

ANALISIS DEL EFECTO DE LAS MODIFICACIONES EN LA EJECUCIÓN DEL ESTILO CROL EN LA ROTACIÓN LONGITUDINAL DEL CUERPO

ANALYSIS OF STROKE
VARIATIONS ON BODY ROTATION
IN FRONT CRAWL SWIMMING

*López Contreras G.
Arellano Colomina, R.*



Gracia López Contreras: Licenciada en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte por la Universidad de Granada. Profesora Asociada del Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universidad de Granada. Actualmente realiza el doctorado en el Departamento citado. Entrenadora Superior de Natación.

Raúl Arellano Colomina: Doctor en Educación Física. Profesor Titular en la Facultad de las Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad de Granada. Coordinador del Convenio de Colaboración Científica entre el CAR de Sierra Nevada (CSD) y la Universidad de Granada (1994-1999).

Resumen:

Nuestro estudio trata de encontrar la influencia que tiene en la duración de las fases propulsivas y en la rotación del tronco nadar crol en diferentes situaciones técnicas. Los nadadores realizaron repeticiones de 15 m a velocidad de competición (100 m) utilizando las siguientes técnicas de estilo crol : crol normal respirando por el lado dominante, (CD) crol normal respirando por el lado no dominante (CND), crol sin respirar (CSR), crol moviendo sólo un brazo y manteniendo el otro brazo delante extendido, respirando por el lado del brazo ejecutor (PMC), crol moviendo solo un brazo y manteniendo el otro brazo junto al cuerpo respirando por el lado del brazo no ejecutor (C1BNE) y crol moviendo solo un brazo y manteniendo el otro brazo junto al cuerpo respirando por el lado del brazo ejecutor (C1BE). La duración de las fases movimiento hacia abajo y movimiento hacia arriba disminuyeron significativamente en CSR. La rotación del tronco fue mayor (10°) hacia el lado de respiración en CD y CND. La rotación del tronco fue cinco veces menor en PMC en relación a CD, CND y CSR. La rotación del tronco fue similar en C1BNE y la mitad en C1BE.

Palabras clave: movimiento del brazo, rotación del tronco, respiración, estilo crol, ejercicios de técnica

Abstract:

Our aim is to find the influence of breathing action and selected crawl-stroke drills in the pull duration and body rotation in front crawl swimming. A group of national ranked age-group swimmers performed 15 m repetitions at 100 m competitive speed. The swimmers used the next techniques: front crawl swimming preferred-side breathing (CD), front crawl swimming (not preferred-side breathing)(CND), breath-holding front crawl swimming (CSR), one arm front crawl with the resting arm extended in front, breathing to the moving side (PMC), one arm front crawl with the resting arm close to the body, breathing to the not moving side (C1BNE) one arm front crawl with the resting arm close to the body, breathing to the moving side (C1BE). The pull time was reduced during CSR thanks to the decreased time of the downsweep and upsweep phases. The front crawl swimmers rolled an average of 10° more when turning the head to breathe compared with when they held their breath. PMC exercise rolled five times less than front crawl swimming, C1BE exercise rotated two times less than front crawl swimming and C1BNE rolled the same values than front crawl swimming.

Keywords: arm motion, body roll, breathing, front crawl, swimming drill.

1. INTRODUCCIÓN

En el aprendizaje y entrenamiento de la natación se utilizan frecuentemente ejercicios considerados específicos para enseñar o corregir los movimientos de los deportistas. Son los denominados ejercicios de asimilación técnica: aquellos que mediante su práctica facilitan el aprendizaje o mejoran la técnica de los estilos de competición (Arellano, 1992). Dichos ejercicios son propuestos por diversos autores realizando clasificaciones según los objetivos específicos que persiguen (Navarro, 1990; Wilke y Madsen, 1992; Arellano, 1992; entre otros) pero en ningún caso aparecen teorías explicativas o análisis biomecánicos de estos ejercicios utilizándose sistemáticamente y asignándoles una influencia positiva por sí mismos. Son habilidades que se piensa que, tanto profesores como deportistas, deben conocer y dominar (Navarro 1990).

En el presente estudio queremos observar el efecto que producen determinados ejercicios denominados de asimilación técnica sobre dos tipos de variables de la técnica del crol:

1. Variables temporales: relacionadas con el análisis temporal de las acciones propulsivas.
2. Variables angulares: relacionadas con los ángulos de rotación sobre el eje longitudinal y ángulos de flexión del codo.

Para llevarlo a cabo, hemos seleccionado algunos ejercicios utilizados frecuentemente para entrenar o enseñar la técnica del estilo crol.

1.1. El modelo técnico de la acción propulsiva de las extremidades superiores en el estilo crol

Arellano, R. (2001) describe las características de los movimientos propulsivos del estilo crol definiendo las siguientes fases (adaptadas de Vorontsov & Rumyantsev, 2000):

Propulsiva Inicial	• Hacia abajo*
Propulsiva Principal	• Hacia dentro • Hacia arriba**
Recobro	• Emersión y movimiento adelante • Entrada y extensión adelante
* Puede ser también hacia abajo y afuera ** Se divide en dos subfases: 1) <u>atrás</u> +afuera 2) <u>atrás</u> +afuera+ <u>arriba</u>	

Tabla 1.1: **Movimientos básicos que componen las trayectorias propulsivas de las manos de cada uno de los estilos de competición (adaptado de Vorontsov & Rumyantsev, 2000)**

1.1.1. Acciones de las Extremidades Superiores

El ciclo de movimiento realizado por un brazo se divide en dos fases generales: una subacuática y otra aérea. En la primera el nadador mueve sus brazos hacia atrás por debajo del nivel del agua para conseguir aplicar fuerza propulsiva y avanzar hacia delante. En la segunda mueve sus brazos

por fuera del agua hacia delante minimizando el esfuerzo realizado para colocar su brazo otra vez en posición adecuada para iniciar la fase subacuática.

1.1.1.1. Acción Propulsiva Inicial: Movimiento hacia abajo

Comienza justo al finalizar la propulsión del brazo contrario. El brazo colocado delante se mueve hacia abajo a la vez que se realiza una gradual flexión de la muñeca y en menor grado del codo. Simultáneamente se realiza la rotación interna del húmero, lo que permite que la mano descienda con más velocidad que el codo adopta una posición de "codo alto", tal como la denominó Counsilman (1968). Esta posición hace que tanto la superficie de la palma de la mano como la del antebrazo se dirijan hacia atrás, haciendo que el agua fluya por delante y detrás de la mano y del antebrazo con lo que es posible generar sustentación, aunque los valores de la fuerza propulsiva eficaz serán todavía pequeños. El agua, por tanto, se mueve relativa a la mano desde las extremidades distales de los dedos a la muñeca y antebrazo. La mano realiza una ligera pronación por efecto de la rotación citada anteriormente del húmero a la vez que además de moverse hacia abajo se dirige ligeramente hacia fuera (Costill, Maglischo, & Richardson, 1992) con lo que el hombro se desplaza describiendo un arco por efecto de la rotación que realiza el tronco. Esta fase se puede considerar como preparatoria para la que prosigue en que la fuerza aplicada será mayor.

1.1.1.1.3. Movimiento hacia dentro

Es la fase donde el nadador comienza realmente a aplicar una fuerza propulsiva notable. La mano dibuja una trayectoria semicircular (Maglischo, 1982) iniciándose en el final de la fase anterior en la que el brazo se encontraba delante de su propio hombro. Ahora realiza un movimiento diagonal hacia adentro de manera que el brazo se coloca debajo de la línea media del cuerpo. La mano que se encontraba con la palma ligeramente orientada hacia afuera (en pronación) realiza inicialmente una supinación que hace que su palma se oriente ahora hacia adentro y atrás. Esta orientación permite que el agua fluya por el dorso y la palma de la mano desde el pulgar al dedo meñique. Un ángulo de ataque adecuado hace posible que la fuerza propulsiva se dirija hacia delante.

Lo que en la fase anterior se caracterizó por un movimiento casi aislado de la mano y antebrazo, ahora se convierte en un movimiento conjunto de la extremidad superior debiendo intervenir los grandes músculos del hombro fundamentalmente pectoral mayor y dorsal ancho, manteniendo la posición de codo alto (rotación interna del húmero) el músculo deltoides (porción media principalmente).

Este desplazamiento lateral (hacia adentro) de la extremidad superior, permite que la mano se desplace muy poco hacia atrás, lo que al contraerse los músculos anteriormente citados produce un desplazamiento del tronco hacia adelante. Esta situación es similar a la que sucede al apoyarse en un soporte fijo bajo el agua. El codo durante este movimiento se flexiona progresivamente alcanzando al final entre 90° y 120° (Haljand, 1984). Los nadadores especializados en distancias de competición cortas (50 y 100 m) se caracterizan por valores de flexión menores (mayores

ángulos en el codo) que los nadadores especializados en distancias más largas (800 y 1500 m) (Wilke, 1991). El nadador acelera progresivamente su mano a lo largo de esta fase, situación que continuará en la siguiente fase.

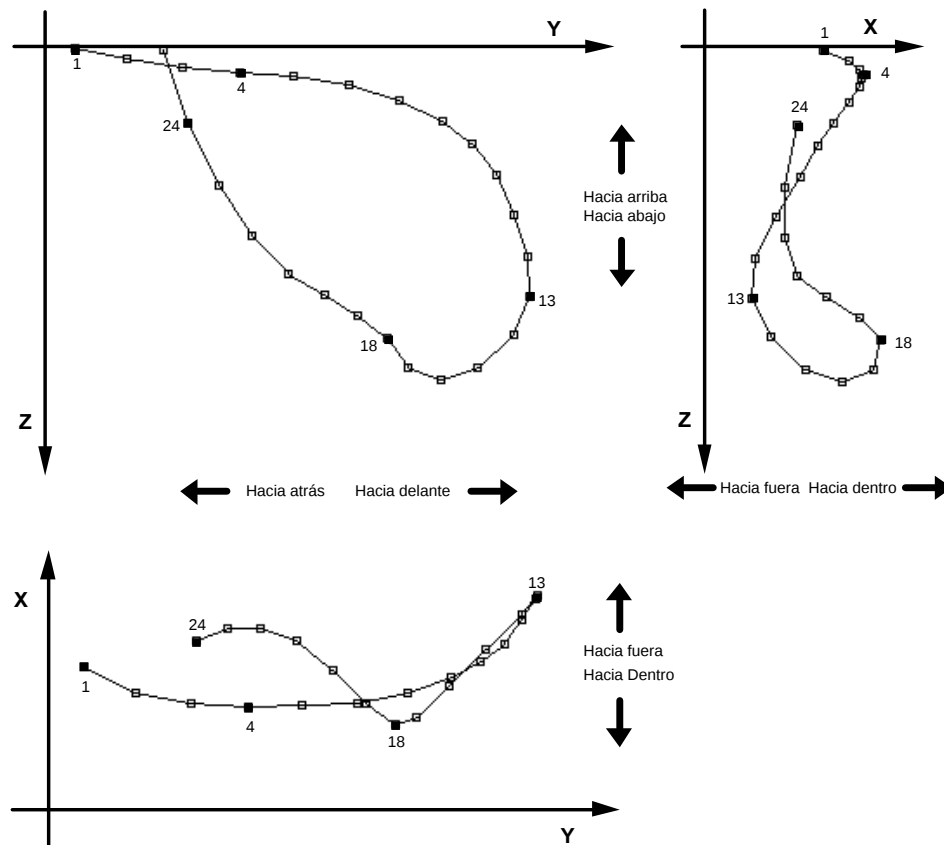


Figura 1.1: **Proyección de las trayectorias propulsivas en los distintos planos de una nadadora del Equipo Nacional de natación (según (Arellano & Pardillo, 1990)) Planos: (Y,Z) Sagital, (X,Z) Frontal; (X,Y) Horizontal. Cada punto se digitalizó en intervalos de 1/25 s. Fase de Entrada: 1-4. Fase de Extensión: 5-8. Fase hacia abajo: 9-13. Fase hacia dentro: 13-18. Fase hacia arriba: 18-24.**

El problema que nos encontramos es que la mano cruza por debajo del cuerpo de diferentes maneras: cruza hasta sobrepasar con claridad la línea media del cuerpo, cruza hasta llegar a la línea media o cruza sin alcanzar la línea media. Esto es algo que ya describió (Counsilman, 1968) observando a nadadores de elite. Si analizamos el problema sólo desde el punto de vista teórico, un recorrido mayor hacia adentro proporcionaría más propulsión, pero en algunos nadadores sobrepasar ciertos límites les supone la imposibilidad de aplicar fuerza eficazmente (su mano pierde el ángulo de ataque idóneo) con lo que ello no le produce más propulsión pero sí fuerzas laterales que desalinean su cuerpo. Sin embargo, otros nadadores consiguen fuerzas de mayores en este punto, consiguiendo al final los dos nadadores valores de fuerza totales y velocidades de desplazamiento similares. En general, parece que lo adecuado es que la mano se aproxime a la

línea media del cuerpo al final del movimiento hacia dentro. Este es uno de los aspectos donde nos encontramos con grandes diferencias entre los brazos de un mismo nadador. Esto se debe fundamentalmente a que:

- el nadador respira habitualmente por un solo lado lo que provoca una rotación mayor hacia ese sentido del tronco con lo que el brazo del lado por donde se respira cruza por debajo del tronco menos de lo que lo hace el brazo contrario.
- las diferencias debidas a la lateralidad dominante producen una mayor capacidad para sentir la presión del agua en un brazo sobre el otro, lo que produce también diferencias en el grado de movimiento hacia adentro que realiza cada brazo, sin hablar de las diferencias en la propia fuerza muscular.

