

Los documentos de investigación de la Facultad de Rehabilitación y Desarrollo Humano de la Universidad del Rosario son un espacio y una invitación permanente a la reflexión y la crítica sobre aspectos de trascendencia en nuestro país, con miras a contribuir a la construcción de una sociedad más justa e incluyente.

Los temas más recurrentes de discusión girarán en torno al bienestar humano, la integración y participación social, la comunicación humana, la salud y el bienestar de los trabajadores, el movimiento corporal humano, el ejercicio y la actividad física.



Características biomecánicas de la técnica en estilo crol de natación en personas con amputación unilateral de miembro inferior

Mary Luz Ocampo Plazas
Ingrid Yineth Leguizamó Cárdenas
Gina Catherine Huérfano Riaño
Leidy García



Documento de investigación Núm. 43

FACULTAD DE REHABILITACIÓN Y DESARROLLO HUMANO

CARACTERÍSTICAS BIOMECÁNICAS DE LA
TÉCNICA EN ESTILO CROL DE NATACIÓN
EN PERSONAS CON AMPUTACIÓN
UNILATERAL DE MIEMBRO INFERIOR

*Mary Luz Ocampo Plazas
Ingrid Yineth Leguízamo Cárdenas
Gina Catherine Huérfano Riaño
Leidy García*

Programa de Fisioterapia



Universidad del Rosario
Facultad de Rehabilitación
y Desarrollo Humano

Características biomecánicas de la técnica en estilo crol de natación en personas con amputación unilateral de miembro inferior / Mary Luz Ocampo Plazas...[et al.]; Facultad de Rehabilitación y Desarrollo Humano, Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. —Bogotá: Editorial Universidad del Rosario, 2011. 42 p. :il. — (Documento de Investigación; 43)

ISSN: 1794-1318

AMPUTACIÓN DE LOS PIES - REHABILITACIÓN / BIOMECÁNICA / NATACIÓN – USO TERAPÉUTICO / PERSONAS CON DISCAPACIDADES FÍSICAS-REHABILITACIÓN / NATACIÓN CROL / REHABILITACIÓN DE AMPUTADOS / I. OCAMPO PLAZAS, MARY LUZ / II. LEGUÍZAMO CARDENAS, INGRID YINETH / III. HUERFANO RIAÑO, GINA CATHERINE / IV. GARCÍA, LEIDY / V. TÍTULO. / VI. SERIE.

617.03 SCDD 20

Editorial Universidad del Rosario
Facultad de Rehabilitación y Desarrollo Humano
Mary Luz Ocampo Plazas
Ingrid Yineth Leguízamo Cárdenas
Gina Catherine Huérfano Riaño
Leidy García

Todos los derechos reservados
Primera edición: abril de 2011
ISSN: 1794-1318
Impresión: XXXXXXXXXXXX
Impreso y hecho en Colombia
Printed and made in Colombia

Para citar esta publicación: Doc. investig. Fac. Rehabil. Desarro. Hum.

Contenido

1. Introducción	5
2. El estilo crol de natación	7
3. Componentes del estilo de natación crol	8
4. Comportamiento de los miembros inferiores al ejecutar el estilo crol	10
5. Comportamiento de los miembros superiores al ejecutar el estilo crol	13
5.1 Tracción	13
5.2 Entrada de la mano.....	14
5.2.1 Agarre	14
5.2.2 Tirón.....	14
5.3 Barrida hacia adentro	14
5.4 Empuje	14
5.5 Recobro o reciclaje	15
6. Características biomecánicas del estilo de natación crol.....	15
6.1 Biomecánica del movimiento realizado por los miembros inferiores en la ejecución de la técnica de natación crol.....	16
6.1.1 Comportamiento mecánico de miembros inferiores.....	16
6.1.2 Características biomecánicas de los miembros inferiores ..	18
6.1.2.1 Fase descendente (batido).....	20
6.1.2.2 Fase ascendente	21
6.1.2.3 Movimiento lateral (combinado)	22
6.2 Biomecánica del movimiento realizado por los miembros superiores en la ejecución de la técnica de natación crol.....	24
6.2.1 Características biomecánicas de los miembros superiores.	28
6.2.1.1 La brazada (Maglischo, 1986)	28

7. Descripción del movimiento en amputados unilaterales	
de miembro inferior.....	32
7.1 Desarticulación de cuello de pie (SYME)	33
7.2 Amputación por debajo de rodilla (BK)	35
7.3 Amputación por arriba de rodilla (AK)	38
8. Conclusiones	40
9. Referencias.....	41

Características biomecánicas en la técnica estilo crol de natación en personas con amputación de miembro inferior unilateral

*Mary Luz Ocampo Plazas
Ingrid Yineth Leguízamo Cárdenas
Gina Catherine Huérfano Riaño
Leidy García*

1. Introducción

Existe un alto porcentaje de personas con discapacidad secundaria a amputación —cuarto lugar, que equivale a un 16,62%, según datos arrojados por el censo que realizó el DANE (1993)—, quienes por su condición se han visto afectados en los ámbitos social, laboral, económico y personal, entre otros. Debido a las múltiples áreas personales que se ven comprometidas, el manejo y la rehabilitación de esta población requiere abordajes desde diferentes disciplinas, entre ellas la fisioterapia, que por su objeto de estudio tiene injerencia en todos los escenarios donde el ser humano se mueve (Ministerio, 2008).

Desde esta perspectiva, se requiere involucrar diversas estrategias que optimicen las condiciones del individuo con esta discapacidad, y que le permitan desempeñarse considerando las adaptaciones y los cambios que ha sufrido. Dentro de tales estrategias, el deporte y la actividad física han sido considerados como medios eficaces en el proceso de rehabilitación e integración en esta población.

Al respecto existen múltiples disciplinas deportivas y formas de realizar actividad física, las cuales no solo permiten al individuo disminuir los riesgos por procesos de inmovilización prolongada y desacondicionamiento físico, que acarrearán múltiples efectos adversos en diferentes sistemas, sino también identificar las capacidades y el potencial que puede alcanzar a través de su desempeño en una disciplina deportiva.

Considerando lo anterior, se han venido desarrollando diversas estrategias para el abordaje de la población amputada —empleando el deporte como herramienta de rehabilitación e integración—, dentro de las cuales la natación ha adquirido relevancia ya que en sus inicios fue contemplada como una actividad

netamente recreativa, y en la actualidad se encuentra incluida en el deporte paralímpico a nivel competitivo.

El hecho de agregar un componente competitivo ha requerido la adquisición y el desarrollo de una técnica que puede ser definida como:

el tipo o patrón de movimientos que se realizan, y cuyo fin principal es el ahorro de energía, sin dejar de lado la optimización de la fuerza propulsora (para el caso de la natación); es por esto que, cuánto con más perfección se desarrolla la técnica, menor energía es necesaria para obtener un buen resultado (Scott, 2003, pp. 9-13).

Así mismo, dentro de la disciplina deportiva hay diferentes categorías que implican el desarrollo de una técnica específica; en el caso puntual de la natación existen diversos estilos dentro de los cuales se encuentra el crol, descrito por la Federación Internacional de Natación (FINA) como “estilo libre”, enfatizando que “se deberá interpretar como cualquier estilo menos la braza, la espalda o la mariposa” (Hernández, 2002). La palabra “crol”, que da nombre a este estilo de natación, proviene del término inglés “*crawl*” que significa reptar; este estilo es considerado el más tradicional y con frecuencia uno de los primeros en ser impartidos a los nadadores ya que involucra múltiples grupos musculares, lo que estimula el desarrollo de movimientos coordinados y específicos a la vez que favorece la adquisición de cualidades físicas como la resistencia y la fuerza muscular, las cuales no solo son necesarias durante el desempeño deportivo, sino también ayudan a su potencialización. En la medida en que esos segmentos corporales, sus movimientos y las características propias de los mismos se analicen, será posible el desarrollo de una mejor técnica deportiva, lo que se verá reflejado en el mejor desempeño del individuo durante la competencia.

En este orden de ideas, la presente revisión documental busca hacer un análisis de las características de la técnica en estilo crol en la persona con amputación de miembros inferiores. Este interés surge a partir de revisar las características de la técnica en personas sin amputación y de la necesidad de considerar si existen modificaciones en personas con amputación en un miembro inferior que practican la natación como disciplina deportiva, quienes requieren retroalimentación en relación con la ejecución de su gesto deportivo, que les permita optimizar su rendimiento, y como parte de las acciones desarrolladas por el fisioterapeuta como especialista en movimiento corporal humano.

En este sentido, el interés es identificar si existen variaciones en relación con lo descrito en la teoría para el estilo crol en natación convencional en una persona con amputación unilateral, y realizar un acercamiento teórico al tema.

Este documento abordará inicialmente una descripción general de la técnica en estilo crol, posteriormente se centrará en la revisión de las modificaciones que surgen en la persona con amputación unilateral de miembro inferior; por último, se realizará la descripción de la importancia del análisis biomecánico en el desempeño del deportista en la técnica deportiva. De igual forma, se abordan algunas de las características biomecánicas generales en miembros superiores (MMSS) y miembros inferiores (MMII) para el estilo seleccionado en la persona con amputación unilateral del miembro inferior.

El estudio está dirigido a estudiantes y profesionales de fisioterapia y de otras disciplinas relacionadas con el deporte y el área de la salud, y que trabajen con población amputada.

