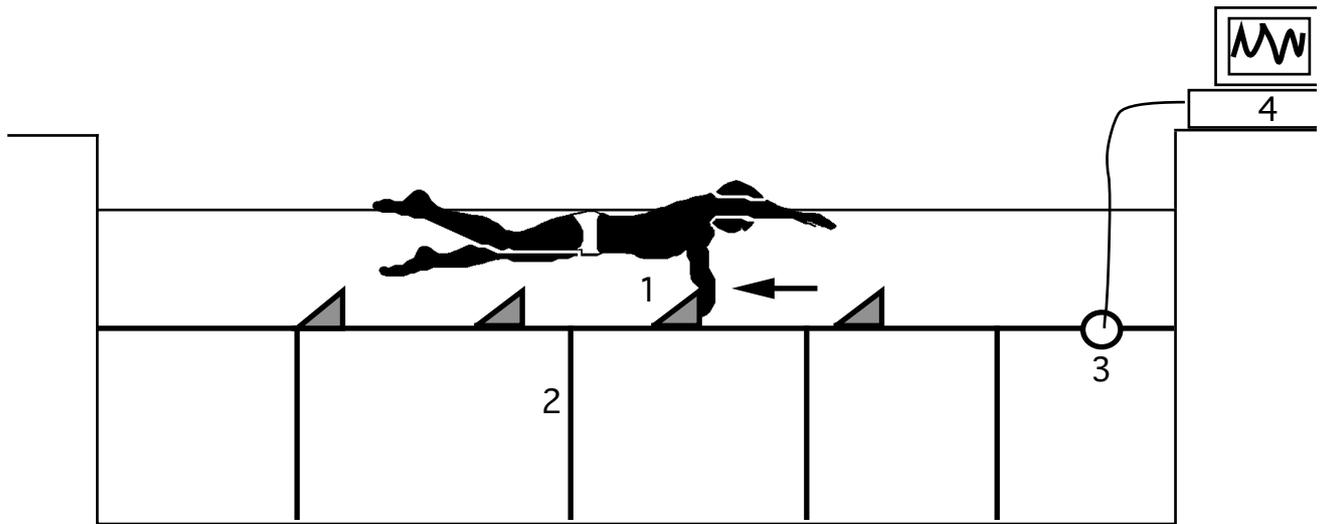


Figura 3.15.: Sistema desarrollado por Toussaint y col.(1988) para la valoración de la resistencia activa. 1) Nadador aplicando fuerza sobre una de las placas verticales fijas. 2) sistema de sujeción de las placas al fondo y paredes de la piscina. 3) Dinamómetro. 4) Sistema de amplificación conectado por medio de un convertidor analógico-digital a un ordenador personal.

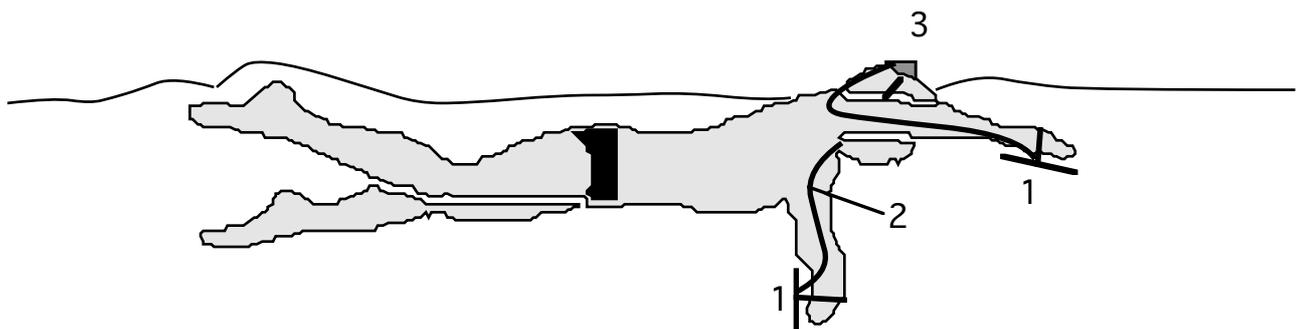


Figura 3.16.: Procedimiento de Biofeedback aplicado por Chollet y col. (1988). 1) Palas colocadas en las manos con los transductores de presión. 2) Conexión. 3) Amplificador y módulo de feed-back sonoro con auriculares.