Este detalle se observa principalmente en la posición rígida en que debe mantenerse la muñeca con el fin de que la presión a la que es sometida la palma de la mano no haga cambiar la posición de la misma y disminuya su capacidad propulsiva (Haljand, 1984). La flexión del codo hace que al acortarse la distancia con el punto de aplicación de la fuerza (la mano) el momento disminuya ($f \cdot d$) con lo que puede aplicarse más fuerza propulsiva a igual fuerza muscular ejercida (Counsilman, 1968; Counsilman, 1977; Firby, 1975; Vorontsov & Rumyantsev, 2000).

El brazo cruza más hacia adentro en los nadadores que al realizar la transición inter-fase (abajo y adentro) tardan más tiempo en orientar su mano hacia atrás y adentro. Esta situación impide aplicar suficiente fuerza propulsiva durante los instantes siguientes a la transición, con lo que el movimiento hacia dentro tiende a prolongarse más tiempo posteriormente, llegando a cruzar la línea media del cuerpo. En el caso contrario el nadador aplica su fuerza con anterioridad y puede cambiar a la siguiente fase con antelación.

Debe recordarse que la mano en esta fase aunque se mueve hacia adentro también lo hace hacia atrás y algo hacia arriba al final en los nadadores que más flexionan sus codos. Hay que tener precaución para no acercar la mano demasiado al cuerpo lo que produciría el lanzamiento de agua en movimiento contra el cuerpo (tronco) lo que aumentaría la resistencia localmente (Counsilman, 1977). La fuerza propulsiva actúa en una dirección muy próxima a la del desplazamiento del nadador (Hay, 1986).

1.1.1.1.4. Movimiento hacia arriba

El movimiento hacia arriba es la segunda y última fase propulsiva del estilo crol (Costill et al., 1992). La mano se movía en la fase anterior cruzando o llegando a la línea media del cuerpo, ahora la mano vuelve a dirigirse hacia fuera. Este movimiento inicialmente es en realidad hacia fuera, atrás y ligeramente hacia arriba (como se puede ver en la figura 4.1, los puntos 18 a 21), para luego predominar el movimiento hacia arriba con componentes menores hacia atrás y arriba (figura 4.1, los puntos 22 a 24). La mano comienza esta fase debajo del abdomen a una cierta profundidad. La mano se mueve hacia la parte lateral externa de la cadera, primero lateralmente y luego con gran predominio del movimiento hacia arriba. Para que esta dirección de desplazamiento

sea eficaz, desde el punto de vista propulsivo, la mano debe realizar una pronación, para colocar un ángulo de azimut adecuado, de manera que el agua ahora circule desde la eminencia hipotenar hasta el pulgar al desplazarse la mano hacia fuera y atrás, y desde la muñeca hacia los dedos, al desplazarse la mano hacia arriba, atrás y afuera.

En esta fase el brazo se extiende, pero sin llegar a la completa extensión (tal como se cree popularmente). El hacerlo supondría que la dirección de la mano cambiara y disminuyera su capacidad propulsiva. La mano alcanza en esta fase la máxima velocidad tanto con relación al cuerpo (Counsilman & Wasilak, 1982) como con relación al espacio (Schleihauf, Gray, & DeRose, 1983). La fuerza muscular aplicada por los músculos que mueven el brazo propulsor, junto con la rotación sobre el eje longitudinal del tronco, hace que se consigan los citados valores de velocidad. Los valores tan altos de velocidad junto con un correcto ángulo de ataque hace que se consigan los valores máximos de fuerza.

1.1.1.2. Recobro

1.1.1.2.1. Emersión y movimiento hacia delante

El recobro propiamente dicho comienza antes de que la mano salga del agua, justo en el momento en que el hombro y el codo emergen. En este momento la mano se relaja (deja de sentir presión en la palma), de manera que trata de ofrecer la menor resistencia posible. Si el nadador intentara aplicar fuerza en esta fase, ésta para lo único que serviría es para empujar agua hacia arriba (salpicar), produciendo una reacción en el cuerpo de hundimiento. El nadador para evitarlo además de relajar los músculos que flexionan la muñeca, gira la palma de la mano (realizando una supinación), de tal manera que la palma se dirige al muslo (Counsilman, 1977) con lo que se reduce notablemente la resistencia de forma de la misma mano. En esta posición es el dedo meñique el primero que sale del agua.

Al salir el codo del agua, éste comienza a flexionarse y elevarse. Debe tenerse en cuenta que el hombro por efecto de la rotación longitudinal del tronco, ya salió del agua al final de la fase anterior, facilitando este hecho todo el recobro, ya que durante toda la fase el hombro se mantendrá fuera del agua. Los músculos del hombro son realmente los motores de esta fase, desplazarán el brazo y antebrazo hacia delante. El brazo se traslada hacia delante describiendo un arco en un plano próximo al vertical, y el antebrazo se desplaza de una forma relajada adelante, pero con movimiento similar al del péndulo, siendo el centro de giro el codo y la mano el extremo inferior del mismo. Por tanto los arcos descritos por los dos movimientos tienen distintos centros de giro (hombro y codo) y distinto sentido de giro.

En la primera mitad del recobro, el brazo se mueve por delante del antebrazo, en la zona media el brazo y el antebrazo se mueven casi paralelamente, y en la fase final el antebrazo se adelanta al brazo, preparándose para la entrada en el agua. Para ello el codo se mantiene por encima del antebrazo y mano, y la mano rota hacia fuera (realiza una ligera pronación).

Debe recordarse que el recobro es una fase sólo preparatoria y no propulsiva con lo que la actividad muscular y energía utilizados para su realización deben de ser mínimos.

Se puede observar una ligera asimetría entre los brazos, en esta fase, debido a la realización de la respiración lateral. Normalmente el brazo del lado por el que se respira recobra más alto que el del brazo contrario. La rotación de los hombros sobre el eje longitudinal aumenta para permitir la inspiración sin un excesivo giro del cuello. Aunque (Costill et al., 1992) recomiendan la mejora en la frecuencia de ciclo por medio del incremento de la velocidad de desplazamiento de la mano durante la fase propulsiva, estudios realizados por (Jahnig, 1987) demuestran que cuando un nadador aumenta su frecuencia las fases propulsivas mantienen su duración constante, disminuyendo el tiempo de las fases de recobro, entrada y extensión.

1.1.1.2.2. Entrada y extensión

La entrada del brazo en el agua se produce delante del hombro del nadador con el codo ligeramente flexionado y la palma de la mano dirigida hacia fuera y abajo. La inclinación del plano de la mano con respecto al agua es aproximadamente de 45° (Counsilman, 1977) en el momento del contacto con la superficie. El grado de flexión del codo (en posición más alta que la mano) será tal que la extremidad distal de los dedos toque el agua a una distancia que corresponde aproximadamente a la longitud del brazo medido hasta la muñeca. Esta posición se consigue gracias a la rotación interna del húmero estando el brazo en una posición alineada con el tronco. El que entren primeramente los dedos, para seguir mano, muñeca, antebrazo y codo garantiza la disminución de la turbulencia que pudiera crearse alrededor de la mano (lo que disminuiría la eficacia propulsiva en las siguientes fases) y aumentaría la resistencia. Dado que el cuerpo se mueve hacia delante a una velocidad dada, el brazo durante esta fase se mueve a mayor velocidad relativa al cuerpo por lo que su resistencia total se ve aumentada (Maglischo, 1982). El brazo debe dirigir su extensión hacia delante hasta que consiga la máxima distancia recorrida (cualquier punto en que la mano se encuentre entre la mitad del hombro y de la cabeza podrá considerarse adecuado). En este punto hay dos factores que deben ser controlados por el nadador: a) evitar que el brazo se extienda cruzándose por delante de la cabeza (Costill et al., 1992) lo que produciría desplazamientos laterales del tronco, y b) evitar el excesivo desplazamiento de la mano hacia adelante fruto del adelantamiento del brazo y el hombro (con desplazamiento lateral de la escápula) (Counsilman, 1968) lo que produciría un efecto similar al anterior.

El brazo se extiende hacia adelante justo por debajo de la superficie del agua (a profundidad suficiente para producir la menor turbulencia o el menor oleaje posible). Durante ese movimiento la palma de la mano se encuentra dirigida hacia el fondo y prácticamente horizontal, esto genera una cierta sustentación que es utilizada por el nadador para mantenerse cerca de la superficie del agua. Esta fase debe continuar hasta que el brazo contrario finaliza su fase propulsiva (Haljand, 1984).

La fase finalizaría con el hombro y el codo a la misma profundidad y la mano ligeramente más hundida (Haljand, 1984). La profundidad máxima no debe ser superior a la de la parte más profunda del tronco (lo que aumentaría la resistencia de forma del nadador al no ser una fase propulsiva). La profundidad de la mano debería ser de unos 20 - 30 cm y es similar a la del pie contrario que se encuentra en ese momento en la fase descendente del batido. Esto asegura la coordinación cruzada entre brazos y piernas similar a la que ocurre al lanzar un balón (Persyn, 1974), con lo que permanece el equilibrio en las fuerzas internas del nadador permaneciendo la dirección de desplazamiento en un plano horizontal. La posición de los hombros es horizontal al finalizar esta fase (Persyn, Hoeven, & Daly, 1979).

1.1.2. Coordinación

1.1.2.1. Extremidades superiores y las acciones respiratorias

La acción respiratoria se coordina de la siguiente manera:

- La cabeza comienza el giro para sacar la boca del agua instantes después de que el brazo contrario al de la respiración entra en el agua, lo que permite observar la entrada y extensión de dicho brazo.
- La inspiración se produce en los primeros instantes del recobro tras haber salido el codo del mismo lado fuera del agua.
- La espiración se realiza de forma continuada durante la tracción, siendo más intensa justo antes de sacar la cara del agua.
- La cabeza vuelve a girar para colocarse dirigida hacia delante antes de que el brazo de recobro entre otra vez en el agua, esto permite observar la entrada del otro brazo también.

Las acciones motrices que componen el estilo crol deben de realizarse de una forma fluida y económica, a pesar de la posible variedad y complejidad de esta forma de nadar.