2. El estilo crol de natación

Para el desarrollo de una secuencia de movimiento dentro de una disciplina deportiva que permita optimizar las acciones y mejorar el rendimiento deportivo, se requiere el desarrollo de una técnica adecuada.

Según Knapp (1975), la técnica es el acto motor en el cual el objetivo que se debe alcanzar es la producción de un modelo de movimientos correctos para los cuales el individuo debe contar con una habilidad motriz específica, que involucra una tarea motora clara de la acción que va a desarrollar. De igual forma, Cetina y Coral (1998) complementan la definición anterior afirmando que adicionalmente estos movimientos que se producen permiten un uso racional, económico y efectivo de los mismos dentro de un gesto deportivo con el fin de lograr el máximo rendimiento.

En este sentido, para nadar velozmente, el nadador debe realizar una secuencia de movimientos planeados dentro de una tarea motriz y contar con una habilidad motora tal que le permita desarrollar un esfuerzo continuo para maximizar la fuerza propulsiva y que a su vez minimice las fuerzas de resistencia que experimenta en el agua. En relación con esto, la técnica de la natación implica el establecimiento de un tipo o patrón de movimientos que se deben realizar con el fin principal de ahorrar energía, sin olvidar la optimización de la fuerza propulsora (Scott, 2003, pp. 9-13).

De igual forma, una adecuada técnica deportiva en natación debe tener en cuenta elementos como las cualidades físicas del nadador, así como las características propias del medio, ya que estas condiciones van a modificar en mayor o en menor medida el gesto deportivo del individuo, así como su desempeño competitivo.

Por otra parte, el desarrollo de una técnica adecuada también requiere la automatización de los movimientos desarrollados, lo cual se logra a partir de un proceso de aprendizaje y entrenamiento constante, en donde el gesto se ejecuta de la manera más parecida posible al modelo ideal (Arellano, 1992). Para lograr esto se incluyen componentes como la retroalimentación visual, auditiva y propioceptiva (ejecución del movimiento), promoviendo el aprendizaje y la automatización de los movimientos (Alarcón, 2000, p. 84; Chollet, 2003, p. 118).

La automatización del gesto deportivo permitirá, entonces, que el deportista pueda centrar su atención en otros factores, como son nuevos desarrollos técnicos o una mejor concentración durante el entrenamiento y la competencia (Donskoi, 1981; Alarcón, 2000).

3. Componentes del estilo de natación crol

La natación como disciplina deportiva está compuesta por diversos estilos, los cuales requieren la inclusión de diferentes componentes dentro de su técnica para desarrollarlos.

Para describir las características del estilo crol se deben tener en cuenta componentes como la posición de partida, así como las acciones que se realizan durante la ejecución de la técnica, y los segmentos involucrados en dichas acciones.

A continuación se describen los segmentos que se involucran (Perea, 1997):

Cabeza: rompe con la frente la superficie del agua, la vista se dirige al piso y al frente girando sobre su eje longitudinal, evitando la contracción forzada de los músculos del cuello y de la espalda.

Tronco: rompe con los hombros la resistencia frontal buscando la superficie más reducida para el avance, formando una línea recta con las extremidades inferiores y la cabeza, girando sobre su eje longitudinal.

Extremidades inferiores: se encuentran en línea recta respecto al tronco y la cabeza, a un nivel más abajo; los tobillos están extendidos y flexibles, siempre bajo la superficie, girando sobre el eje longitudinal.

Los tres elementos mencionados se involucran con las descripciones hechas en la posición de partida para este estilo.

Adicionalmente, dentro de los componentes se incluyen algunos movimientos que, de acuerdo con la forma como se realizan, también se constituyen en elementos claves a la hora de ejecutar el gesto. Estos movimientos son:

Patada: es un movimiento rítmico y alternado, el cual se realiza de seis a ocho veces por cada ciclo de brazos, ayudando a estabilizar y alinear el cuerpo; también ayuda a la propulsión, lo que disminuye la resistencia del agua. Incluye el apoyo y la recuperación, aspectos que serán abordados más adelante cuando se describa la técnica.

Brazada: es un movimiento coordinado y rítmico que facilita la propulsión del cuerpo durante el recorrido.

Respiración: debe estar coordinada con el movimiento de pies, brazos y cuerpo durante todo el recorrido; el aire se toma fuera del agua y se expulsa dentro de ésta, teniendo en cuenta que la inspiración se realiza a través de la boca y la espiración a través de la boca y la nariz.

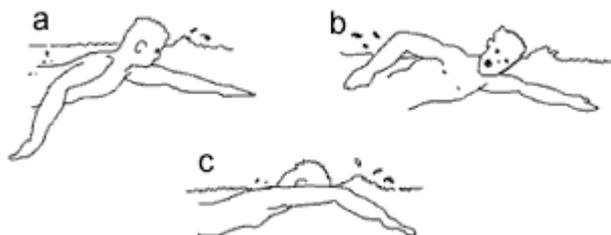
Además de lo anterior, se requiere una secuencia de pasos para la coordinación entre la respiración y el cuerpo; esta secuencia es:¹

- La cara debe girar hacia un lado mientras el cuerpo gira hacia el lado de la respiración (figura 1b).
- La boca sale a la superficie en el momento que sale el codo de ese mismo lado para el recobro. Esto sucede al mismo tiempo que el brazo contrario entra en el agua (figura 1b).
- El momento de máxima inhalación es cuando el hombro está en el punto más alto.
- Mientras se inhala o coge aire, una mejilla, la oreja y un ojo han de estar en el agua (figura 1b).
- Cuando el brazo se dispone a entrar de nuevo en el agua, el cuerpo ha girado a la posición prona y, por tanto, la cabeza también (figura 1c).

¹ Extraído el 25 de mayo de 2008. Disponible en <http://www.inatacion.com/articulos/tecnica/crol/coordinacion.htm>

- La cara estará dentro del agua en su totalidad con el agua a la altura del nacimiento del pelo y la vista mirando hacia adelante (figura 1a).

Figura 1. Pasos para la coordinación entre la respiración y el cuerpo



Los componentes descritos se utilizarán posteriormente para describir las características de la técnica en estilo crol para las personas con amputación de miembro inferior.

4. Comportamiento de los miembros inferiores al ejecutar el estilo crol

La acción de los miembros inferiores (específicamente la patada) le proporciona al nadador un impulso ascendente, una propulsión en sentido anterior, así como equilibrio en el agua. Esta acción se realiza en un plano vertical, con una amplitud que oscila entre 30 y 50 cm, esta medida va a depender de la antropometría del deportista, la frecuencia de la patada y el ritmo (Gerhard, 1983). La eficacia de la propulsión se encuentra relacionada con la velocidad del movimiento de inversión realizado en cuello de pie.

En el movimiento simultáneo de miembros inferiores éstos aportan propulsión al nadador por medio de patadas que se realizan de manera alterna, describiendo movimientos ascendentes y descendentes, logrando guiar al cuerpo en sentido anterior y empujando el agua en sentido posterior. El punto en el que se encuentran las piernas debe coincidir aproximadamente con el eje longitudinal del cuerpo de modo que el impulso apunte al centro de gravedad de éste (Gerhard, 1983).

Al ejecutar el movimiento de las piernas se realiza un “batido aleteado”,² donde el batido de pies constituye una función primordialmente estabilizadora y no propulsiva, contribuyendo a la coordinación global del estilo de natación crol, favoreciendo la posición hidrodinámica y estabilizadora.

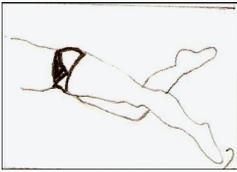
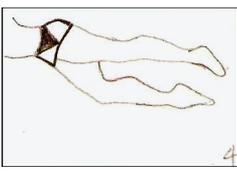
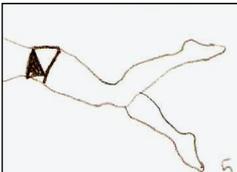
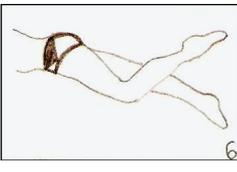
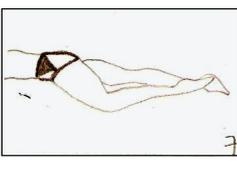
La acción propulsiva más importante en el estilo de crol es la que desarrollan los brazos, pero el consumo de energía del batido de piernas es mayor que el de los movimientos de brazos. La acción de las piernas consiste en alternar diagonalmente el barrido de las mismas. Aunque las piernas en alguna medida se mueven lateralmente durante su trayectoria, la dirección principal es en sentido ascendente y descendente. Este movimiento está provocado por la acción de la rotación longitudinal de la cadera, es decir, las piernas realizan el movimiento ascendente y descendente mezclado con un movimiento de adentro y afuera.

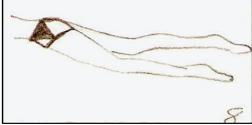
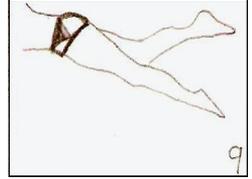
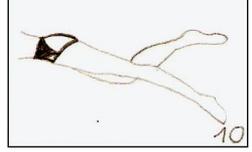
El batido o movimiento de piernas que parte de la cadera y la rodilla marca la guía en cada dirección, produciendo una acción de latigazo de las piernas y los pies.