Loetz, Reischle y Schmitt (1988) utilizaron transductores de presión para medir las fluctuaciones de presión en las manos, sincronizados con los movimientos propulsivos, por medio de la mezcla de la imagen del registro en un ordenador personal con la imagen del nadador filmada en vídeo. Utilizaron nadadores del equipo nacional de la antigua R.F. de Alemania que realizaron distancias de 25 m a velocidad de competición. Los resultados de los registros en el estilo crol para hombres fueron:

- Fuerza Máxima 1: 78,5 N durante el movimiento hacia abajo. Ocurre 0,4 s después de empezar el ciclo propulsivo.
- Fuerza Máxima 2: 126,2 N durante el movimiento hacia dentro-atrás. Ocurre 0,55 s después de empezar el ciclo propulsivo.
- Fuerza Máxima 3: 60,0 N durante el final de la última fase. Ocurre 0,75 s después de empezar el ciclo propulsivo. El tiempo total de ciclo fue 1,15 s.

3.3. Otras Investigaciones Relacionadas con el Problema

El problema de la evaluación de la fuerza en natación se ha abordado desde otros puntos de vista diferentes a los ya expuestos. Es el caso cuando la propia medición de la fuerza no se realiza en el agua, sino por medio de simuladores fuera del agua. También puede ser que el problema principal no sea cuantificar la propia fuerza sino observar cómo otras variables se modifican al utilizar los aparatos de medición en seco o en el agua como, por ejemplo las variables cinemáticas, variables electromiográficas, etc.. Por otro lado se pueden relacionar aquí la aplicación de los propios sistemas para evaluar la fuerza directamente o modificados para entrenarla. Por fin la descripción de métodos para el análisis de las curvas de registro de una forma cualitativa.

3.3.1. Otras variables relacionadas con la medición de la fuerza propulsiva

Bollens, Annemans, Vaes y Clarys (1988) utilizando electromiografía superficial, buscaron las posibles diferencias entre el registro de EMG en natación libre y natación a velocidad cero. Se registraron cinco músculos: a) tríceps (porción larga); b) pectoral mayor; c) dorsal ancho; d) recto femoral; e) porción lateral del gemelo. Trece nadadores masculinos con una media de 56,9 s en 100 m libres fueron utilizados como sujetos. Los resultados mostraron que aunque la tendencia era que los músculos exhibían más intensidad de actividad durante la natación a velocidad cero, el ANOVA realizado no mostró diferencias significativas. Sin embargo, analizando cualitativamente los registros de EMG normalizado (observando variables como amplitud, correspondencia o su combinación entre los registros, ver apartado 3.3.2) y estableciendo una escala diferencial desde cero (sin diferencias entre registros) a 12 (registros completamente diferentes), se pudo comprobar que si la frecuencia de ciclo disminuía, las diferencias entre las dos situaciones de natación descendía en los músculos de las extremidades superiores. En el caso de los músculos de las extremidades inferiores la tendencia era justo al contrario. Los autores concluyen que en cuanto al registro del EMG de los músculos anteriormente citados, la natación a velocidad cero y el nado libre normal son similares. Esta afirmación es sólo cierta para los músculos de los brazos estudiados, donde un descenso en la frecuencia induce a un incremento en la similitud de los registros de EMG, siendo la influencia de la frecuencia considerable.

Otro aspecto a relacionar con la fuerza propulsiva a velocidad cero o la natación en situación de frenado o parcialmente sujeto es el análisis cinemático de las trayectorias

propulsivas. Las posibles modificaciones de las trayectorias propulsivas en diferentes situaciones fueron analizadas por Maglischo C., Maglischo E., Sharp, Zier y Katz (1984). Su propósito fue comparar la mecánica del estilo crol al nadar libremente y al utilizar un sistema que disminuía la velocidad normal del nadador. Los sujetos fueron participantes en las pruebas de fondo de los campeonatos de EEUU de Invierno, cuatro nadadores y cinco nadadoras con una edad entre 16 y 19 años. Cada sujeto fue filmado en las dos situaciones, por medio de dos cámaras colocadas frontal y lateralmente de forma sincronizada. El sujeto era frenado por un sistema biocinético que permitía ajustar la velocidad a la que se desplazaba el nadador. Se utilizó la velocidad cero. Los cambios significativos observados en la técnica al nadar siendo frenado fueron los siguientes:

- Es necesario más tiempo para realizar el movimiento propulsivo, la diferencia media fue de 0,09 s.
- La velocidad angular de las manos de los sujetos fue menor.
- Se utilizó menos tiempo para realizar el movimiento inicial hacia abajo de la tracción de crol.
- Los sujetos necesitaron más tiempo para completar el movimiento hacia arriba de la parte final de la tracción.
- Los sujetos realizaron el batido con los pies a mayor profundidad.
- Los sujetos flexionaron más las muñecas en su fase propulsiva.
- Los sujetos tendían a llevar su movimiento hacia abajo a menor profundidad.
- La velocidad hacia atrás de las manos en la trayectoria propulsiva fue menor.
- Los sujetos realizaron menos movimientos laterales con sus manos durante el movimiento hacia abajo y hacia dentro de la tracción. Existió una flexión mayor del codo.