1.1.2.2. Brazo – Brazo

La máxima eficiencia al desplazarse a través del agua se obtiene por medio de una uniformidad propulsiva óptima junto con una adecuada posición hidrodinámica del cuerpo. La coordinación de los movimientos de las extremidades superiores entre sí, sincronizada con la rotación longitudinal del tronco, posibilita la citada eficiencia. Un brazo debe entrar en el agua en el momento que el otro se encuentra en la mitad de su movimiento hacia dentro (Firby, 1975; Costill et al., 1992) ¿Qué se consigue coordinando estas dos acciones? Los hombros parten de una posición horizontal. Antes que la mano correspondiente comience su movimiento hacia arriba, el hombro del mismo lado se levanta (rota el tronco en ese sentido), de manera que mientras que el brazo que entró en el agua se desplaza hacia delante, el otro realiza el movimiento hacia arriba. Esto permite que la fuerza aplicada por el brazo en este momento sea muy eficaz, ya que el brazo propulsor aplica una gran

fuerza en una dirección adecuada, y el brazo que entró en el agua se desplaza hacia delante generando sustentación, lo que sirve de "apoyo" para que el cuerpo mantenga una posición elevada en el agua y por tanto de menor resistencia. Además en esta posición la longitud total corporal aumenta lo que disminuye la resistencia relativa.

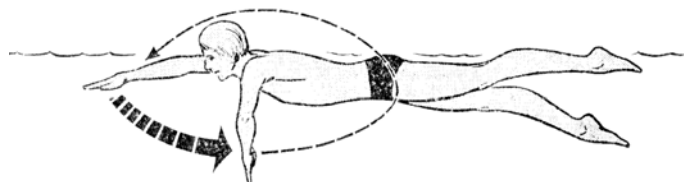


Figura 1.2: **Coordinación genérica brazo - brazo de 90° según (Firby, 1975).** Las tipos de flechas indica una igual duración a pesar de que las distancias recorridas son muy diferentes.

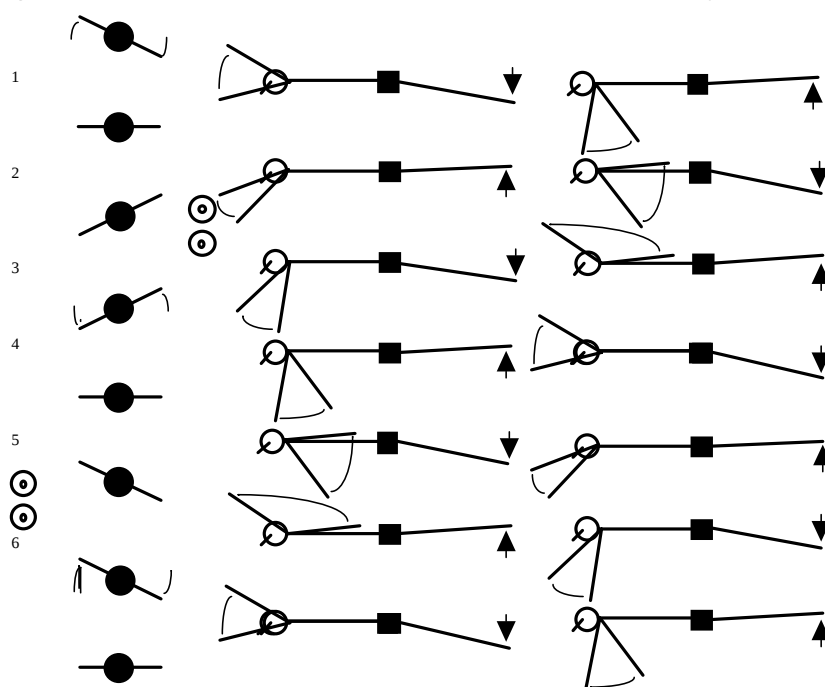


Figura 1.3: **Diagrama de coordinación entre brazos y piernas en un ciclo del estilo crol.** La primera columna representa la rotación de los hombros, junto con los momentos en que se realiza la inspiración (representados por círculos). La segunda columna representa la posición relativa del brazo y pierna derecha. La tercera columna representa la posición relativa del brazo y pierna izquierda.

En la figura 1.2 se puede observar la manera de cuantificar el ángulo que forman los dos brazos cuando uno de ellos ha finalizado la entrada. Este ángulo es variable en función de las características de la técnica del nadador. Por ejemplo, los nadadores de pruebas de velocidad tienden a un ángulo entre brazos menor de 90° y los nadadores de pruebas de fondo tienden a valores mayores de 90°. La media de nadadores obtiene valores próximos a 90°, independientemente de la especialidad. Daly (1984) en su tesis doctoral analizó un numeroso grupo de nadadoras de nivel internacional, relacionando el ángulo citado anteriormente con la

coordinación entre las extremidades superiores e inferiores y obtuvo los siguientes resultados: 1) coordinación de dos tiempos ($117^{\circ} \pm 11^{\circ}$); 2) seis tiempos ($106^{\circ} \pm 14^{\circ}$); 3) combinada (4 tiempos) ($87^{\circ} \pm 10^{\circ}$).

Las diferencias observadas por el hecho de que por uno de los lados el nadador gira la cabeza para respirar, también pueden repercutir en el ángulo que forman los dos brazos.

1.2. El problema de la rotación longitudinal del cuerpo en el estilo crol

En los últimos años se ha tratado de analizar la relación existente entre la rotación longitudinal del tronco en el estilo crol y diversas variables cinemáticas de la trayectoria propulsiva. Un estudio preliminar de Hay, Liu y Andrews (1993) en el que se utilizó un modelo de dos segmentos cilíndricos (ver figura 1.4) permitió observar por medio de la filmación tridimensional que efecto producía en la trayectoria del brazo mecánico la rotación del cilindro que representaba al tronco. Este estudio demostró que si el codo está flexionado 30° ($180^{\circ}-30^{\circ}$) sólo es necesario un ángulo de 20° de rotación del tronco para conseguir que la extremidad distal de este brazo mecánico llegue a cortar el plano sagital del cuerpo del nadador y que a mayor rotación longitudinal de cuerpo mayor es la desviación medio-lateral de la extremidad distal del brazo mecánico. Este valor tan pequeño de rotación del tronco contrasta con los descritos por muchos autores dónde los valores oscilan entre 35° hasta 59.7° en el lado de respiración. Así mismo, se citan diferencias de más de 10° entre el brazo por donde respira en comparación con brazo por donde no se respira. Los nadadores pueden obtener desplazamientos medio laterales del brazo sin mover el brazo relativamente al tronco o lo que es lo mismo sin disminuir α , o sin incrementar β .

En los casos en que el nadador por demasiada rotación longitudinal excede el desplazamiento medio lateral de la mano deberá mover el brazo lateralmente hacia fuera en relación al tronco. El artículo finaliza afirmando que se debería dar más consideración a la hora de estudiar la trayectoria propulsiva de la mano a la influencia de la rotación longitudinal del tronco y menos a los movimientos relativos del brazo.

En un estudio experimental filmando a diez nadadores Liu, Hay y Guimaraes (1993) trataron de verificar los resultados obtenidos en el anterior estudio realizado utilizando un modelo cilíndrico. Las variables medidas se describen en la figura 1.5. En este grupo de nadadores los valores de rotación del tronco oscilaron entre 51.5° y 66.0° ($\bar{x}=60.8^{\circ}$) en el lado sin respiración, valores que excedían los registrados en la bibliografía. Los valores máximos de rotación se registraron entre el 45 y 50 por ciento del tiempo total de la fase acuática. Hasta el 80% del total de la tracción la variabilidad entre los nadadores en la rotación del tronco era pequeña ($3.9^{\circ}-6.4^{\circ}$), en el último 20% esta se incrementaba ($6.7^{\circ}-8.9^{\circ}$) debido las diferencias en la velocidad angular de la rotación del tronco, siendo los mejores nadadores los que presentaban velocidades mayores. La contribución de la rotación del tronco a la trayectoria propulsiva se estimó en 52,1% de promedio con lo que su

importancia es similar a la de los movimientos medio-laterales de la mano relativos al tronco. Estos movimientos laterales no ocurren en una secuencia medio-lateral sino que ocurren en una secuencia latero-medial. En otras palabras, el nadador mueve su mano hacia el exterior del tronco en rotación en la primera parte y hacia el interior del tronco en la segunda mitad. Estos resultados contradicen lo que se ha creído durante años en la descripción técnica del estilo crol.

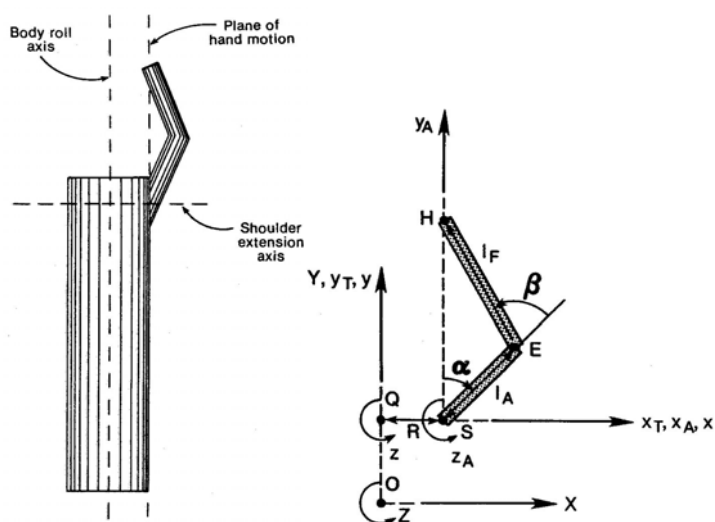


Figura 1.4: **Modelo cilíndrico de dos segmentos utilizado por Hay, Liu y Andrews (1993).** El cilindro que representa al brazo puede a su vez flexionarse a diferentes ángulos, tal como se ve en la figura contigua.

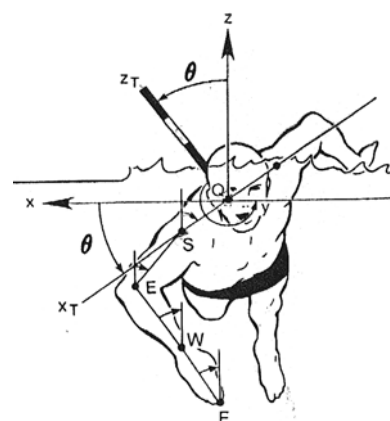


Figura 1.5: **Variables angulares utilizadas por Liu, Hay y Andrews (1993) para analizar la relación entre la rotación longitudinal del tronco y la trayectoria propulsiva.**

Posteriormente Payton, Hay y Mullineaux (1997) volvieron a utilizar el modelo descrito con anterioridad con el fin de observar el comportamiento de nuevas variables como la velocidad de las manos. Se demostró que la rotación longitudinal del tronco influye en la velocidad de la mano en el plano perpendicular al desplazamiento del nadador. Para una flexión del codo máxima dada, incrementar la rotación longitudinal del tronco de 45° a 60° incrementa marcadamente el movimiento medial de la mano, pero no así el movimiento vertical. Ocurre lo mismo si mantenemos fija la rotación longitudinal del tronco en su valor máximo, variaciones de la flexión del codo de 60° a 70° , sólo modifican los movimientos medio laterales pero no los verticales de la mano. Un incremento de la rotación longitudinal del tronco se acompaña de un incremento al cuadrado de la velocidad de la mano en el plano perpendicular a la dirección de movimiento. Por tanto, el aumento de la rotación longitudinal del cuerpo incrementa el potencial de la mano de generar fuerza de sustentación hidrodinámica.