En la fase ascendente del batido la pierna se dirige a la superficie extendida, con los pies en extensión plantar (véase cuadro 1, pasos del 1 al 4). Una vez la planta del pie alcanza la superficie, la rodilla se flexiona y comienza la fase descendente del batido, con una extensión enérgica de las piernas hacia abajo manteniendo los pies en extensión plantar (véase cuadro 1, pasos del 5 al 10). Sin embargo, el movimiento de piernas no solo es ascendente y descendente, sino que además se desplazan en diagonal. Se piensa que este otro tipo de movimiento ayuda a la rotación del cuerpo y a la estabilidad.

² Expresión de J. E. Counsilman, doctor de la Universidad del Estado de Iowa. Preparador del equipo olímpico de natación masculino de Estados Unidos en 1964.

Cuadro 1. Descripción del movimiento en miembros inferiores realizado en la técnica de natación estilo crol

Vista lateral	Descripción de la técnica
	<p>Los pies están en su máxima separación. La pierna izquierda se halla al fondo y la derecha en la posición superior.</p>
	<p>La pierna izquierda, sin doblar la rodilla, inicia su subida. Los nadadores deben recordar constantemente el batir hacia arriba con la pierna estirada, porque si la pierna se doblara por la rodilla al batir hacia arriba, crearía una fuerza negativa que tiraría del nadador hacia atrás. La pierna derecha inicia el batido hacia abajo, bajando la parte superior de la misma, y simultáneamente doblándola por la rodilla; esto hace que el pie permanezca casi en la misma posición que en la imagen 1.</p>
	<p>La pierna izquierda se aproxima a la cima de su batido, empieza a flexionar ligeramente, mientras que la pierna derecha está a punto de terminar el batido hacia abajo. La rodilla derecha se halla, de hecho, en el punto más profundo de su recorrido y desde él iniciará la subida, aun cuando el pie derecho continuará descendiendo.</p>
	<p>La parte superior de la pierna izquierda inicia su descenso y el pie izquierdo continúa hacia arriba. La pierna derecha se halla al fondo del batido con la rodilla totalmente extendida.</p>
	<p>La pierna izquierda, con su rodilla al máximo de doblamiento, se halla a punto de iniciar su batido hacia abajo. La pierna derecha estirada por la rodilla inicia su batido hacia arriba.</p>
	<p>La pierna izquierda se halla ahora en la fase propulsiva de su batido. La pierna derecha continúa su recuperación bien estirada.</p>

	<p>La fase propulsiva de la pierna izquierda está casi enteramente completada. La pierna derecha muestra una ligera flexión de la rodilla.</p>
	<p>La pierna izquierda completa casi su extensión mientras que la flexión de la rodilla derecha aumenta.</p>
	<p>Los pies se hallan nuevamente a su máxima separación y el ciclo de batido se inicia de nuevo.</p>

Fuente: elaborado por los autores.

5. Comportamiento de los miembros superiores al ejecutar el estilo crol

Según Maglischo (1986), la brazada de crol consta de varias fases. La entrada en el agua, la tracción o agarre en el agua, la extensión o alargamiento del brazo, y la recuperación, retirada del agua o reciclaje. A continuación se hará la descripción de los movimientos generales que realizan los brazos en el desarrollo de la técnica, en cada una de las fases.

5.1 Tracción

La mano derecha entra en el agua directamente enfrente del hombro. El brazo debe de estar ligeramente flexionado, con el codo por encima de la mano; la muñeca se mantiene flexionada unos grados desde la línea del antebrazo, y los dedos entran en primer lugar; debe deslizarse dentro del agua con la palma de la mano hacia abajo y hacia afuera del cuerpo, siendo el dedo pulgar el que primero hace contacto con el agua. El brazo izquierdo está a mitad del camino de su fase propulsora.

5.2 Entrada de la mano

5.2.1 *Agarre*

Tan pronto como la mano entra en el agua el codo debe estar casi completamente extendido.

En este momento la tracción empezará siendo lenta e ira aumentando su velocidad pero sin parar en su recorrido. El brazo no debe esperar a que el brazo que termina de traccionar se recupere, y la mano derecha debe llevarse a un ritmo tal que el brazo que lo efectúa esté a punto de alcanzar su extensión completa.

5.2.2 *Tirón*

Barrido hacia abajo: el codo está a punto de comenzar a flexionarse de forma gradual a fin de que la mano se desplace hacia abajo, y la velocidad irá aumentando progresivamente. A medida que la mano derecha presiona hacia abajo, la flexión del codo es más evidente, ésta debe mantenerse algo cóncava para perfeccionar su forma hidrodinámica. La elevación de ambos codos, el de recuperación y el de tracción, debe ser más alta que la mano.

5.3 Barrida hacia adentro

El barrido hacia adentro empieza cuando la mano alcanza el punto más profundo del barrido hacia abajo, y cuando pasa por debajo de la cabeza; el codo del brazo derecho apunta hacia la pared, y es el momento en el que el codo alcanza su máxima flexión, aproximadamente 90 grados, mientras la mano se dirige hacia adentro y atrás.

5.4 Empuje

Barrido hacia arriba: ésta es la fase de mayor propulsión de la brazada, la mano que tracciona ha completado la mitad de su tracción, y acelera hacia adentro, hacia arriba y hacia atrás, alcanzando su punto máximo al acercarse a la línea central del cuerpo. La mano que tracciona empieza a volverse hacia adentro de la línea longitudinal del cuerpo, mientras el brazo comienza su extensión.

Hay que empujar hacia atrás a medida que la dirección y la inclinación de la mano van cambiando desde la dirección hacia adentro a la inclinación hacia afuera. Este recorrido va desde la altura del pecho hasta la cintura, cuando la mano se dispone hacia afuera, arriba y atrás hasta alcanzar el muslo.

La mano que ejerce la fuerza de tracción ya no mira directamente hacia atrás; el codo sigue en posición más alta, lo que hace que salga del agua antes que la mano, y el brazo derecho termina su tracción cuando el codo ya ha salido del agua.

5.5 Recobro o reciclaje

El codo debe emerger de la superficie moviéndose hacia adelante, mientras la mano termina el barrido hacia arriba; antes de salir a la superficie del agua la mano gira de manera que la palma mire hacia el cuerpo.

El codo se desplaza hacia arriba y hacia adelante, siguiendo el antebrazo y la mano. El brazo derecho ha salido con el codo más alto que la mano. La muñeca de dicha mano se encuentra relajada, y es donde comienza la recuperación del brazo, y el nadador lanza su brazo hacia adelante. La mano comienza a extenderse cuando pasa a la altura del hombro para preparar la entrada en el agua, y de nuevo el brazo derecho se halla próximo a entrar; el codo sigue estando más alto que la mano. El brazo ya está preparado para entrar en el agua, y deberá entrar primero la mano, después la muñeca y finalmente el antebrazo como si se fuera a meter en un agujero.

6. Características biomecánicas del estilo de natación crol

La biomecánica es considerada una rama de la bioingeniería y la ingeniería biomédica. Según lo expuesto por Nordin, la biomecánica es la ciencia que emplea los conceptos de la mecánica para el análisis de los sistemas biológicos y fisiológicos. Entre los conceptos incluidos se encuentran la estática y la dinámica, lo cual facilita el estudio del comportamiento de las fuerzas que actúan a nivel muscular y articular, así como el análisis del movimiento segmentario (Nordin y Frankel, 2004).

La biomecánica como ciencia presenta múltiples aplicaciones, entre éstas el estudio de un gesto o técnica deportiva, área en la cual se incluye la biomecánica deportiva. Por esta razón es importante el abordaje de esta ciencia en el presente cuadernillo ya que aporta elementos de análisis para la técnica deportiva, lo cual permite determinar la presencia de ventajas mecánicas que favorezcan el gesto motor y con éste el desempeño deportivo.

Para el caso de la natación (un ambiente acuático) es necesario que el individuo incluya elementos propios de este medio (principios mecánicos) como la resistencia al avance, la propulsión y la flotabilidad, lo cual requiere que éste

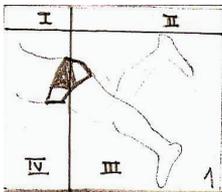
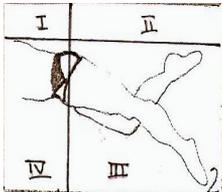
realice ajustes de adaptación, más aún si el cuerpo ha perdido esa característica de simetría porque una de sus extremidades ha sido amputada. Sin embargo, el nadador debe lograr ajustar el comportamiento biomecánico de su cuerpo para suplir esta ausencia, pretendiendo un mayor equilibrio corporal, adaptaciones biomecánicas y la eficiencia de la técnica buscando generar una mayor fuerza propulsiva.