Las diferencias observadas sugieren que el método de usar la natación estática como test o forma de entrenamiento sea cuestionable.

Los mismos autores un año después analizaron una situación similar en el estilo mariposa, donde realizaron esfuerzos a velocidad máxima en nado libre, siendo frenado (sprint-resistido) y siendo acelerado (sprint asistido). Los resultados mostraron que en natación resistida las tracciones fueron más cortas y lentas, en natación asistida se aumentó la frecuencia, pero normalmente gracias a un acortamiento del ciclo los sujetos tienden a cambiar de propulsión predominantemente basada en la sustentación a propulsión predominantemente basada en el arrastre. La flexión del codo fue diferente en todos los casos. En conclusión, el uso de la natación asistida y la natación resistida puede cambiar la mecánica del estilo en direcciones no deseables. Sin embargo, es muy dudoso que esos cambios ocurran, debido a la pequeña parte del programa de entrenamiento que está constituida por estos ejercicios. Sin embargo, pueden tener ventajas, ya que ambos métodos es posible que sirvan para mejorar la fuerza, que aunque no pueda ser transferida totalmente, si lo será en una cantidad mayor que por otros métodos. Por otro lado se observó que algunos nadadores mejoraban errores durante los intentos con natación asistida.

3.3.2. Procedimientos para la evaluación cualitativa de registros de fuerza y de variables cinemáticas.

Bollens y Clarys (1984) desarrollaron un sistema de comparación cualitativa entre registros, motivado por la necesidad de desarrollar un método de valoración del nivel de analogía entre registros que los procedimientos estadísticos usuales sólo podían valorar en unos niveles muy básicos o sin tener en cuenta información importante en el análisis (como, por ejemplo, aquella relativa a la forma del trazado de la curva). Los niveles de comparación vienen definidos en una escala de 0 a 12, siendo doce el valor para las diferencias máximas entre dos curvas y cero el valor que expresa que dos curvas son aproximadamente idénticas. La escala completa es la siguiente:

- 0: Idéntica (sin diferencias en sincronización y amplitud)
- 1: Idéntica con diferencias en amplitud
- 2: Idéntica con diferencias en sincronización
- 3: Idéntica con diferencias en sincronización y amplitud
- 4: Análoga con diferencias en amplitud
- 5: Análoga con diferencias en sincronización
- 6: Análoga con diferencias en sincronización y amplitud
- 7: Análoga con diferencias en sincronización y amplitud, y proporciones de los picos de las curvas iguales.
- 8: Ajustado con diferencias en amplitud
- 9: Ajustado con diferencias en sincronización
- 10: Ajustado con diferencias en sincronización y amplitud
- 11: Ajustado con diferencias en sincronización y amplitud, y el número de picos es igual
- 12: Diferente de forma no específica.

En la figura 3.17 se pueden observar ejemplos de curvas en las cuatro diferentes situaciones observadas desde el punto de vista cualitativo. En la primera las curvas son prácticamente iguales (sus trazos se corresponden prácticamente). En la segunda las curvas son idénticas pero puede haber diferencias en amplitud (como, por ejemplo, en el segundo ciclo de la segunda gráfica). En el tercer caso, las diferencias afectan a la sincronización. En el cuarto caso las curvas son completamente diferentes.