Estudios más recientes de Payton, Bartlett, Baltzopoulos and Coombs (1999) realizado sobre nadadores y no sobre modelos, mostraron resultados hasta cierto punto contradictorios con lo observado en sus estudios anteriores afirmando que la rotación longitudinal del tronco no es la

responsable del movimiento medial de la mano observado en el estilo crol y que la rotación del tronco se opone al movimiento medial de la mano en vez de ayudarlo como se pensaba anteriormente en el movimiento hacia dentro. Por tanto el nadador, realizando el movimiento propulsivo hacia dentro gracias a la combinación de la flexión del codo y la flexión horizontal del hombro mientras el tronco rota hacia la posición neutral (hombros horizontales en el agua). Los estudios realizados con anterioridad por medio de modelos de simulación (Hay et al. 1993) y Payton et al. 1997) no representan con suficiente precisión los movimientos del tronco y de las extremidades superiores, ya que asumen que el tronco rota hacia el exterior (se aleja de la posición neutral) durante el movimiento hacia dentro, lo cual no ha ocurrido en los nadadores observados ni durante los intentos con respiración ni en los intentos en los que no se respiró. En el estudio se trataron de analizar también las diferencias cuando el nadador respira y cuando no lo hace. La rotación del tronco cuando se respira lateralmente es una media de 9° mayor que cuando nada sin respirar. Los valores de rotación máxima encontrados cuando se nada sin respirar fueron de $57 \pm 4^\circ$. La duración de las fases propulsivas junto con el tiempo total de tracción no se modificaron prácticamente en las dos situaciones (0,06 s más larga cuando se respira). La frecuencia de ciclo fue por tanto ligeramente menor al respirar y la longitud ciclo ligeramente mayor. La profundidad de la tracción junto con su amplitud horizontal no mostraron diferencias significativas cuando se nadaba respirando en comparación a cuando no se respiraba.

Payton, Bartlett, Baltzopoulos (1999) en otro estudio en el analizaron la contribución de la rotación del tronco en la velocidad de la mano, encontraron resultados análogos a los descritos en el párrafo anterior. La rotación contraria del tronco mientras la mano comienza el movimiento hacia dentro disminuye en 1.04 ± 0.28 m/s la velocidad absoluta de la mano o lo que es lo mismo, si el tronco no rotara la velocidad relativa sería un 46% mayor.

El presente estudio se enmarca en una serie de estudios en los que se trata de averiguar como la rotación sobre el eje longitudinal se modifica en diferentes situaciones y qué influencia tiene en la trayectoria propulsiva tridimensional de distintos grupos de nadadores de competición.

En esta caso analizaremos como se modifica la rotación longitudinal del cuerpo en las diferentes opciones de respiración que puede utilizar un nadador y en diferentes variaciones de la técnica del estilo crol con el fin de tratar evaluar como puede influir en la técnica del estilo crol la utilización de esas variaciones técnicas como ejercicios de entrenamiento.

2. MÉTODO

2.1. Sujetos

La muestra que se ha utilizado en este estudio está constituida por 17 nadadores, 7 mujeres y 10 hombres de nivel nacional pertenecientes al Centro de Entrenamiento de Granada, con edades

comprendidas entre 13 y 18 años. El criterio de elección seguido fue, el seleccionar a todos aquellos nadadores que hayan realizado las marcas mínimas que la Federación Española de Natación establece para poder participar en las diferentes competiciones nacionales. Según el criterio de selección expuesto, la muestra debe de considerarse como incidental y condicionada por el nivel de rendimiento en distintos estilos y distancias. La media de edad de los participantes es de 15 años para las chicas y 16 años para los chicos. Doce de los sujetos tienen el estilo crol como primer estilo y cinco lo tienen como segundo estilo. El lado de respiración dominante durante el nado a crol fue el derecho en todos los casos.

2.2. Técnicas instrumentales y material utilizado

Se utilizaron técnicas fotogramétricas bidimensionales (2D), las cuales requieren la filmación del gesto desde un ángulo de visión que permita la digitalización de los movimientos en el plano deseado, el plano frontal en este caso.

En esta filmación se utilizaron dos cámaras de video Panasonic S-VHS NV-MS4, ambas con una frecuencia de muestreo de 50 campos por segundo (50 Hz), y con una resolución y calidad de imagen de 307.200 píxeles, siendo el ajuste de las ópticas manual, según niveles del fotómetro, seleccionándose el obturador a 1/1000 s. Estas cámaras se situaron en dirección frontal al desplazamiento una en la superficie y otra subacuática siendo unidas ambas tomas con una mezcladora de imagen y registrándose simultáneamente a través de un magnetoscopio S-VHS Panasonic 850, reproduciendo los registros a 50 campos por segundo. El magnetoscopio fue conectado a un videocronómetro, que insertó el código de tiempo en una zona visible del fotograma, con el fin de facilitar la localización e identificación de los fotogramas en una cinta de vídeo SVHS para su posterior análisis.

Para definir los ángulos de Rotación del Tronco se utilizó una referencia dorsal, construida con una barra de metacrilato de 0,5 m de longitud y 0,01 m de diámetro, pintada en negro, con una base, también de metacrilato, de 0,08x0,05 m que se fijó a la espalda de los sujetos, a nivel del borde inferior de las escápulas, con un cinturón elástico cerrado con velcro, envolviendo el tórax del nadador (ver figura 2.1). Una bola de plástico blanco en el extremo de la barra y otra a 25cm facilitará su posterior visualización para digitalizarlas y así trazar una línea recta de referencia. Sistemas similares de aletas dorsales han sido utilizados por diversos autores (Beekman y Hay, 1988; Liu et al.,1993; Payton, Bartlett y Baltzopoulos,1998). Un sistema de referencia colocado en el área de filmación permitió establecer con precisión la situación de la superficie del agua o lo que es lo mismo la referencia horizontal.



Figura 2.1. Sistema de registro de imágenes utilizado en el estudio dónde se observa la imagen obtenida desde la cámara subacuática y la cámara sobre el agua.

La digitalización de las posiciones adoptadas por el brazo y la barra dorsal, se llevó a cabo en computador compatible PC equipado con una tarjeta para el tratamiento de la señal de vídeo con una resolución de pantalla de 800x600 pixels, siendo las posiciones registradas gracias a la utilización de un ratón y un programa desarrollado al efecto para conocer las coordenadas marcadas y los ángulos formados tanto entre segmentos corporales como entre la referencia dorsal y el eje vertical.

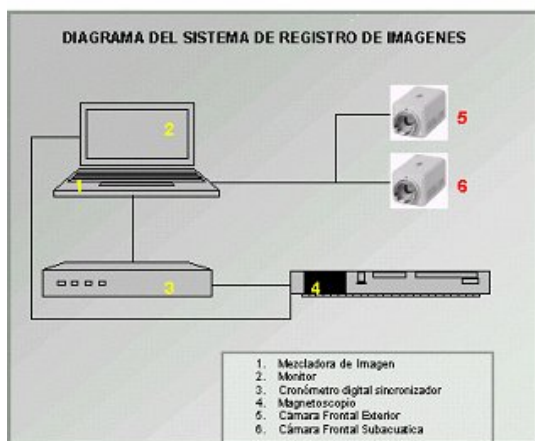


Figura 2.2: Diagrama del sistema de registro de imágenes

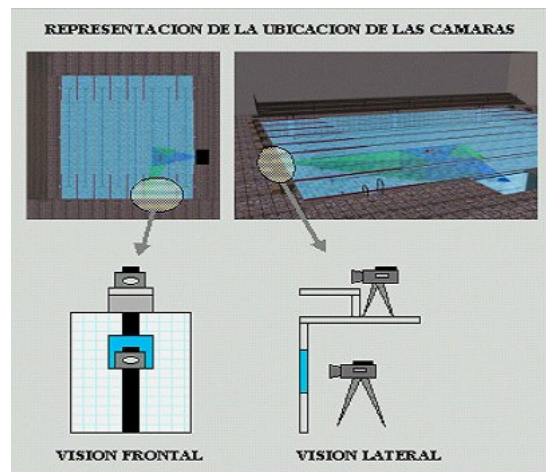


Figura 2.3: Diagrama de la colocación de las cámaras durante la sesión de registro.

2.3. Procedimiento

El registro de las filmaciones fue realizado en una sesión de entrenamiento planteada a los nadadores como de "análisis técnico". Por la frecuencia con que suelen realizar este tipo de sesiones es algo a lo que ya están habituados, por lo que la presencia de cámaras de vídeo y personal adicional no les resulta una situación extraña que pueda alterar su ritmo habitual o sus

ejecuciones en el agua. Los nadadores efectuaron un calentamiento de competición (estandar), tras el cual realizaron 9 series de 15m. saliendo cada 2 minutos con una velocidad lo más parecida posible al ritmo de nado en 100 metros. Se estableció un orden de ejecución aleatorio para cada uno de los sujetos con el fin de evitar la variable contaminante de aprendizaje debida al efecto orden.

2.3.1. Variables

2.3.1.1. Variable Independiente

Consideramos variable independiente a la acción técnica ejecutada, en la que diferenciamos varios niveles:

1. Nado estilo crol con respiración por el lado dominante (**NRdom.**)
2. Nado estilo crol con respiración por el lado no dominante (**NRnodom.**)
3. Nado estilo crol sin respirar (**NSR**)
4. Nado estilo crol con un brazo manteniendo el otro extendido delante de la cabeza y respirando por el lado del brazo ejecutor. (**Bext.Rejec.**)
5. Nado estilo crol con un brazo, manteniendo el otro junto al cuerpo y respirando por el lado del brazo no ejecutor. (**Bflex.Rnoejec.**)
6. Nado con un brazo manteniendo el otro junto al cuerpo y respirando por el lado del brazo ejecutor. (**Bflex.Rejec.**)

Analizando en cada uno de estos niveles las acciones tanto del brazo derecho como del brazo izquierdo. Nos aseguramos durante las semanas previas a los registros que los nadadores practicaron los ejercicios propuestos durante sus sesiones de entrenamiento con el fin de que hubieran practicado suficientemente las diferentes variaciones del estilo crol.

2.3.1.2. Variables Dependientes

2.3.1.2.1. Variables temporales

Para este estudio sólo hemos considerado la fase acuática de la acción de los brazos, considerada como fase propulsiva y también denominada tracción, que comprende desde la entrada de la mano en el agua hasta la salida de la misma mano del agua. En este intervalo de movimiento distinguimos tres acciones diferentes:

1. Acción de movimiento hacia abajo: comprende desde la entrada de la mano en el agua hasta que alcanza el punto de máxima profundidad. La duración de esta fase la hemos identificado como t_1 . Por simplificación se ha comprendido en esta fase el movimiento de entrada y extensión.
2. Acción de movimiento hacia dentro: comprende desde el punto de máxima profundidad hasta que alcanza la mano la posición más medio-lateral-interna de su desplazamiento. La duración de esta fase la hemos identificado como t_2 .

3. Acción de movimiento hacia arriba: comprende desde el punto más medio-lateral-interno hasta la salida de la mano del agua. La duración de esta fase la hemos identificado como t_3 .
4. Acción total del movimiento de tracción: comprende el total de las tres fases anteriores. La duración de esta fase la hemos identificado como t_t .