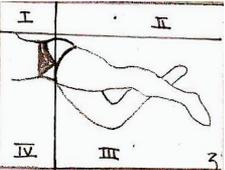
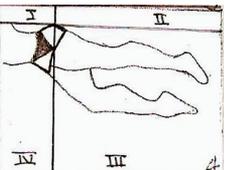
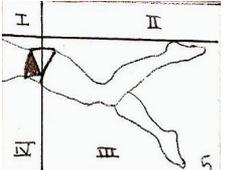
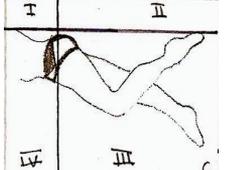
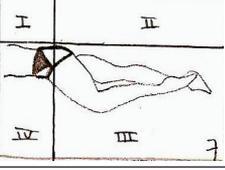
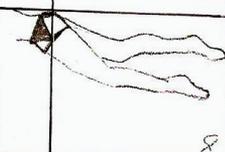
6.1 Biomecánica del movimiento realizado por los miembros inferiores en la ejecución de la técnica de natación crol

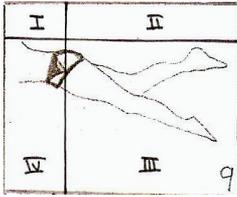
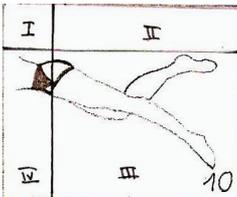
6.1.1 *Comportamiento mecánico de miembros inferiores*

A continuación se presentan los diez momentos del batido según Hernández (2002), y se describe paralelamente la posición de ambos miembros inferiores, teniendo en cuenta los ejes del plano cartesiano.

Cuadro 2. Descripción de los momentos del batido y posición de miembros inferiores

Vista lateral del batido	Descripción del movimiento de miembros inferiores
	<p>En este momento, en el que la distancia entre los pies es máxima, la extremidad derecha se encuentra en el punto de inicio de la fase de ascenso mientras que la izquierda está en el de descenso.</p> <p>La izquierda se encuentra al fondo, en flexión de cadera, extensión máxima de rodilla y plantiflexión del cuello de pie.</p> <p>La derecha está en ligera flexión de cadera, flexión de rodilla, y el pie se encuentra en dorsiflexión.</p>
	<p>El miembro inferior izquierdo, manteniendo la extensión de la rodilla, inicia su ascenso, que parte realizando un movimiento de extensión de la cadera.</p> <p>El miembro inferior derecho inicia el batido hacia abajo, flexionando la cadera y simultáneamente aumentando la flexión de la rodilla.</p>

	<p>La extremidad izquierda continúa su camino hacia arriba, todavía sin flexión de la rodilla, mientras que la derecha empieza a descender vigorosamente gracias a la flexión de cadera; la rodilla empieza a extenderse y, a medida que el pie derecho pasa por el lado de la pierna izquierda, el dorso del pie está en línea paralela con el tobillo del pie izquierdo.</p>
	<p>La extremidad izquierda, aproximándose a la cima de su batido, empieza a flexionar ligeramente la rodilla, mientras que la derecha está a punto de terminar el batido hacia abajo. La rodilla derecha se halla en el punto más profundo de su recorrido por el mayor momento de flexión de la cadera, y menor distancia del muslo a la ordenada, y desde él iniciará el ascenso, aun cuando el pie derecho continuará descendiendo.</p>
	<p>El muslo izquierdo inicia su descenso y el pie izquierdo continúa hacia arriba. La extremidad derecha se halla al fondo del batido con la rodilla totalmente extendida.</p>
	<p>El miembro inferior izquierdo, con su rodilla al máximo de flexión, se encuentra a punto de iniciar su batido descendente. El derecho —que se encuentra en extensión máxima de cuello de pie y rodilla, y flexión de cadera— inicia su batido ascendente.</p>
	<p>La extremidad izquierda se encuentra en la fase propulsiva de su batido. La derecha continúa su recuperación con completa extensión, y alcanza su punto de mayor extensión de cadera.</p>
	<p>La fase propulsiva del miembro inferior izquierdo está casi completa. La extremidad derecha muestra una ligera flexión de la rodilla.</p>

 <p>Diagrama 9: Ilustración de la extensión de la rodilla izquierda y la flexión de la rodilla derecha. El diagrama muestra una línea horizontal que divide el espacio en dos partes. En la parte superior izquierda, se encuentra el número romano 'I'. En la parte superior derecha, se encuentra el número romano 'II'. En la parte inferior izquierda, se encuentra el número romano 'IV'. En la parte inferior derecha, se encuentra el número romano 'III'. El número '9' está escrito en la esquina inferior derecha del diagrama. El diagrama muestra una línea que representa la trayectoria de una extremidad, que se extiende hacia la izquierda y luego se flexiona hacia la derecha.</p>	<p>La extremidad izquierda completa la extensión de rodilla, mientras que aumenta la flexión de rodilla derecha.</p>
 <p>Diagrama 10: Ilustración de los pies encontrándose nuevamente a su máxima separación. El diagrama muestra una línea horizontal que divide el espacio en dos partes. En la parte superior izquierda, se encuentra el número romano 'I'. En la parte superior derecha, se encuentra el número romano 'II'. En la parte inferior izquierda, se encuentra el número romano 'IV'. En la parte inferior derecha, se encuentra el número romano 'III'. El número '10' está escrito en la esquina inferior derecha del diagrama. El diagrama muestra una línea que representa la trayectoria de una extremidad, que se extiende hacia la izquierda y luego se flexiona hacia la derecha.</p>	<p>Los pies se encuentran nuevamente a su máxima separación, y el ciclo de batido se inicia de nuevo.</p>

Fuente: elaborado por los autores.

6.1.2 Características biomecánicas de los miembros inferiores

De acuerdo con Bartlett (1999), para poder estudiar un movimiento se deben tener en cuenta tres aspectos fundamentales: uno morfológico que determina las características anatómicas, antropométricas, de fuerza y de flexibilidad, entre otras; un aspecto biomecánico que se centra en las fuerzas, los torques y la inercia de los diferentes segmentos en la ejecución de un gesto deportivo, y un último aspecto ambiental que realiza una comparación espacio-tiempo.

Para comprender mejor las características anatómicas de los movimientos de los miembros inferiores se debe tener en cuenta que éstos, como los de cualquier otro segmento corporal, pueden ser descritos y explicados teniendo en cuenta los planos y ejes del cuerpo. Con el plano sagital se divide el cuerpo en derecha e izquierda, y sobre él se realizan los movimientos de flexión y extensión; con el coronal o frontal se divide el cuerpo en anterior y posterior, y sobre él se realizan los movimientos de abducción y aducción. En el plano transversal, por su parte, se divide el cuerpo en superior e inferior, y sobre él se realizan los movimientos rotacionales. A cada uno de estos planos corresponde un eje perpendicular a través del cual se realizan los movimientos, estos ejes son, respectivamente, transversal, anteroposterior y vertical (Kapandji, 1998).

Teniendo en cuenta los movimientos descritos en la trayectoria de las extremidades inferiores durante la patada en estilo crol, se puede observar cómo el principal movimiento se realiza sobre un plano sagital aunque también se incluye un componente rotacional sobre un plano transversal. Estos movimientos

se realizan gracias a las características anatómicas de la cadera y la rodilla, así como también a los diferentes grupos musculares que participan en los distintos momentos de las fases. A continuación se presenta una descripción de las características anatómicas de los miembros inferiores, realizando un recuento de los principales grupos musculares que participan en las fases del batido de los miembros inferiores.

La articulación de la cadera, debido a su configuración ósea, en la que en la cabeza femoral se coapta con el acetábulo, permite movimientos en los tres planos, manteniendo la estabilidad de la misma. Aunque esta articulación permite un amplio rango de movimiento de flexo-extensión, la necesidad de estabilidad durante el nado hace que este movimiento durante el batido no sea tan amplio, ya que la amplitud óptima descrita en la literatura está entre los 50 y 80 centímetros (Costill et ál., 1998). Mientras que en la trayectoria descendente la cadera realiza los movimientos de flexión y rotación interna, en los que diferentes músculos tienen acciones sinergistas, entre ellos el recto anterior del cuádriceps que tiene acción en la flexión de la cadera o en la extensión de la rodilla; por su parte, el psoas y el tensor de la fascia lata (que además participa en la rotación interna de la cadera), realizan flexión que es mantenida por el glúteo.

De igual modo, en la fase ascendente la extensión de la cadera es realizada por el glúteo mayor y los isquiotibiales, que al final del trayecto también tendrán acción de flexión en la rodilla; la acción del glúteo mayor, aunque no se describa específicamente, también cumple una labor en la rotación de la cadera, ya que participa en la rotación externa de la misma, con la que se alcanza la posición de partida para un batido descendente.

La articulación de la rodilla, que por su configuración ósea favorece la transmisión de cargas en posición de bipedestación, es probablemente la articulación más compleja del cuerpo, compuesta por las articulaciones tibio-femoral y femororotuliana; sin embargo, por encontrarse en medio de dos largos brazos de palanca (el fémur y la tibia), es particularmente susceptible de lesión (Nordin y Frankel, 2004). Aunque el movimiento de la rodilla ocurre en los tres planos, durante el batido su acción más determinante se presenta sobre el plano sagital. En la posición de partida de la fase descendente la rodilla se encuentra en ligera flexión, durante ésta la rodilla va en extensión por acción del recto anterior del cuádriceps apoyado por la acción del tensor de la fascia lata. Durante la fase ascendente la rodilla permanece en extensión en la mayor parte del trayecto,

y sólo en la última porción es llevada a flexión por la acción de los músculos isquiotibiales.