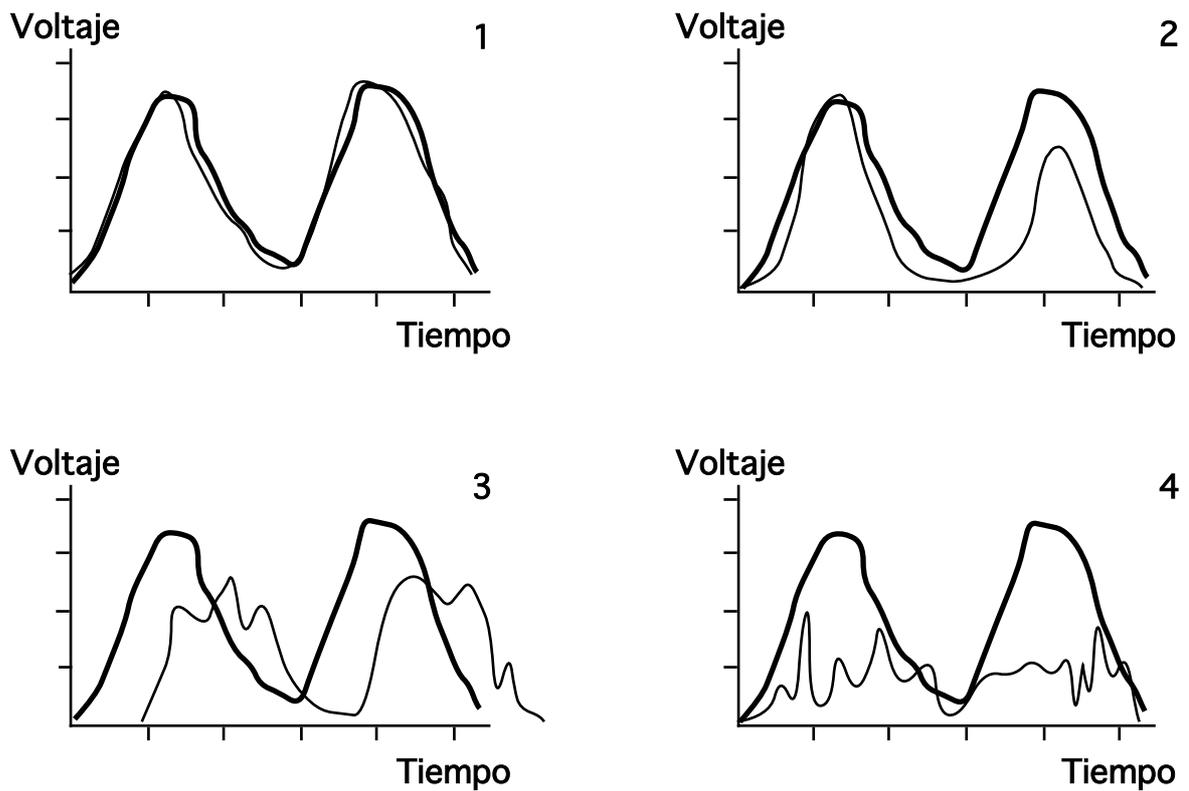


Figura 3.17.: Análisis cualitativo de la similitud entre dos registros, trazo grueso registro base, trazo fino registro a comparar. Niveles básicos de comparación: 1) registros idénticos; 2) registros análogos; 3) registros ajustados; 4) registros diferentes. (Bollens y Clarys, 1984)

3.4. Aspectos más importantes tratados en el presente capítulo.

Una vez revisado el proceso seguido por los investigadores para conseguir medir la fuerza propulsiva en natación, se puede realizar una clasificación de los diferentes métodos empleados:

Medición Indirecta de la Fuerza Propulsiva	◇ Método cinematográfico ◇ Cálculo teórico	
Medición Directa de la Fuerza Propulsiva	◇ Registro a velocidad cero	<ul style="list-style-type: none">• Dinamometría con sujeción rígida• Dinamometría con sujeción elástica
	◇ Registro a velocidad distinta de cero	<ul style="list-style-type: none">• Transductores de presión• Natación con cargas de frenado externas• Dinamometría a velocidad constante• Medición de la resistencia activa

En los diversos estudios se han definido variables que trataban de ser una medida más o menos precisa de la fuerza propulsiva:

- Fuerza propulsiva a velocidad cero (FPV0) la cual podía ser medida con una sujeción elástica o rígida entre el dinamómetro con el que se medía la fuerza del

nadador. Los autores que utilizaron este procedimiento fueron Alley (1952), Counsilman (1955), Magel (1970), Goldfuss y Nelson (1971), Wankow (1972), Zaciorskiy y Safarian (1972), Abramson (1973), Craig y Boomer (1980), Montpetit (1981), Yeater y col. (1981), Adams y col. (1983), Gullstrand y Holmer (1983), Platonov (1988), Rasulbekov y col. (1986), Ría y col. (1986), Cabri y col. (1988), Cristensen y Smith (1987), Keskinen y col. (1989), Rohrs y col. (1990) y Boulgakova (1990).