2.3.1.2.2. Variables angulares

Los ángulos serán medidos con un programa diseñado para realizar estos cálculos al digitalizar los diferentes puntos. En general se calcula el ángulo formado por una línea trazada entre dos puntos digitalizados y la horizontal o bien entre tres puntos digitalizados. Las variables analizadas fueron:

1. Ángulo de máxima rotación longitudinal del tronco ($\square_{Hmax}$): Considerado como el mayor ángulo formado por la aleta dorsal proyectada sobre el plano frontal (y-z) y la vertical durante la acción propulsiva del brazo analizado. Dicho cálculo se realiza mediante el producto escalar del vector posición de la aleta y el que define el eje Z del sistema de referencia inercial.
2. Ángulo de la rotación del tronco en el momento de máxima flexión de codo ($\square_{Cmax}$): Considerado como el ángulo formado por la aleta dorsal proyectada sobre el plano frontal (y-z) y la vertical en el momento en que el brazo que tracciona alcanza su punto de máxima flexión.
3. Ángulo de flexión de codo en el momento de máxima rotación de hombros ($\square_{Hmax}$): Considerado como el ángulo formado por los segmentos corporales brazo y antebrazo, proyectado en el plano frontal, en el momento de máxima rotación de hombros sobre el eje longitudinal del cuerpo.
4. Ángulo de máxima flexión del codo ($\square_{Cmax}$): Considerado como el menor ángulo formado por los segmentos corporales brazo y antebrazo durante la acción propulsiva del brazo analizado. Igualmente proyectado en el plano frontal y determinado mediante el producto escalar de los vectores que determinan las posiciones del brazo y el antebrazo.
5. Ángulo de rotación del tronco en el momento de la salida de la mano del agua ($\square_{Hfin}$): Considerado como el ángulo formado por la aleta dorsal proyectada sobre el plano frontal (y-z) y la vertical en el momento en que el brazo ejecutor finaliza su movimiento de tracción (acción propulsiva o fase acuática). Este ángulo se expresa con un valor negativo para indicar que la rotación se realiza al lado contrario del brazo ejecutor.
6. Rango de rotación total de los hombros durante la tracción ($\square_{Htotal}$): Obtenido mediante el sumatorio de los valores absolutos de los ángulos ($\square_{Hmax}$). y ($\square_{Hfin}$). (máxima rotación de tronco y ángulo de rotación de tronco en la salida de la mano del agua respectivamente).

En relación al tratamiento estadístico aplicado, en primer lugar se realizó un análisis descriptivo a partir de las medidas de tendencia central, posteriormente y tras el análisis de la normalidad de los datos objeto de estudio mediante el test de Kolmogorov-Smirnov, se aplicó una estadística inferencial, análisis de T de Student, con el propósito de conocer las diferencias que pueden existir entre las medias de los registros obtenidos.

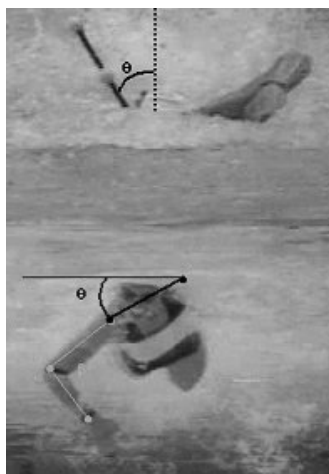


Figura 2.4. : **Variables angulares medidas en el presente estudio.**

3. RESULTADOS

3.1. Variables temporales

Se ha registrado el tiempo total empleado en realizar el movimiento acuático de la mano (tracción) (T_t) y los tiempos empleados en cada una de las fases en que hemos dividido la tracción: tiempo de movimiento hacia abajo (t_1); tiempo de movimiento hacia dentro (t_2) y tiempo de movimiento ascendente (t_3).

El análisis de los parámetros temporales se ha realizado tanto en valores absolutos (tabla 3.1), expresándose la duración en segundos (**s**), como en valores relativos (tabla 3.2) expresándose la duración de cada movimiento como porcentaje del tiempo total de la tracción o fase acuática completa (%).

En lo relativo a t_1 o tiempo de movimiento hacia abajo y como se puede comprobar en la tabla 3.1 la duración de esta fase muestra los valores más reducidos en el ejercicio realizado a crol completo sin respirar (NSR), tanto en las ejecuciones con brazo derecho como con el izquierdo, (0.406s y 0.388s respectivamente), mostrando estos datos diferencias significativas ($p < 0.01$) cuando se cruzan con los correspondientes a los ejercicios de nado crol estilo completo con respiración

(NRdom y NRnedom), los cuales aparecen con valores más elevados y próximos a 0.500s. La duración de movimiento hacia abajo presenta los valores más elevados en los ejercicios realizados con un solo brazo, donde todos superan los 0.520s, de este modo encontramos diferencias claramente significativas ($p < 0.001$) al cruzar estos datos con los procedentes del ejercicio crol sin respiración y así mismo ciertas diferencias ($p < 0.05$) con el resto de los ejercicios ejecutados a nado completo y con respiración.

La siguiente fase en que dividimos el movimiento de tracción es la acción de movimiento hacia dentro t_2 en la que observando la tabla 3.1 se puede comentar que los datos obtenidos en esta fase de movimiento son similares en todos los ejercicios, lo cual se confirma al comprobar, una vez realizado el análisis inferencial, que no existen diferencias significativas entre ellos. Sí es oportuno comentar, que es la única fase en la que las duraciones medias de los ejercicios realizados con un solo brazo son ligeramente más reducidas (entre 0.188s y 0.206s) que las duraciones medias de los ejercicios realizados a nado completo (entre 0.198s y 0.213s) aspecto exclusivo de esta segunda acción del movimiento de tracción.

La duración del movimiento ascendente t_3 , último movimiento que se describe en la trayectoria de la tracción en el estilo crol y cuyos datos descriptivos se muestran también en la tabla 3.1, aparece de nuevo con valores mínimos en el ejercicio nado estilo completo sin respiración (0.311s brazo izquierdo y 0.318s brazo derecho) presentando, al cruzar estos datos con los obtenidos en los ejercicios a nado completo con respiración, diferencias significativas al nivel de $p < 0.01$ y, diferencias al nivel de $p < 0.001$ si se cruzan con los ejercicios ejecutados con un solo brazo. Las medias obtenidas en la duración del movimiento ascendente que muestran los ejercicios realizados con un solo brazo, son superiores a las aparecidas en el nado completo, aunque no existe significación en el ejercicio Bext.Rejec. Destacar los valores máximos del ejercicio realizado con un solo brazo manteniendo el otro junto al cuerpo y respirando por el lado no ejecutor (Bflex.Rnoejec), que con medias superiores a 0.400s muestran diferencias al nivel de $p < 0.001$ con el resto de las ejecuciones, y la significación al nivel de $p < 0.01$ para el ejercicio ejecutado con el brazo junto al cuerpo y respirando por el lado ejecutor (Bflex.Rejec.) al cruzarlo con los datos de los demás ejercicios.

El tiempo total de tracción constituye la suma de los tres tiempos descritos anteriormente ($T_t = t_1 + t_2 + t_3$). En la tabla 3.1, se presentan los promedios referidos al tiempo total empleado por la mano en realizar la acción propulsiva completa (tracción). En ella se puede observar cómo cuando se analizan los datos procedentes de los ejercicios de nado crol a estilo completo, el tiempo de tracción (T_t) alcanza los valores más bajos en los ejercicios sin respiración, tanto cuando se refieren al brazo derecho como al izquierdo, con una duración de 0.929s y 0.896s respectivamente, siendo el único ejercicio cuya duración total de tracción es inferior a 1.0 segundos, y quedando el resto de los ejercicios ejecutados a nado completo con respiración entre 1.009s y 1.064s. Cabe destacar que la duración del tiempo de tracción es superior en los ejercicios realizados con un solo brazo frente a los ejecutados a nado completo. Esto hace que aparezcan claras diferencias al nivel

de $p < 0.001$ en los cruces de datos procedentes del nado completo sin respiración (NSR) con el resto de los ejercicios planteados, tanto a nado completo con respiración como los realizados con un solo brazo. Igualmente encontramos que, a pesar de la superior duración de los ejercicios realizados con un brazo, no aparecen diferencias en el cruce entre el ejercicio con el brazo extendido (Bext.Rejec) y los de nado completo con respiración (dominante y no dominante), mientras que los ejercicios con el brazo junto al cuerpo sí muestran diferencias, a nivel de $p < 0.001$ para el ejercicio con respiración por el lado no ejecutor y a nivel de $p < 0.01$ para el ejercicio con respiración por el lado ejecutor en sus cruces con el resto de los ejercicios.

En la tabla 3.2 se muestran los promedios de las variables temporales, expresadas en términos relativos al tiempo total de la tracción. Observando la fase de movimiento hacia abajo (t_1) encontramos que los valores obtenidos en el ejercicio nado crol sin respiración se presentan de nuevo como los más reducidos (42.70% y 42.96%), e igualmente, los valores de los ejercicios realizados con un solo brazo (en todas sus variantes) presentan medias ligeramente superiores (entre 44.52% y 49.28%) a las obtenidas en las ejecuciones a nado completo (entre 42.70% y 46.05%), sin embargo es de destacar que estas diferencias no aparecen como significativas tras el análisis inferencial de los datos.

En lo referente al tiempo de movimiento hacia dentro (t_2), cuando se utilizan los datos en términos relativos, encontramos valores con medias algo inferiores en los datos correspondientes a los ejercicios ejecutados con un solo brazo, comprendidas entre 16.22% y 18.68%, y más elevadas en los realizados con nado completo, comprendidas entre 20.03% y 22.74%. Como ya vimos anteriormente es la única fase del movimiento de tracción donde los valores de los ejercicios con un solo brazo son más reducidos que los obtenidos en los ejercicios realizados a nado completo.

En este caso encontramos diferencias ($p < 0.05$) en el cruce de los ejercicios realizados con un solo brazo, manteniendo el otro junto al cuerpo y con respiración por el lado no ejecutor (Bflex.Rnoejec.), y los realizados a nado completo.

Con relación a la duración relativa del movimiento ascendente (t_3), en la tabla 3.2, se observa que los datos procedentes del nado completo con o sin respiración se mantienen con medias muy similares que oscilan entre 33.21% para NRnodom.lzd. y 35.04% para (NSR.lzd), no existiendo diferencias significativas entre ellos.

Cuando nos referimos a los ejercicios realizados con un solo brazo, sólo encontramos diferencias significativas ($p < 0.01$) en los datos del ejercicio realizado con el brazo junto al cuerpo y respirando por el lado no ejecutor (Bflex.Rnoejec.) al cruzarlos con el resto de los ejercicios, al presentar valores de tiempo relativo más elevados (37.46% y 39.11%).

	t₁ (s)		t₂ (s)		t₃ (s)		T_{total} (s)	
	X	d.t.	X	d.t.	X	d.t.	X	d.t.
NRdom.Dch	0.493	0.171	0.209	0.065	0.345	0.043	1.047	0.142
NRdom.lzd	0.449	0.122	0.213	0.052	0.347	0.043	1.009	0.128
NRnodom.Dch	0.494	0.159	0.208	0.068	0.361	0.060	1.064	0.151
NRnodom.lzd	0.480	0.141	0.211	0.056	0.336	0.054	1.027	0.149
NSR.Dch	0.406	0.156	0.206	0.068	0.318	0.036	0.929	0.121
NSR.lzd	0.388	0.117	0.198	0.079	0.311	0.035	0.896	0.127
Bext.Rejec.Dch	0.520	0.175	0.200	0.067	0.369	0.042	1.089	0.187
Bext.Rejec.lzd	0.566	0.221	0.191	0.043	0.365	0.053	1.121	0.216
Bflex.Rnojec.Dch	0.556	0.152	0.190	0.032	0.440	0.044	1.186	0.152
Bflex.Rnojec.lzd	0.561	0.151	0.206	0.071	0.485	0.088	1.252	0.166
Bflex.Rejec.Dch	0.559	0.166	0.199	0.068	0.394	0.049	1.152	0.171
Bflex.Rejec.lzd	0.575	0.228	0.188	0.058	0.399	0.084	1.162	0.256

Tabla 3.1: Medias y desviaciones típicas de las variables temporales medidas en el estudio expresadas en segundos.

	t₁ relativo (%)		t₂ relativo (%)		t₃ relativo (%)	
	X	d.t.	X	d.t.	X	d.t.
NRdom.Dch	46.05	10.46	20.60	7.71	33.34	4.87
NRdom.lzd	44.04	7.84	21.19	5.15	34.77	5.31
NRnodom.Dch	45.70	10.13	20.03	7.71	34.26	5.30
NRnodom.lzd	46.00	8.38	20.80	6.19	33.21	5.78
NSR.Dch	42.70	11.73	22.74	8.7	34.56	4.88
NSR.lzd	42.96	9.49	22.00	8.51	35.04	4.5
Bext.Rejec.Dch	46.91	9.12	18.68	6.66	34.41	4.48
Bext.Rejec.lzd	49.28	8.66	17.59	5.18	33.12	5.46
Bflex.Rnojec.Dch	46.90	6.99	16.22	3.31	37.46	4.83
Bflex.Rnojec.lzd	44.52	8.04	16.37	5.09	39.11	7.13
Bflex.Rejec.Dch	47.84	7.99	17.56	6.54	34.60	4.66
Bflex.Rejec.lzd	48.55	7.63	16.60	5.42	34.85	6.24

Tabla 3.2: Medias y desviaciones típicas de las variables temporales medidas en el estudio expresadas en porcentajes del tiempo total de la tracción.