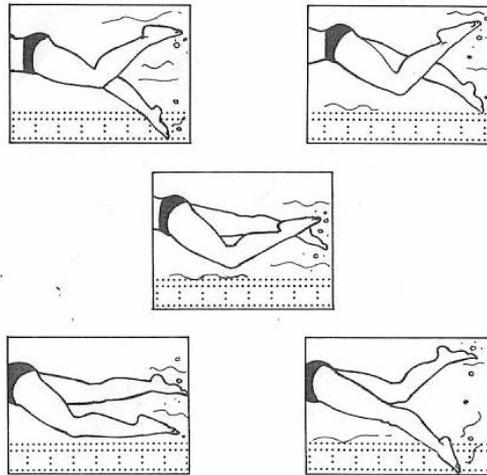
El movimiento del cuello del pie, que permanece en plantiflexión (submáxima o máxima) durante todo el batido, está mediado principalmente por la fuerza del agua en contra del movimiento.

Las acciones que realizan las articulaciones que se ven involucradas en la realización de los movimientos que hacen parte de la técnica del estilo crol de natación son descritas por Cetina y Coral (1998), autores que clasifican los movimientos de los miembros inferiores en dos fases, una ascendente y una descendente, que se realizan de forma alterna, de modo que cuando una se encuentra en una trayectoria descendente la contralateral realiza un movimiento ascendente. Es importante añadir que los miembros inferiores no realizan únicamente los movimientos ascendente y/o descendente, sino que a éstos se les añade durante su ejecución un movimiento lateral o combinado con el fin de otorgarles una mayor eficiencia durante el nado.

6.1.2.1 Fase descendente (batido)

En la fase descendente o de batido, en la posición inicial la cadera se encuentra en extensión, la rodilla en ligera flexión, la pierna cerca de la superficie, el cuello de pie en flexión plantar, los pies se encuentran afuera o en la superficie del agua, y los dedos de los pies están mirando hacia arriba y hacia dentro. El movimiento es como un latigazo, va hacia abajo y ligeramente hacia la línea media, inicia por la flexión de la cadera, hay una extensión activa de rodilla, y el cuello de pie permanece en plantiflexión, ejerciendo una acción de aleta. En la posición final la extremidad se encuentra en su máxima profundidad, la cadera está flexionada, la rodilla extendida y el cuello de pie se encuentra en plantiflexión máxima (Cetina y Coral, 2004; Solas, 2007). En la figura 2 se presenta de modo gráfico la fase descendente de la patada.

Figura 2. Fase descendente de la patada

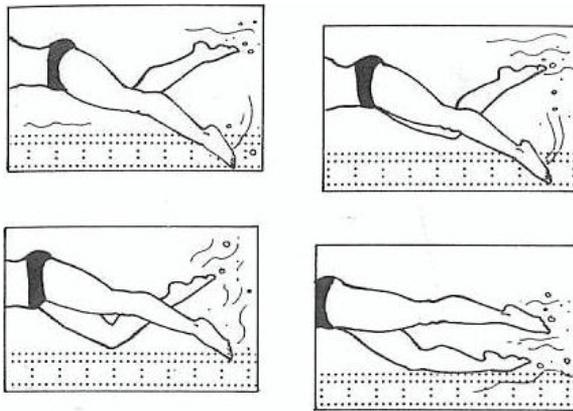


Fuente: Perea (1997).

6.1.2.2 Fase ascendente

En la fase ascendente (figura 3), que tiene como posición inicial el punto final de la fase descendente, el movimiento —que se puede ver como un rebote de la pierna hacia la superficie—, se inicia con la extensión de la cadera, mientras que la rodilla permanece extendida pasivamente por la fuerza del agua hacia abajo, hasta el momento en el que el pie se acerca a la superficie, sobrepasando al cuerpo, donde la rodilla se flexiona ligeramente y se da inicio a una nueva fase de batido (Cetina y Coral, 2004; Solas, 2007).

Figura 3. Fase ascendente



Fuente: Perea (1997).

6.1.2.3 *Movimiento lateral (combinado)*

Como se mencionó, los movimientos ascendente y descendente de los miembros inferiores están acompañados por un movimiento lateral (combinado) durante la ejecución de la patada. Estos movimientos combinados tienen como función estabilizar al cuerpo durante la oscilación del tronco de un lado al otro. La alineación lateral se conserva si los miembros inferiores realizan los movimientos de patada en igual dirección en que se mueve la cadera al ir girando de un lado al otro (Maglischo, 1986).

El movimiento combinado de las piernas se involucra durante el barrido descendente del miembro superior derecho requiriendo, en primer lugar, que el miembro inferior del mismo lado ejecute la patada en dirección hacia abajo y adentro, seguido del movimiento del miembro inferior izquierdo, el cual realiza el movimiento de patada en sentido ascendente, llevando la pierna hacia dentro, realizando igual movimiento durante el barrido descendente con el miembro superior izquierdo (Maglischo, 1986).

En contraste, durante el barrido del miembro superior derecho hacia dentro, según Maglischo (1986), el nadador ejecuta la patada hacia abajo y hacia dentro con el pie izquierdo, y hacia arriba y adentro con el derecho, mientras el miembro superior izquierdo se extiende hacia delante para la entrada en el agua. Durante la brazada, con el brazo derecho se repite la misma secuencia.

El principal aporte del batido descendente es ayudar al miembro superior que realiza el barrido a contrarrestar la dirección del agua con el fin de favorecer la posición del tronco, así como acompañar dicho barrido otorgando propulsión al movimiento en el agua. Este movimiento, adicionalmente, impide que la cadera del deportista sea traccionada hacia abajo por la fuerza que el brazo imprime en el momento de la inmersión de éste.

En comparación, durante la patada en su fase ascendente, los pies con su movimiento hacia arriba y delante ejercen una fuerza descendente, la cual según Maglischo (1986) no es netamente propulsiva, sino que modifica la dirección del agua, impidiendo que la cadera se eleve por la fuerza del brazo hacia abajo, así como es coadyuvante en el giro del tronco.

Por otra parte, el movimiento de la patada —en el cual se involucran movimientos descendentes— y la inclinación del pie obligan al agua a desplazarse hacia atrás, lo cual desencadena una diferencia de presiones entre las superficies del antepié y de la planta del pie, llevando a la aparición de una fuerza que se dirige hacia delante, la cual contribuye a la propulsión.

En el estilo crol existen diversos tipos de movimientos de los miembros inferiores, específicamente en la patada, dentro de los cuales se encuentran batido doble cruzado en el que cada pierna da un golpe por cada movimiento de un brazo, lo que equivale a dos golpes o batidos por cada ciclo completo de los brazos; en una parte de cada fase de batido, una de las piernas cruza por encima de la otra, invirtiéndose la posición de las mismas durante la otra parte del ciclo total del batido. En el batido doble recto las piernas no se cruzan por encima, sino que ejecutan cada batido arriba y abajo en un mismo plano vertical, es decir, en forma recta.

En los dos tipos de movimiento se incluye una pequeña pausa, la cual se realiza en el momento en que las piernas no se encuentran en movimiento. En el batido de doble cruzado la pausa se produce cuando los pies se cruzan, uno encima de otro, y se encuentran por tanto rectos y verticales. En el batido recto, la pausa se da cuando los pies están en la máxima separación entre sí.

Otro tipo de movimiento en la patada es el de seis batidos donde cada pierna completa tres batidos por cada movimiento de un brazo, equivalentes a un total de seis batidos por cada ciclo de los brazos.

En los cuadros 3 y 4 se presentan, a manera de resumen y de forma puntual, los movimientos que realizan los segmentos corporales durante la ejecución de la patada.

Cuadro 3. Patada en el estilo crol de natación

Movimiento parcial / Acoplamiento del movimiento	Características técnicas
Arriba	Fase ascendente empieza extendida la cadera.
Abajo	Flexión pasiva en la articulación de la rodilla (el muslo dirige el movimiento: muslo abajo, tobillo aún arriba)
Abajo	Patada activa (<i>kick</i>)
Arriba /Abajo	Tobillos sueltos
Abajo	Pies girados hacia dentro (supinación, aducción y flexión plantar)

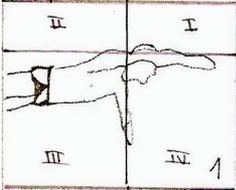
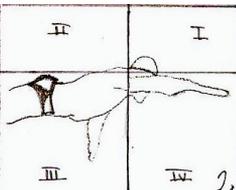
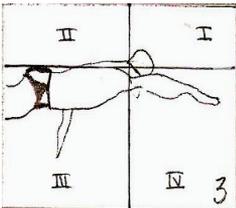
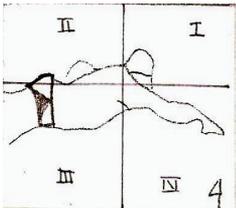
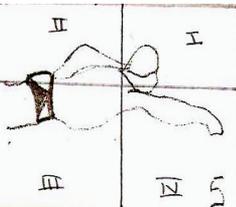
Cuadro 4. Descripción del movimiento y sistematización de movimientos

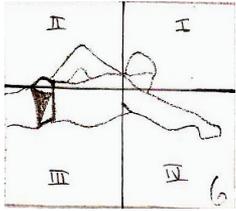
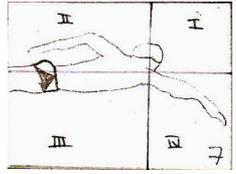
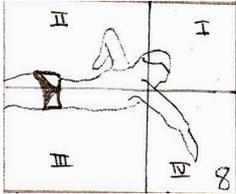
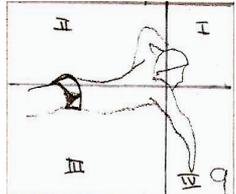
Crol	Patada	
Cinemática	Componente ascendente: rodilla extendida / tobillo suelto	Componente descendente: rodilla flexionada / (muslo hacia abajo con rodilla suelta) "Kick" activo / tobillo suelto.