- Fuerza propulsiva a velocidad cero relativa al peso corporal (FPV0/P). Los autores que utilizaron este procedimiento fueron Wankow (1972), Zaciorskiy y Safarian (1972), Onoprienko y Bartaszuk (1973).
- Fuerza propulsiva medida a velocidad constante o fuerza propulsiva excedente (FPEXC). Los autores que utilizaron este procedimiento fueron Alley (1952), Counsilman (1955), Zaciorskiy y Safarian (1972), Manen y Rijken (1975), Troup (1980), Costill y col. (1983) y Costill (1986).
- Presión aplicada contra la mano (FPP) o medición por medio de transductores de la presión por unidad de superficie en la palma de la mano. Los autores que utilizaron este procedimiento fueron Miyashita (1971), Belokosky (1971), Glukhov y Bratkovsky (1974), Boicev y Tzvetkov (1975), Redondo y Cano (1979), Svec (1982), Chollet y col. (1988) y Loetz y col. (1988).
- Fuerza propulsiva teorica (FPT) obtenida gracias a la simulación matemática del sujeto y las fuerzas que aplica al agua. Los autores que utilizaron este procedimiento fueron Martin y col. (1981).
- Fuerza para vencer la resistencia (FR) o la fuerza que debe aplicar el nadador para moverse hacia delante superando la resistencia activa que ofrece su cuerpo. Los autores que utilizaron este procedimiento fueron Craig y Boomer (1980) y Hopper y col. (1983).
- Fuerza propulsiva resultante (Fp) o la fuerza obtenida por medio de un procedimiento indirecto, resultado de la suma vectorial de la fuerza de arrastre y la fuerza de sustentación. Los autores que utilizaron este procedimiento fueron Schleihauf (1974, 1979), Schleihauf y col. (1983, 1988) y Maglischo y col. (1984, 1986).

Los distintos autores no siempre expresaron la fuerza con las mismas unidades, utilizando kilogramos-fuerza (kgf), kilopondios (kp), libras y Newtons (N).

Dentro de los estudios descritos nos encontramos con otras variables que han tratado de ser relacionadas con alguna de las medidas de fuerza anteriormente descritas:

- Velocidad de nado máxima (VMAX), medida en distancias comprendidas entre 10 y 25 m, desplazándose el sujeto a la máxima velocidad posible, se expresó en m/s.
- Velocidad de competición (VC), velocidad media que consigue el nadador en una distancia de competición. Estas pueden ser 100, 200, 400, 800 y 1500 m, y actualmente 50 m libres. En la mayor parte de los casos se consideraba como variable directamente el tiempo de competición (TC).
- Longitud de ciclo (LC), o distancia que recorre el nadador al realizar un ciclo de brazada. Se expresó en m.
- Frecuencia de ciclo (FC), o número de ciclos realizados por el nadador por unidad de tiempo. Se expresó en ciclos/s (Hz) o ciclos/minuto.
- La variable sexo fue utilizada con sus dos niveles (masc. y fem.).
- La variable nivel de ejecución se aplicó de diversas maneras. En el caso de nadadores se compararon nadadores de categoría internacional, regional, universitarios, etc. En el caso de poblaciones se compararon nadadores con otros deportistas o practicantes de natación no competitiva.
- La variable estilo es utilizada por distintos autores diferenciando el valor de la variable dependiente en cada una de las técnicas aplicadas. Los posibles niveles son crol, espalda, braza y mariposa.
- Diferencias en las pruebas de especialización de los nadadores. Esto ocurre fundamentalmente en el estilo crol, donde se pueden diferenciar los nadadores que se dedican a las pruebas de velocidad (50 y 100 m), mediofondo (200 y 400 m) y los fondistas (800 y 1500 m).
- La variable brazo ejecutor fue utilizada para comparar las medidas obtenidas entre brazos.
- La variable edad ha sido utilizada para comparar sujetos en distinto nivel de maduración.
- La intensidad de actividad electromiográfica ha sido utilizada también para comparar la actividad muscular en distintas situaciones de nado.
- Las variables cinemáticas de la trayectoria propulsiva se midieron para encontrar posibles diferencias en distintas situaciones de nado.
- Las medidas de ciertas variables pudieron ser utilizadas directamente para proporcionar feed-back.
- Así mismo se trató de utilizar las variables para evaluar la progresión debida al entrenamiento y compararla con los resultados competitivos.

En este capítulo se ha tratado de dar una visión general y cronológica de los procedimientos empleados para cuantificar la fuerza propulsiva. En cualquier caso la situación del problema es muy parecida actualmente a la que se tenía cuando los primeros autores comenzaron a investigar este tema. Una tecnología más moderna y una mayor rigurosidad en los procedimientos científicos han permitido fundamentalmente una precisión mayor en las mediciones y un acercamiento a la realidad del problema, pero no su completa solución.