3.2. Variables angulares

Para la medida de los ángulos de rotación alrededor del eje longitudinal del cuerpo, se ha considerado asignar a los ángulos obtenidos, valor positivo cuando la referencia dorsal, y por tanto la línea de hombros, se encuentran inclinados hacia el lado del brazo ejecutor y valor negativo cuando la referencia dorsal, y por tanto la línea de hombros, se encuentran inclinados hacia el lado del brazo no ejecutor.

Bajo estas condiciones se han considerado tres momentos puntuales: instante de máxima rotación de hombros sobre el eje longitudinal del cuerpo (θ_{Hmax}), que suele coincidir con el final del movimiento hacia abajo de la mano y donde los hombros se encuentran inclinados hacia el lado del brazo ejecutor. En este momento medimos también la flexión del codo (β_{Hmax}); instante de máxima flexión del codo (β_{Cmax}), que suele coincidir con el final del movimiento hacia dentro de la mano y donde la rotación de hombros (θ_{Cmax}), está recuperando su posición horizontal; y, en tercer lugar, el instante final de la tracción, coincidente con el final del movimiento ascendente de la mano y donde los hombros se encuentran en su máxima rotación hacia el lado del brazo no ejecutor (θ_{Hfin}), (el valor de este ángulo suele ser negativo); por último, medimos también el rango total de rotación del tronco (θ_{Htotal}), durante toda la acción propulsiva.

Los resultados relativos al ángulo de máxima rotación de hombros en el eje longitudinal del cuerpo se muestran en la tabla 3.3. En ella podemos observar que en el nado completo sin respiración no aparecen diferencias, en la rotación máxima de tronco, entre las ejecuciones con brazo derecho e izquierdo presentando medias de 60° y 58° en NSR.Dch y NSR.Izd respectivamente, ángulos similares aparecen en los ejercicios realizados a nado completo con respiración, cuyo brazo ejecutor coincide con el lado de respiración, esto es, con el brazo derecho en NRdom. (59°) y con el brazo izquierdo en NRnodom. (57°). Por el contrario, cuando se refiere a la rotación de hombros en las ejecuciones con brazo contrario al lado de respiración se observa un incremento en las medias, obteniéndose valores de 69° tanto en el nado con respiración al lado dominante en la acción con brazo izquierdo (NRdom.Izd.) como hacia el lado no dominante en la acción del brazo derecho (NRnodom.Dch.). Aparecen, por tanto, diferencias claramente significativas ($p < 0.001$), entre las ejecuciones coincidentes con la acción de respiración y las que se efectúan sin respiración, en la rotación máxima de hombros.

En lo relativo a los ejercicios analíticos, realizados con un solo brazo, comprobamos que los ejercicios en los que se respira por el lado no ejecutor (Bflex.Rnoejec.) aparecen grados de rotación máxima de hombros, de 63° y 66° para brazo derecho e izquierdo respectivamente, próximos a los obtenidos en los ejercicios realizados a nado completo (Tabla 3.3.) por lo que tras el análisis inferencial comprobamos que las diferencias aparecidas son ligeramente significativas ($p < 0.05$) sólo en el cruce de estos ejercicios con los que en el nado completo obtuvieron medias inferiores a 60°, estos son NRdom.Dch. y NRnodom.Izd.

Cuando nos referimos a los datos correspondientes a los ejercicios ejecutados con un solo brazo con respiración por el lado ejecutor, se aprecia que los valores del ángulo de máxima rotación de hombros presentan medias muy diferentes en cada ejercicio. Así, se observa que, cuando el brazo no ejecutor se mantiene extendido delante de la cabeza (Bext.Rejec.), aparecen ángulos muy reducidos, con valores en sus medias de 10° y 5° para el brazo derecho e izquierdo respectivamente, lo cual indica que en este ejercicio la rotación sobre el eje longitudinal, hacia el lado ejecutor es muy reducida, mientras en el ejercicio que mantiene el brazo no ejecutor junto al cuerpo (Bflex.Rejec.), se observan ángulos de 26° y 20° , para el brazo derecho e izquierdo respectivamente. Encontramos, por tanto, diferencias claramente significativas a nivel de $p < 0.001$ en los datos obtenidos en los ejercicios realizados con un solo brazo y respirando por el lado ejecutor, independientemente de que el otro brazo se sitúe extendido delante o flexionado junto al cuerpo, (Bext.Rejec. y Bflex.Rejec.) con respecto al resto de las ejecuciones, tanto las de nado completo (NRdom., NRnodom. Y NSR) como las de un solo brazo con respiración por el lado no ejecutor Bflex.Rnoejec. También este nivel de diferencias se obtienen incluso entre sí mismas, ya que como podemos comprobar en la tabla 3.3. se obtuvieron medias muy inferiores al resto, pero a la vez diferentes entre ellas.

Al observar el ángulo de rotación de hombros en el momento de máxima flexión de codo (θ_{cmax}). y como se puede comprobar en la tabla 3.3. en los datos procedentes de los ejercicios de nado crol a estilo completo, el ángulo de rotación (θ_{cmax}) es muy similar en todos los casos, existiendo sólo 11° de diferencia entre el valor medio más bajo, (NSR.Izd. con una rotación de 31°) y el valor más elevado, para el ejercicio crol con respiración por el lado no dominante ejecutado con el brazo derecho (NRnodom.Dch. con una rotación de 42°). Registros muy similares se han obtenido en el ejercicio realizado con un brazo y respiración por el lado no ejecutor (Bflex.Rnoejec.) tanto cuando los datos se obtienen con el brazo derecho como con el izquierdo, con ángulos de rotación de 42° y 38° respectivamente. Lo que, de nuevo, provoca la ausencia de diferencias al cruzar los ejercicios realizados a nado completo entre sí, ni en el cruce de éstos con el ejercicio realizado con un brazo y respirando por el lado no ejecutor.

En lo referente a los ejercicios ejecutados con un solo brazo y respiración por el lado ejecutor, se aprecia como los valores del ángulo de rotación de hombros en el momento de máxima flexión del codo, presentan medias diferentes en cada ejercicio, aspecto coincidente con los resultados obtenidos en la rotación máxima de hombros (θ_{Hmax}), observándose gran similitud entre ambas situaciones. Así, se observa que, en las ejecuciones realizadas con el brazo no ejecutor extendido delante de la cabeza, aparecen ángulos negativos, lo cual indica que en este ejercicio los nadadores tienen los hombros inclinados hacia el lado del brazo no ejecutor con valores de -10° y -15° , este hecho puede estar relacionado con la escasa rotación máxima de hombros sobre el eje longitudinal (θ_{Hmax}) que este mismo ejercicio mostró anteriormente. A medida que continúa la acción del brazo que tracciona, los hombros comienzan a rotar hacia el lado contrario para

recuperar la horizontal y continuar con la rotación hacia el lado no ejecutor. Si bien, lo habitual es ir reduciendo la rotación a medida que nos acercamos a la mitad de la tracción vemos que, en este ejercicio, ya se ha superado esa horizontal, y los hombros se inclinan ligeramente hacia el lado contrario, anticipándose con respecto al resto de los ejercicios, donde esto no ocurre.

Situación parecida se observa con los registros del ejercicio Bflex.Rejec. tanto con brazo derecho como izquierdo, donde no llega a aparecer rotación al lado contrario, pero sí se encuentran los hombros prácticamente en la horizontal, con ángulos de 5° y 1° para Bflex.Rejec.Dch y Bflex.Rejec.Izd. bastante más adelantados que los ejercicios a nado completo. El análisis inferencial en esta situación muestra diferencias claramente significativas a nivel de $p < 0.001$ en los ejercicios realizados con un solo brazo y respirando por el lado ejecutor, independientemente de que el otro brazo se sitúe extendido delante o flexionado junto al cuerpo, Bext.Rejec. y Bflex.Rejec. con respecto al resto de los intentos, tanto las de nado completo (NRdom., NRnodom. Y NSR) como las de un solo brazo con respiración por el lado no ejecutor (BflexRnoejec). Incluso entre sí mismas, debido a la distancia entre sus medias, muy inferiores al resto, pero a la vez distantes entre ellas. Se puede observar, de nuevo, la similitud entre estos resultados y los obtenidos en el parámetro máxima rotación de hombros (θ_{Hmax}).

En la tabla 3.3 podemos observar, así mismo, el análisis descriptivo del promedio de la variable ángulo de rotación de hombros en el momento de la salida de la mano del agua (θ_{Hfin}). Este ángulo se expresa siempre con un valor negativo para indicar que la rotación se realiza al lado contrario del brazo ejecutor. En la citada tabla observamos como en los ejercicios de nado crol a estilo completo, el ángulo de rotación (θ_{Hfin}) presenta una inclinación hacia el lado del brazo no ejecutor comprendida entre -51° y -62° . mostrando una tendencia hacia una mayor rotación aquellas ejecuciones cuyo brazo coincide con el lado de respiración, NRdom.Dch. (-61°) y NRnodom.Izdo. (-62°) y menor rotación las ejecuciones cuyo brazo es contrario al lado de respiración -51° tanto en NRdom.Izd. como en NRnodom.Dch. apareciendo en estos casos diferencias a nivel de $p < 0.01$ en los cruces de estos ejercicios. El ejercicio nado crol sin respiración con medias de 53° y 52° para brazo derecho e izquierdo respectivamente presenta diferencias significativas $p < 0.05$ en relación con las ejecuciones cuyo brazo coincide con el lado de respiración.

En lo que se refiere a las medias correspondientes a los ejercicios ejecutados con un solo brazo, podemos observar, en este caso, que los valores del ángulo de rotación de hombros son más reducidos para el ejercicio Bflex.Rnoejec. donde se ejecuta la acción manteniendo el brazo contrario junto al cuerpo y respirando por el lado no ejecutor, con valores de 51° para el brazo derecho y 52° para el brazo izquierdo, muy similares a los obtenidos en el nado completo con el brazo contrario al lado de respiración, mientras que los ejercicios realizados con un solo brazo con respiración por el lado ejecutor muestran ángulos de rotación mayores, superando los 60° . El ejercicio Bext.Rejec. donde el brazo no ejecutor se encuentra extendido delante de la cabeza es el

que alcanza la mayor rotación de hombros al lado no ejecutor con valores de 67° para el brazo derecho y de 69° para el brazo izquierdo.

Tras el estudio inferencial, observamos que al tratar la variable Ángulo de rotación de hombros sobre el eje longitudinal del cuerpo en el momento de la salida de la mano del agua, se encuentran diferencias destacables en dos situaciones, al igual que ocurría en los apartados anteriores donde tratamos la rotación de los hombros, las apreciadas cuando se cruzan los datos correspondientes al ejercicio ejecutado con un brazo manteniendo el otro delante de la cabeza, Bext.Rejec. y el resto de los ejercicios. Siendo de destacar estas diferencias a nivel de $p < 0.001$ tanto cuando se cruzan estos datos con los obtenidos a partir de los ejercicios ejecutados a nado completo, con brazo contrario al lado respiración (NRdom.lzd. y NRnodom.Dch.) y con crol sin respiración (NSR) como al cruzarse con el ejercicio realizado con un brazo y respirando por el lado no ejecutor Bflex.Rnoejec.