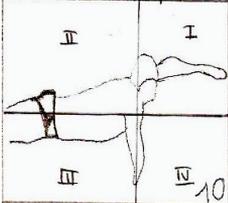
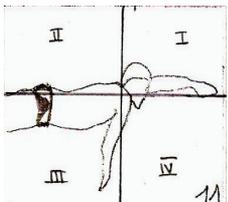
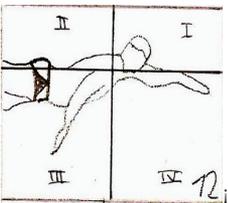
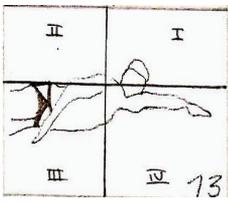
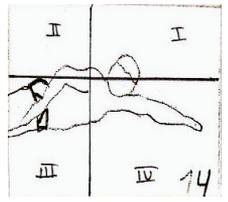
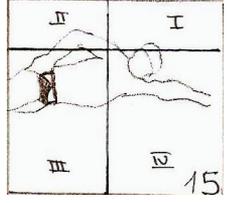
6.2 Biomecánica del movimiento realizado por los miembros superiores en la ejecución de la técnica de natación crol

A continuación (cuadro 5) se describirá la acción de los brazos durante la ejecución de la técnica, desde una vista lateral, teniendo en cuenta la relación con los ejes del plano cartesiano.

Cuadro 5. Descripción del movimiento en miembros superiores en la técnica de natación estilo crol

Vista lateral del movimiento de los brazos	Descripción del movimiento
ENTRADA	 <p data-bbox="589 413 1137 516">La entrada en el agua se realiza de forma secuencial, ingresando en primera instancia los dedos, seguido de la muñeca, el codo y por último el brazo. La mano debe situarse delante de la cara del nadador. El brazo realiza una ligera flexión.</p>
AGARRE	 <p data-bbox="589 632 1137 731">Al ingresar la mano a la superficie del agua, el codo se encuentra en extensión. La tracción ejercida por el brazo se realiza de forma secuencial, iniciando con una menor velocidad, para ir aumentándola paulatinamente.</p>
	 <p data-bbox="589 888 1137 933">La mano derecha debe mantener la velocidad, el brazo permanece en extensión.</p>
	 <p data-bbox="589 1127 1137 1171">El nadador realiza flexión y desviación cubital de muñeca. El miembro superior izquierdo termina su fase de brazada dentro del agua.</p>
	 <p data-bbox="589 1369 1137 1413">La fuerza de la mano derecha contribuye a la propulsión del cuerpo en sentido anterior.</p>

TIRÓN		<p><i>Barrido hacia abajo</i></p> <p>El codo se flexiona gradualmente, a medida que la mano se desplaza hacia abajo. La velocidad aumentará paulatinamente.</p>
		<p>A medida que la mano desciende en la superficie del agua, se aumenta su concavidad con el fin de potencializar su forma hidrodinámica. El codo acentúa su flexión.</p>
		<p>Los codos se encuentran en dos fases diferentes, uno en fase de recuperación, y el otro en fase de tracción.</p>
		<p><i>Barrido hacia adentro</i></p> <p>Este barrido se inicia cuando la mano se encuentra en el punto más profundo del barrido hacia abajo. El codo del miembro superior derecho alcanza el máximo rango de movimiento de flexión, y la mano realiza flexión y desviación radial.</p>

		<p><i>Barrido hacia arriba</i></p> <p>Esta es la fase que aporta mayor fuerza propulsora a la brazada. La mano que se encuentra en fase de tracción está en la mitad de ésta. La mano se acelera en flexión de muñeca y desviación radial.</p>
		<p>La mano que se encuentra en la fase de tracción realiza un movimiento que se dirige hacia la línea media del cuerpo.</p>
EMPUJE		<p>El miembro superior empuja hacia atrás a medida que la dirección y la inclinación de la mano van cambiando desde el movimiento de rotación interna del hombro hacia el movimiento de rotación externa, lo que va a permitir que el brazo emerja de la superficie del agua. Este recorrido va desde la altura de los hombros hasta la cintura, hasta alcanzar la altura del muslo.</p>
		<p>La mano que está en fase de tracción se encuentra con un ángulo de flexión de 45°.</p>
		<p>El brazo derecho termina la fase de tracción. El codo emerge de la superficie del agua completamente.</p>
RECOBRO O RECICLAJE		<p>El codo fuera de la superficie del agua se dirige hacia arriba, mientras que la mano termina el barrido hacia arriba. Antes de que la mano emerja del agua, gira de tal forma que la palma se ubica en un plano coronal (mira hacia el cuerpo).</p>

		<p>El codo se desplaza hacia arriba y hacia adelante, siguiendo el antebrazo y la mano. El brazo derecho ha emergido ubicándose con el codo más alto que la mano. La muñeca de dicha mano se encuentra sin contracción activa. Se inicia la recuperación de los músculos del brazo derecho. El brazo inicia el movimiento de la brazada.</p>
		<p>El miembro superior derecho sigue su recorrido hacia delante. La mano izquierda inicia su extensión cuando pasa a la altura del hombro para preparar la entrada al agua.</p>
		<p>El brazo derecho se encuentra próximo a la superficie del agua para reiniciar su entrada.</p>

Fuente: elaborado por los autores.

6.2.1 Características biomecánicas de los miembros superiores

6.2.1.1 La brazada (Maglischo, 1986)

La acción de los brazos se divide en dos componentes: la tracción acuática y el recobro; los cuales se describen a continuación:

La tracción acuática

Fases: entrada, tracción o agarre, tirón o barrido hacia abajo, barrido hacia dentro, empuje o barrido hacia arriba, y reciclaje.

Entrada en el agua. La entrada en el agua es secuencial: dedos, muñeca, codo y brazo; la mano se ubica por adelante de la cara, entre la mitad de la cabeza y la punta del hombro. El brazo debe realizar ligera flexión, con el codo por encima de la mano, de manera que los dedos sean los primeros en ingresar al agua. La mano debe penetrar el agua de 20 a 25 centímetros, y deslizarse en ésta con la palma mirando hacia abajo y afuera de 30 a 40 grados de prona-

ción, lo cual permite que la punta de los dedos se deslice dentro del agua con la mínima resistencia. La inclinación de la mano permite una entrada “limpia” favoreciendo el comienzo de la tracción.

Tracción o agarre en el agua. Esta fase de la brazada se denomina *tracción*, *arrastre* o *agarre*, y es más que un *deslizamiento*, ya que el brazo no cesa su movimiento hacia delante. Sin embargo, el nadador no inicia su fase de propulsión dentro de la brazada de modo inmediato, ya que sería poco eficaz empezar el braceo inmediatamente después de iniciar la entrada debido a que el otro brazo se encuentra aún en la mitad de la fase de propulsión. Así mismo, resultaría ineficaz detener el movimiento del brazo hacia delante porque, de acuerdo con la ley de la inercia, se necesitaría de una fuerza muscular suplementaria para reemprender el movimiento del brazo en el momento de empezar con la aplicación de la fuerza propulsora.

El agarre empieza lentamente y, de manera gradual, va incrementando la velocidad. El principio de la tracción (agarre) se realiza con la mano, la muñeca y luego el brazo, y la parte superior del brazo se encuentra cerca de la superficie. Durante la mitad de la tracción, el codo se encuentra hacia afuera, y la mano se dirige hacia adentro y atrás, y en la mitad de la tracción, el codo alcanza su máxima flexión (aproximadamente 90°).

El agarre se efectúa precisamente mientras el otro brazo disminuye su presión sobre el agua. La muñeca se flexiona aproximadamente en un ángulo de 40 grados, este movimiento va acompañado de pronación del antebrazo que se lleva a cabo en el instante en el que éste ingresa en el agua. La pronación crea una fuerza ascensional en la muñeca. En este punto, el codo empieza a flexionarse, con el fin de brindar estabilidad a la mano. La flexión de codo es el momento en el cual se inician las fases más propulsivas de la brazada.

Tirón o barrido hacia abajo. La mano debe deslizarse hacia la flexión de muñeca y ligera desviación cubital la cual se produce como un movimiento natural durante el barrido. Durante el barrido hacia abajo, el codo se flexiona gradualmente, a fin de que la mano se desplace en esta dirección, logrando que el agua se desplace hacia atrás desde la punta de los dedos hasta la muñeca.

Barrido hacia adentro. Este barrido se inicia cuando la mano alcanza el punto más profundo del barrido hacia abajo. La dirección del movimiento de la mano se acelera realizando una flexión con desviación radial de muñeca.

Empuje o barrido hacia arriba. La fase final de la tracción es la de empuje, donde el brazo comienza a extenderse, y la mano cambia de dirección hacia afuera y hacia arriba, en esta fase la mano alcanza la máxima aceleración, luego se dirige hacia fuera, arriba y atrás, saliendo del agua con la palma dirigida hacia el muslo.

El nadador debe empujar hacia atrás a medida que la dirección y la inclinación de la mano van cambiando desde la posición de flexión de muñeca hacia extensión. La mano debe estar inclinada, durante el barrido hacia arriba, hacia fuera y hacia arriba. La inclinación se obtiene distendiendo la muñeca y permitiendo que el agua produzca el movimiento pasivamente. Los ángulos promedios son entre 30 y 40 grados lo cual obliga al agua a desviarse progresivamente. Esta es la fase de mayor propulsión de la brazada.

Reciclaje. La finalidad del reciclaje consiste en situar el brazo en la posición adecuada para dar inicio a otra brazada. La mayoría de nadadores prefieren realizar el reciclaje con el codo elevado, ya que esta ubicación permite potencializar la fuerza, y evitar la desalineación del cuerpo.

El recobro o parte aérea (El recobro o parte aérea). La mano está dentro del agua cuando comienza el recobro. El brazo se flexiona cuando se eleva fuera del agua. El hombro es el que primero sobresale sobre la superficie seguido por el codo, el cual se mantiene en posición elevada. El antebrazo se balancea con soltura hacia delante, “colgando” del codo.

En este tipo de reciclaje el codo debe emerger de la superficie moviéndose hacia delante, mientras la mano finaliza el barrido hacia arriba. El codo se desplaza hacia arriba y adelante, luego de emerger del agua, siguiendo la dirección del antebrazo y la muñeca. La palma, al salir del agua, gira hacia dentro (supinación de muñeca), de forma tal que se disminuya la resistencia al paso de ésta.

A mitad del recorrido del recobro los dedos se disponen en prolongación de la línea del antebrazo, que se dirige hacia el punto de entrada. El brazo debe desplazarse hacia arriba, afuera y adelante durante la primera fase del reciclaje, transformándose en un movimiento anterior, hacia dentro y hacia abajo, en el instante de entrar en el agua. El reciclaje debe realizarse lo más lineal posible,

esto con el fin de disminuir las fuerzas laterales y verticales que perturbarían la alineación corporal. Lo anterior es posible por medio de la rotación externa del hombro y la flexión continua del codo durante la mitad inicial del reciclaje.

La acción de recobro del brazo en el lado por donde respira se debe realizar cuidando que el nadador mantenga la cabeza girada posterior a que haya realizado la inspiración, hasta un instante antes de que se produzca la entrada del brazo, ya que de esta forma se eliminará una resistencia adicional en el avance.

Reciclaje con balanceo de la mano. Según Maglischo (1986), éste es otro tipo de reciclaje que emplean los nadadores del estilo crol profesional. Recibe el nombre de *reciclaje con balanceo de la mano* debido a que la mano es la encargada de dirigir el movimiento del nadador por encima del agua.

Así como en el reciclaje con el codo elevado, el codo sale del agua antes que la mano. Pese a esto, después de que la mano ha emergido del agua, el brazo se encuentra cerca de su total extensión. La mano se balancea fuera del agua, en posición neutro/ligera flexión de muñeca por encima de la superficie del agua. Esta acción continúa a lo largo de la primera mitad del reciclaje, teniendo en cuenta que la posición de la mano se ubica por encima de la cabeza y de la superficie del agua.

Cuando la mano se ubica cercana a la posición del hombro, se realiza la flexión de codo para ingresar la mano en el agua, la cual se realiza de manera similar a la descrita para el reciclaje con el codo en flexión.

Aspectos importantes para una buena técnica de la acción de los brazos.

1. El ángulo de la mano y antebrazo en la articulación de la muñeca.
2. La mano entra en línea con los hombros en el agua.
3. Durante la tracción las manos se aceleran. Si un ciclo completo dura un segundo, el primer cuarto de brazada duraría medio segundo y los restantes tres cuartos durarían los otros 0,5 segundos.
4. Para valorar una buena brazada un concepto específico es “anclar” la mano en el agua y desplazar el cuerpo hacia delante sobre la mano. Navarro (1990) y otros investigadores describen que el nadador eficiente no mueve la mano hacia atrás en el agua, sino que los ángulos de la mano se modifican en una acción de “hélice”.
5. Se deben mantener los ángulos iguales a ambos lados para un estilo bien equilibrado.

7. Descripción del movimiento en amputados unilaterales de miembro inferior

Teniendo en cuenta que la revisión de este cuadernillo se centra en individuos con amputación unilateral de miembro inferior, se llevó a cabo la revisión de documentos en bases de datos como HINARI, ProQuest, Cochrane Library, PEDro, ScienceDirect, Ovid, Medline, PubMed, DOYMA, EBSCO HOST, E-BRARY, en revistas especializadas en el tema y en bibliotecas, con el fin de ubicar artículos relacionados. En total se llevó a cabo la revisión en diversos artículos empleando palabras claves como: amputation and sport, amputation and swimming techniques, amputation and crawl, amputation and free style, amputees and swimming, amputees and crawl, crawl swimming and disabilities, crawl swimming and amputees, biomechanics and crawl swimming, biomechanics and sports and disabilities, disabilities and swimming, adapted sport, adapted sport and biomechanics, Paralympics and swimming, Paralympics sports, amputees and Paralympics, adapted sport and amputation, adapted sport and amputees y crawl style technique, siendo éstas las de mayor relevancia. En esta revisión se pudo evidenciar que la información específica sobre biomecánica, que contempla el objeto de interés del presente cuadernillo, es muy escasa; debido a esto, como parte de los aspectos tenidos en cuenta en este apartado, se tomará la información del comportamiento mecánico general en la técnica, y se adaptará a criterio de los autores para la persona con amputación de miembro inferior.

La técnica de natación estilo crol realizada por los individuos con amputación unilateral de miembro inferior se lleva a cabo con similares características a las empleadas por un nadador sin amputación, conservando los planos y ejes de movimiento en los cuales se desempeña la acción. Para el caso de los individuos amputados es de importancia anotar la realización de compensaciones que se generan a nivel de tronco y pelvis, con el fin de brindar estabilidad y mayor eficiencia en los movimientos realizados, las cuales dependerán en gran medida del nivel de amputación, las características físicas del individuo, el tiempo de entrenamiento, así como del nivel alcanzado por el nadador.

El movimiento de batido realizado por el miembro inferior no amputado se realiza con una mayor amplitud y con ciclos de movimiento más cortos (en comparación con el movimiento realizado por los miembros inferiores del individuo sin amputación), con el fin de generar una mayor propulsión y otorgar mayor estabilidad al nadador. Con respecto a lo anterior, Cetina (1998) describe que el esfuerzo de los diferentes grupos musculares durante la ejecución de la patada

en el nadador amputado será diferente dependiendo del nivel de amputación, ya que no sólo se debe mantener la simetría en el batido, sino que así mismo se debe favorecer el equilibrio corporal, evitando que el hemicuerpo indemne se hunda; en esta situación la articulación de la cadera es la que se encarga de estabilizar el movimiento de la pierna y el muñón.

Dependiendo del nivel de amputación que presente el individuo se va a tener o no participación de las otras articulaciones durante la ejecución del movimiento. Cuando la articulación distal ha sido amputada, las otras articulaciones proximales a ésta deben realizar compensaciones de movimiento con el fin de mantener el desempeño del deportista. Es el caso de una amputación por debajo de rodilla (BK), en la cual los músculos de la cadera realizan movimientos compensatorios como rotación interna y/o externa de cadera, produciendo brazos de palanca más cortos que contribuyen con una mayor ventaja mecánica, lo que modifica a su vez la dirección de los vectores de fuerza, que se originan en aquellos grupos musculares con una mayor potencia.

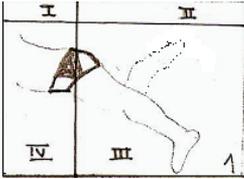
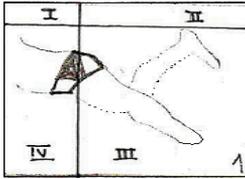
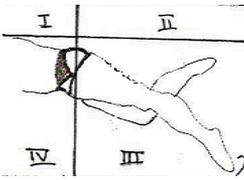
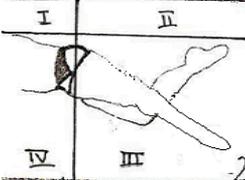
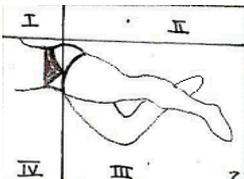
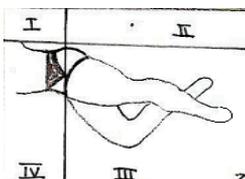
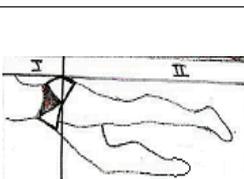
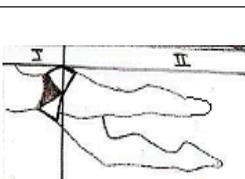
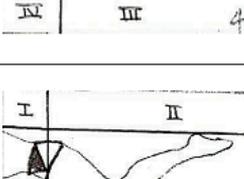
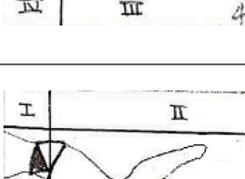
Por otra parte, en apartados anteriores se describió el movimiento ascendente y descendente que realizan los miembros inferiores durante la ejecución de la técnica, a los cuales se les adiciona un movimiento lateral (combinado) el cual es más evidente en la población con amputación, esto buscando proveer mayor estabilidad durante las oscilaciones del tronco. En estos movimientos (ascendente y descendente), los vectores de fuerza van a ser modificados debido a la no presencia de cuello de pie y pie que cumplen con la función de aleteo, minimizando la fuerza de propulsión y dirección del movimiento.