Así mismo, el ejercicio Bflex.Rejec. que se ejecuta manteniendo el brazo no ejecutor flexionado junto al cuerpo y respirando por el lado ejecutor, muestra claras diferencias, a nivel de $p < 0.001$, con el ejercicio realizado con un solo brazo con respiración por el lado no ejecutor Bflex.Rnoejec., donde la única modificación técnica se encuentra en la respiración, que en este último caso se realiza por el lado no ejecutor, e igualmente ocurre al cruzar estos datos con los ejercicios nado completo en las ejecuciones con brazo contrario al lado de respiración. Si comparamos Bflex.Rejec. con el nado crol sin respiración (NSR.) encontramos diferencias a nivel de $p < 0.01$.

Por último comentaremos los promedios referidos a la variable rango de rotación total de hombros durante la tracción de la mano (θ_{Htotal}). Obtenido mediante la sumatoria de los valores absolutos de los ángulos (θ_{Hmax}) y (θ_{Hfin}) (máxima rotación de hombros y ángulo de rotación de hombros en la salida de la mano del agua respectivamente).

En la tabla 3.3. se presentan los datos descriptivos de tendencia central de esta variable, en ella se observa que el rango total de rotación en los ejercicios realizados a nado completo supera siempre los 100°, en concreto, oscila entre el valor mínimo registrado en el nado sin respiración, NSR.lzd. con 113° y el máximo registrado en el nado con respiración, NRnodom.Dch. con 121°.

En los ejercicios realizados con un solo brazo, se observa que el ejercicio Bflex.Rnoejec., el único que se realiza respirando por el lado no ejecutor, presenta un rango de rotación total de hombros de 114°(brazo derecho) y 117° (brazo izquierdo), no mostrando diferencias en relación a los ejercicios de nado completo, y siendo estos registros claramente superiores a los otros ejercicios realizados con un brazo y con respiración por el lado ejecutor los cuales no superan los 88°.

Los resultados del análisis inferencial del rango de rotación total de hombros indican claras diferencias, a nivel de $p < 0.001$, cuando se cruzan los datos correspondientes a los ejercicios realizados con un solo brazo y respirando por el lado ejecutor, Bext.Rejec y Bflex.Rejec. y el resto de los ejercicios, tanto los de nado completo como el ejercicio con un solo brazo con respiración por el lado no ejecutor.

	θH_{max}		θC_{max}		θH_{fin}		θH_{fin}	
	X	d.t.	X	d.t.	X	d.t.	X	d.t.
NRdom.Dch	59	12	33	17	-61	9	119	17
NRdom.lzd	69	11	38	24	-51	11	120	18
NRnodom.Dch	69	10	42	22	-51	8	121	17
NRnodom.lzd	57	13	27	24	-62	10	119	17
NSR.Dch	60	10	32	17	-53	9	113	16
NSR.lzd	58	12	31	23	-52	8	110	16
Bext.Rejec.Dch	10	14	-10	10	-67	9	77	17
Bext.Rejec.lzd	5	15	-15	13	-69	10	74	18
Bflex.Rnoejec.Dch	63	9	42	14	-51	8	114	14
Bflex.Rnoejec.lzd	66	10	38	27	-52	13	117	20
Bflex.Rejec.Dch	26	18	5	16	-62	7	88	23
Bflex.Rejec.lzd	20	16	1	21	-64	9	84	19

Tabla 3.3: Medias y desviaciones típicas de las variables angulares del tronco medidas en el estudio expresadas en grados.

	βH_{max}		βC_{max}	
	X	d.t.	X	d.t.
NRdom.Dch	165	26	108	16
NRdom.lzd	157	35	103	12
NRnodom.Dch	166	23	101	15
NRnodom.lzd	158	29	105	16
NSR.Dch	157	33	102	14
NSR.lzd	160	30	104	13
Bext.Rejec.Dch	168	24	101	10
Bext.Rejec.lzd	162	32	106	14
Bflex.Rnoejec.Dch	159	32	99	17
Bflex.Rnoejec.lzd	160	30	103	19
Bflex.Rejec.Dch	174	11	100	11
Bflex.Rejec.lzd	157	30	104	14

Tabla 3.4: Medias y desviaciones típicas de las variables angulares del codo medidas en el estudio expresadas en grados.

Sin duda, los resultados obtenidos en el rango total de rotación de hombros, son el reflejo de lo analizado anteriormente, en las rotaciones instantáneas de hombros durante la ejecución de la tracción, rotación en el momento de máxima flexión de codo, y rotación en el momento final de la tracción, en las que se muestran como destacadas las claras diferencias de los ejercicios realizados con un solo brazo y respiración por el lado ejecutor en relación con el resto de las ejecuciones, al igual que ocurre, por tanto, en el rango total de rotación.

Con respecto al ángulo de flexión del codo en el momento de máxima rotación de hombros en el eje longitudinal del cuerpo (β_{Hmax}), y observando la tabla 3.4. se puede comprobar que los valores de flexión del codo son muy similares en todos los ejercicios analizados, con un rango que no supera los 17°, oscilando los valores entre 157° y 174°, no apareciendo diferencias estadísticas entre sus medias. Situación que se repite con respecto al ángulo de máxima flexión del codo (β_{Cmax}), cuyos los valores son aún más próximos, existiendo entre ellos una diferencia máxima de 7°. Comprobamos con el análisis inferencial que la máxima flexión del codo, no presenta diferencias entre sus medias al comparar los ejercicios realizados a nado completo y los realizados con un solo brazo, existiendo en todos los casos una flexión máxima de codo próxima a 100°. Vemos por tanto que en el presente estudio el parámetro flexión del codo no ha proporcionado datos relevantes que se presten a discusión.

4. DISCUSIÓN

Como ya se ha indicado anteriormente, el tiempo total de tracción es la suma de los tiempos absolutos de cada una de las fases analizadas. Una vez expuestos los resultados, y centrándonos en los valores absolutos, vemos que, las fases determinantes de las diferencias entre unos ejercicios y otros son las de movimiento hacia abajo y de movimiento ascendente, puesto que la fase de movimiento hacia dentro no presentó diferencias entre los registros.

Analizando las variables temporales, se observa que las medias de duración, tanto en el movimiento hacia abajo como en el movimiento ascendente, del ejercicio nado completo sin respiración (NSR) se ven significativamente reducidas, lo cual se refleja la menor duración del tiempo total de tracción en este ejercicio. Igualmente, observamos que en los registros de movimiento hacia abajo y ascendente, en todos los casos ejecutados con un solo brazo tienen valores superiores a los realizados a nado completo. Lo que indica que, realmente, al ejecutar el nado con un solo brazo, la acción de la mano se realiza con mayor lentitud que cuando se realiza el nado completo. Esto pensamos que se debe a que durante la realización del estilo crol con un solo brazo la velocidad de desplazamiento se reduce mucho más que cuando nadamos estilo completo en coordinación normal, esto implica vencer la inercia del cuerpo que se desplaza a una menor velocidad lo que obliga a la aplicación de más fuerza sin la posibilidad de acelerar el cuerpo tanto como ocurre en el estilo completo. La relación entre cada una de las fases, indica que la fase de movimiento hacia abajo es la de mayor duración, algo más reducida es la de movimiento

ascendente y la más corta es la de movimiento hacia dentro. Las distancias recorridas en cada caso junto con la imposibilidad de aplicar una gran fuerza en el movimiento hacia abajo, hacen que esta fase sea la de mayor duración. Comparando estos datos con los obtenidos por Chatard et al. (1990) coinciden en que en su estudio, los nadadores de mayor nivel, obtuvieron unas duraciones medias de movimiento hacia dentro más cortas, pero contrariamente a lo descrito en nuestro estudio, ellos obtuvieron mayor duración en la fase de movimiento ascendente y menor en la de movimiento hacia abajo.

Se aprecia una falta de similitud en los resultados de la estadística inferencial entre los registros absolutos y los registros relativos. Esto se debe a que, en tiempo real, la duración de cada una de las fases puede verse modificada con los distintos tipos de ejecuciones, mientras que los registros relativos no se ven tan alterados al ir relacionados con el tiempo total de movimiento de la mano en el agua, que se modifica paralelamente con los cambios en las fases que la componen.

Haciendo referencia al tiempo relativo de cada una de las fases del movimiento de tracción, destacar que el tiempo de movimiento hacia abajo no presenta diferencias significativas; el tiempo de movimiento hacia dentro sí muestra diferencias, en este caso, entre los ejercicios realizados con un brazo con respiración por el lado no ejecutor, donde aparecen valores más reducidos, y los realizados a nado completo; y, por último, el movimiento ascendente muestra claras diferencias entre el ejercicio Bflex.Rnoejec. y el resto de los ejercicios, tanto con los realizados con un solo brazo como con los ejecutados a nado completo.

Por tanto, podemos decir, que la contribución de cada fase al tiempo total de tracción se mantiene prácticamente igual ante las distintas ejecuciones técnicas, con la clara excepción del ejercicio Bflex.Rnoejec. el cual ve reducido su porcentaje de tiempo de movimiento hacia dentro, para producir un incremento posterior sobre el tiempo de movimiento ascendente. Quizás debido a que el nadador no tiene el apoyo del otro brazo, ya que se encuentra inmóvil junto al cuerpo, y necesita compensar el movimiento de rotación realizado para la inspiración con menor desplazamiento medial de la mano, y mayor desplazamiento lateral que permita a los hombros recuperar la posición horizontal para continuar su giro al lado contrario en el momento de la salida de la mano del agua. Salvando esta excepción, con relación a un ejercicio analítico que normalmente no incluyen otros autores, los resultados coinciden con los obtenidos por Payton et al. (1999) que analizan el efecto de la respiración en la sincronización de las fases de la tracción del estilo crol, observando que, cuando los nadadores son de cierto nivel, no se producen alteraciones en la misma por el efecto de la respiración.

En lo referente a los parámetros angulares, y centrándonos en la máxima rotación de hombros sobre el eje longitudinal del cuerpo, observamos que aparecen diferencias a favor de una mayor rotación de hombros cuando se efectúa la respiración (Payton et al., 1999; Liu et al., 1993; López y Arellano, 1997), diferencia cuantificada en unos 10° aproximadamente, coincidiendo con los alcanzados en nuestro estudio, de 57° a 59° en las ejecuciones del brazo homolateral a la respiración (no coincide con la acción de respirar) y 69° en las ejecuciones del brazo contralateral a

la respiración (coincide con la acción de respirar). Es necesario destacar, que los valores obtenidos en la rotación máxima de hombros cuando la acción no coincide con la respiración son muy similares a los obtenidos con ambos brazos en el ejercicio de nado a crol sin respiración tal y como ocurre en los estudios citados.

En el presente estudio se han encontrado diferencias en algunos de los ejercicios analíticos, diferencias que radican en la reducción de la rotación máxima de hombros hacia el lado ejecutor en los ejercicios realizados con un solo brazo y con respiración por el lado ejecutor, Bext.Rejec. y Bflex.Rejec., siendo prácticamente inexistente para el ejercicio realizado con el brazo no ejecutor extendido Bext.Rejec (5°-10°). y muy reducido para el realizado con el brazo no ejecutor junto al cuerpo Bflex.Rejec (20°-26°). existiendo diferencias aproximadas a los 50° y a los 35° respectivamente en relación al resto de los ejercicios, tanto los realizados a nado completo, como el ejercicio realizado con un brazo y respiración por el lado no ejecutor. Estos datos coinciden con los obtenidos por López y Arellano (1997) que observaron que en los ejercicios analíticos de nado crol con un brazo y respiración por el lado ejecutor la rotación máxima de hombros fue de 12°-19° muy distantes de los 50° a los que se aproximaban el resto de las ejecuciones completas y analíticas con respiración por el lado no ejecutor.

Podemos interpretar estos resultados como la consecuencia de que en los ejercicios analíticos realizados con respiración por el lado ejecutor los nadadores realizan sus acciones en una posición ligeramente lateral con inclinación al lado no ejecutor, esto es, durante la primera parte de la tracción, donde los hombros deberían rotar hacia el lado ejecutor favoreciendo el desplazamiento medial de la mano, (Payton et al,1997,1999; Liu et al,1993) en estos ejercicios se reduce esta rotación por mantener el cuerpo “apoyado” sobre el lado no ejecutor, hecho al que contribuye el que no se realice en este momento respiración al lado contrario, realizando una tracción más lateral, tendencia que se acentúa a lo largo de la tracción.

Al final del movimiento hacia dentro, y teniendo en cuenta que durante esa acción el tronco efectúa una rotación progresiva al lado contrario (Payton et al,1997,1999; Liu et al,1993) tiene que existir una reducción en los valores de rotación de hombros, y podemos comprobar que efectivamente así ocurre en todos los ejercicios, sin embargo esta rotación continua siendo inferior en el ejercicio Bflex.Rejec, que ya ha alcanzado precipitadamente la horizontal (entre 1° y 5°) con una diferencia de alrededor de 30° con el resto de los ejercicios, y ya ha superado la horizontal (entre -10° y -15°), encontrándose los hombros rotados hacia el lado no ejecutor, en el ejercicio Bext.Rejec. con una diferencia de aproximadamente 40° en relación al resto.

Igualmente, en el momento final de la tracción, la rotación máxima de hombros hacia el lado no ejecutor, difiere en los ejercicios con un solo brazo y respiración por el lado ejecutor en relación con el resto de los ejercicios, pero en este caso por obtener valores superiores, aproximadamente unos 15° más de inclinación al lado no ejecutor, de nuevo debido a la posición de apoyo sobre el lado no ejecutor, favorecida por la acción de respiración en este momento por el lado del brazo que finaliza la acción propulsiva.

En este momento final de la tracción, las diferencias aparecidas en los ejercicios de crol con coordinación completa, entre las ejecuciones realizadas con el brazo contralateral a la respiración, con 51° de rotación y las ejecuciones realizadas con el brazo homolateral a la respiración, con 61° y 62° de rotación, se deben a la compensación de la situación inversa aparecida en el momento de máxima rotación de hombros, donde las primeras muestran ángulos superiores (69°) y las segundas inferiores (57° y 59°), y exactamente con la misma diferencia (10-12°) lo cual es lógico si entendemos que la coordinación del nado crol completo hace que coincida la máxima rotación de hombros en un brazo con la rotación de hombros al final de la tracción del contrario.

Por último, en cuanto al rango total de rotación, destacar que entre los ejercicios realizados a nado completo (NRdom, NRnodom y NSR), no se han producido diferencias, e igualmente, que el ejercicio ejecutado con un solo brazo y respiración por el lado no ejecutor (Bflex.Rnoejec) tampoco ha mostrado diferencias con los anteriores, lo cual hace pensar en la similitud de la ejecución entre ellos, tal y como se observa en el estudio de López y Arellano (1997). Siendo, por el contrario, destacables las diferencias mostradas por los ejercicios realizados con un solo brazo y respiración por el lado ejecutor.

5. CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio permiten establecer las siguientes conclusiones:

1. Nadar el estilo crol sin respirar disminuye la duración total de la tracción, debido a la reducción de tiempo del movimiento hacia abajo y el movimiento hacia arriba.
2. Nadar el estilo crol utilizando un solo brazo y respirando por el lado contrario al brazo ejecutor incrementa tanto la resistencia corporal que hace que la duración total de la tracción se incremente con relación a las demás variaciones técnicas.
3. La respiración modifica la rotación longitudinal del tronco en este grupo de nadadores en un valor aproximado de 10°.
4. Nadar crol con un brazo, manteniendo el brazo contrario al de respiración extendido delante, modifica completamente la rotación longitudinal del tronco, siendo esta rotación aproximadamente 5 veces menor en este ejercicio con relación a las otras formas de ejecutar el estilo crol. Una situación similar se produce cuando el brazo no ejecutor se mantiene junto al cuerpo, aunque la disminución de la rotación es justo la mitad. Este tipo de ejercicios modifica tanto la situación natural del estilo crol que no recomendamos su utilización habitual en el programa de ejercicios de asimilación técnica, pudiendo ser sustituido por el mismo ejercicio realizado con el brazo junto al cuerpo y con respiración por el lado contrario, ejercicio cuyos valores angulares son similares al estilo completo.

Los efectos de estos ejercicios sobre la trayectoria propulsiva tridimensional de cada mano, será nuestro próximo objetivo en el trabajo investigador que desarrollamos relacionado con el análisis de la técnica del estilo crol.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ARELLANO, R., & PARDILLO, S. (1990). Aproximación al Análisis Biomecánico Tridimensional aplicado a las Trayectorias propulsivas de los nadadores del equipo nacional participantes en los Campeonatos de Europa 1989 . Madrid: Asociación Nacional de Entrenadores de Natación.
- ARELLANO, R. (1992). Evaluación de la fuerza propulsiva en natación y su relación con el entrenamiento y la técnica. Tesis Doctoral. Servicio de Publicaciones. Universidad de Granada.
- ARELLANO, R. (2001). La Técnica de la Natación de Competición: Aspectos Básicos. (1 ed.). (Vol. 1). Madrid, España: Real Federación Española de Natación.
- BEEKMAN, K.M. & HAY, J.G. (1988) Characteristics of the front crawl techniques of swimmers with shoulder impingment syndrome. *Journal of Swimming Research*. 4 (3), 11-14
- BERGER, M, DE GROOT, G. & HOLLANDER, A.P. (1995). Hidrodynamic drag and lift forces on human hand/arm models. *Journal of Biomechanics*. Vol.28, 2. 125-133.
- BERGER, M, DE GROOT, G. & HOLLANDER, A.P. (1997). Influence of hand shape on force generation during swimming. *XII FINA World Congress on Sports Medicine*.
- CHATARD, J.C. COLLOMP, C. MAGLISCHO, E & MAGLISCHO, C. (1990) Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*. 11, 156-161.
- COSTILL, D. L., MAGLISCHO, E. W., & RICHARDSON, A. B. (1992). Swimming. (1 ed.). Oxford: Blackwell Scientific Publications Ltd.
- COUNSILMAN, J.E. & COUNSILMAN, B.E. (1994). The New Science of Swimming. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey
- COUNSILMAN, J.E. (1968). *The Cience of Swimming*. Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall.
- COUNSILMAN, J., & WASILAK, J. (1982). The Importance of Hand Speed and Hand Acceleration. Paper presented at the 1981 ASCA World Clinic Yearbook, Fort Lauderdale, Florida.
- COUNSILMAN, J.E. (1977). *Competitive Swimming. Manual for Coaches and Swimmers*. Bloomington, Indiana: Counsilman., Inc.
- DALY, J. (1984). An Individually Appropriate Pattern per Distance for Women Competitive Crawl Swimmers. , Leuven.
- FIRBY, H. (1975). On Swimming. London: Pelham Books.

- DUFOUR, A.B. PAGÈS, M & MONTEIL, K. (1997) L'analyse de la variance: une methode pour etudier la vitesse de la main en crawl. *Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique de Lyon*. France
- HALJAND, R. (1984). A New Scientific Approach to Analyzing Swimming Technique. In J. L. Cramer (Ed.), How to Develop Olympic Level Swimmers - Scientific and Practical Foundations (pp. 70-105). Helsinki: International Sports Media.
- HAY, J.G. LIU, Q, & ANDREWS, J.G. (1993) Body roll and handpath in freestyle swimming: a computer simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*. 9, 227-237.
- JAHNIG, W. (1987). Grundlegende strukturelle Betrachtungen. In Hochschulehrbuch (Ed.), Sport Schwimmen (pp. 74-86). Berlin: Sportverlag Berlin.
- LIU, Q. , HAY, J.G. & ANDREWS, J.G. (1993) Body roll and handpath in freestyle swimming: an experimental study. *Journal of Applied Biomechanics*. 9, 238-253.
- LÓPEZ, G. & ARELLANO, R. (1997) Análisis del movimiento de la Columna Vertebral y su relación con la técnica de natación. *5º Congreso de Actividades Acuáticas*. SEAE. Barcelona.
- LÓPEZ, G. & ARELLANO, R. (1998) Incidencia de la rotación en los ejercicios de crol sobre la Columna Vertebral. *Congreso Internacional de Columna Vertebral y Medio Acuático*. Real Federación Española de Natación. Aranjuez.
- MAGLISCHO, C. (1991). Biomechanics Software for the Analysis of Sports Skills. Paper presented at the Teaching Kinesiology and Biomechanics in Sports, Ames, Iowa.
- MAGLISCHO, E. W. (1982). Swimming Faster. (1 ed.). California State University, Chico: Mayfield Publishing Company.
- MIYASHITA, M. (1971) An analysis of fluctuations of swimming speed. *Firts International Simposium on Biomechanics in Swimming*. Université Libre de Bruxelles. Belgium.
- MONTEIL, H.M. & ROUARD A.H. (1994) Free swimming versus paddles swimming in front crawl. *Journal of Human Movement Studies*. 27, 89-99
- PAYTON, C.J. HAY, C.J. & MULLINEAUX, D.R. (1997) The effect of body roll on hand speed and hand path in front crawl swimming. A simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*. 13, 300-315.
- PAYTON, C.J. BARTLETT, R.M. & BALZOUPOULOS, V. (1998) *The contribution of body roll to hand-speed in front crawl swimming. An experimental study*. The Manchester Metropolitan University, Alsager, England.
- PAYTON, C. J., BARTLETT, R. M., & BALZOUPOULOS, V. (1999). The contribution of body roll to hand speed in front crawl swimming - an experimental study. In K. L. Keskinen, P. V. Komi, & A. P. Hollander (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (1 ed., Vol. 1, pp. 65-70). Jyväskylä, Finland: Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä.

- PAYTON, C. J., BARTLETT, R. M., BALTZOPOULOS, V., & COOMBS, R. (1999). Upper extremity kinematics and body roll during preferred-side breathing and breath-holding front crawl swimming. *J Sports Sci*, 17(9), 689-696.
- PERSYN, U. (1974). Technisch-hydrodynamische benadering van de bewegende-means-in-het-water. (1 ed.). Leuven: Pencoprint, Wilsele.
- PERSYN, U., HOEVEN, R. G. C., & DALY, D. J. (1979). An Evaluation Procedure for Competitive Swimmers. In T. a. Bedingfield (Ed.), Swimming III - Third Int. Symp. of Biomechanics in Swimming (1 ed., Vol. 8, pp. 182-198). Baltimore, Maryland (Estados Unidos): University Park Press.
- REISCHLE, K. (1993). *Biomecánica de la Natación*. (ed. esp) Madrid. Gymnos S.L.
- SCHLEIHAUF, R.E. (1979). A hidrodynamyc analysis of swimming propulsion. In Terauds, & Bedingfield (eds) *Swimming III*. Baltimore, Maryland: University Park Press. 70-109.
- SCHLEIHAUF, R. E., GRAY, L., & DEROSE, J. (1983). Three-dimensional analysis of hand propulsion in the sprint front crawl stroke. Paper presented at the Fourth International Symposium of Biomechanics and Fifth International Symposium on Swimming Medicine, Amsterdam.
- TOUSSAINT, H.M. JANSSEN, T. & KLUFT, M. (1991) Effect of propelling surface size on the mechanics and energetics of front crawl swimming. *Journal Biomechanics*. vol.24, Nº 3/4 205-211
- VORONTSOV, A. R., & RUMYANTSEV, V. A. (2000). Propulsive Forces in Swimming. In V. Zatsiorsky (Ed.), Biomechanics in Sport (1 ed., Vol. 1, pp. 205-231). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- WILKE, K. (1991). La Técnica de las Pruebas de Sprint. Paper presented at the Natación Ciencia y Técnica: su Aplicación Práctica, Granada.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio forma parte de la Tesis Doctoral D^a Gracia López Contreras titulada: "Influencia de las modificaciones producidas por la ejecución de variaciones técnicas sobre los factores biomecánicos del estilo crol en natación" que ha sido subvencionada por el programa de ayudas a la Investigación del Consejo Superior de Deportes en el apartado de Tesis Doctorales.