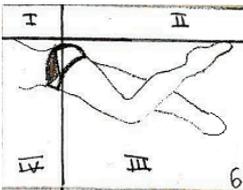
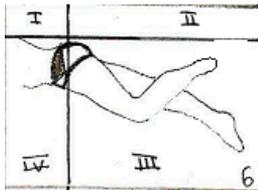
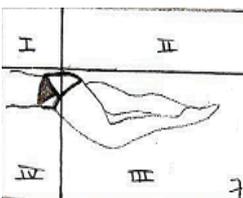
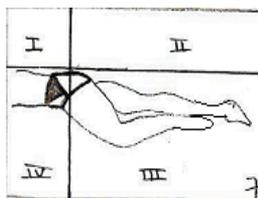
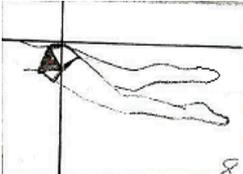
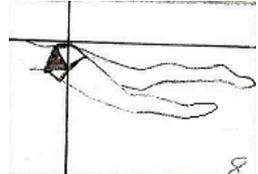
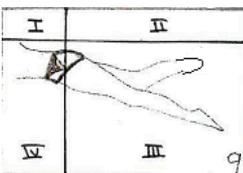
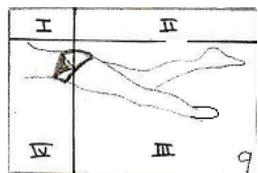
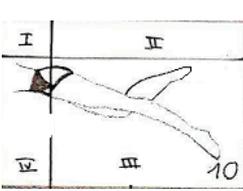
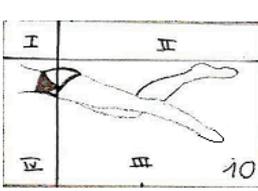
A continuación se presenta una descripción de las características biomecánicas del movimiento realizado por los miembros inferiores teniendo en cuenta el nivel de amputación.

7.1 Desarticulación de cuello de pie (SYME)

Los individuos con este nivel de amputación realizan la técnica de natación estilo crol de manera similar a aquellos individuos sin amputación. El aspecto más relevante que se va a ver afectado es la disminución en la propulsión brindada por el movimiento de aleteo que realizan el cuello de pie y el pie, haciendo que el batido con el miembro amputado sea menos efectivo.

**Cuadro 6. Descripción de los movimientos de miembros inferiores
en la ejecución de la técnica estilo crol en una persona con
desarticulación de cuello de pie**

Desarticulación de cuello de pie (SYME)			
Miembro inferior derecho		Miembro inferior izquierdo	
	Tanto la cadera como la rodilla se encuentran flexionadas, y el muñón está muy cerca de la superficie.		La pierna inicia su fase de ascenso, la cadera se encuentra flexionada con extensión activa de rodilla.
	La pierna inicia su descenso, flexionando la cadera, y completando el ángulo de flexión de rodilla.		La pierna continúa con la fase de ascenso, realizando extensión de rodilla.
	El miembro inferior continúa con el movimiento descendente, por medio de la flexión de cadera, con la rodilla iniciando su extensión.		La pierna continúa con el ascenso, realizando la extensión de la rodilla.
	La pierna casi finaliza el movimiento batido descendente. La rodilla de esta pierna se ubica en el punto más profundo de su recorrido, desde el cual dará inicio al movimiento de batido ascendente.		El miembro inferior inicia la flexión de cadera con flexión de rodilla.
	El miembro inferior derecho se encuentra completamente descendido con extensión completa de la rodilla.		La porción proximal de la pierna izquierda inicia el movimiento de descenso, realizando la flexión de cadera y de rodilla. El muñón continúa hacia arriba.

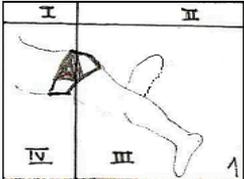
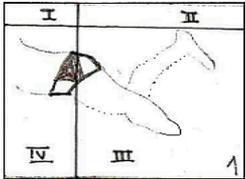
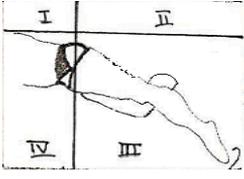
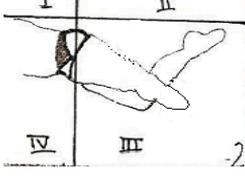
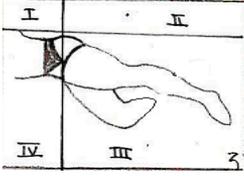
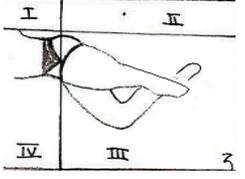
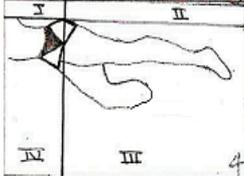
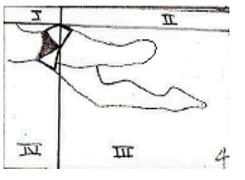
	<p>Se inicia el batido ascendente realizando flexión de cadera, con extensión completa de rodilla.</p>		<p>El miembro inferior con flexión de cadera y con el arco completo de flexión de rodilla, se encuentra en el inicio del movimiento de descenso.</p>
	<p>La pierna se encuentra en posición de recuperación (en extensión) para continuar con el movimiento de la fase descendente.</p>		<p>El miembro inferior se encuentra en la fase propulsiva del batido, realizando una flexión de cadera en arco submáximo, con flexión de rodilla.</p>
	<p>Continúa en la fase de recuperación con extensión de cadera y semiflexión de rodilla.</p>		<p>La fase propulsiva del miembro se encuentra casi completa, con una semiflexión de rodilla.</p>
	<p>El nadador realiza semiflexión de cadera, con flexión de rodilla.</p>		<p>Se puede observar una flexión de cadera, rotación interna del fémur, con extensión completa de la rodilla.</p>
	<p>La pierna se prepara para iniciar un nuevo ciclo del batido, realizando flexión de cadera y rodilla, con aducción de la pierna.</p>		<p>El ciclo de batido se inicia de nuevo. Se realiza una moderada flexión de cadera, rotación interna del fémur y extensión completa de la rodilla.</p>

7.2 Amputación por debajo de rodilla (BK)

En la extremidad amputada a nivel transtibial, la acción de la cadera y la rodilla permanecen indemnes, sin embargo, el brazo de palanca de la extremidad amputada, que es más corta, y la ausencia del pie que actúa como aleta, hacen que el batido con el miembro amputado sea menos efectivo. Cabe suponer que, si la fuerza de contracción de los grupos musculares de la rodilla es igual en ambos hemicuerpos, la diferencia de longitud de los brazos de palanca generados para vencer la resistencia del agua hace que las resistencias por vencer sean

diferentes, por lo que las fases del miembro inferior amputado son más cortas o, por el contrario, que siendo diferente la resistencia al movimiento producida en ambos hemicuerpos, la fuerza que se requiere para mantener un movimiento simétrico sea menor en la extremidad amputada.

Cuadro 7. Descripción de los movimientos de los miembros inferiores en la ejecución de la técnica estilo crol en una persona con amputación por debajo de rodilla

AMPUTACIÓN POR DEBAJO DE RODILLA (BK)			
Miembro inferior derecho		Miembro inferior izquierdo	
	El nadador realiza flexión de cadera con flexión del muñón (rodilla).		La cadera se flexiona realizando la extensión del muñón (rodilla).
	Se produce una flexión de cadera, con flexión del muñón, abduciendo la pierna.		Se mantiene la flexión de cadera, mientras que el muñón se extiende ligeramente abducido.
	La pierna continúa descendiendo realizando la flexión de cadera, la extensión y una ligera abducción del muñón.		La pierna continúa con el movimiento ascendente, con ligera abducción de cadera y rotación externa del fémur; el ángulo del movimiento de extensión del muñón aumenta.
	El muñón se posiciona en el punto más profundo de su recorrido, desde el cual dará inicio al movimiento ascendente.		El miembro inferior inicia la flexión de cadera con flexión del muñón.

	<p>La pierna se encuentra completamente en descenso, con el muñón extendido.</p>		<p>La pierna inicia su movimiento de descenso desde su posición proximal, con flexión de cadera, rotación interna del fémur, acompañando el movimiento con flexión y aducción del muñón.</p>
	<p>El miembro inferior inicia el movimiento ascendente llevando la cadera en flexión, con extensión completa del muñón.</p>		<p>Realiza flexión de cadera con flexión máxima del muñón.</p>
	<p>La pierna se encuentra en posición de recuperación (en extensión) para continuar con el movimiento de la fase descendente.</p>		<p>La pierna realiza la fase propulsiva del batido, incluyendo la flexión de cadera y del muñón, con rotación interna del fémur.</p>
	<p>El miembro inferior continúa con la fase de recuperación realizando extensión de cadera y semiflexión del muñón.</p>		<p>La etapa de propulsión de esta pierna se ha completado casi en su totalidad, realizando una semiflexión del muñón.</p>
	<p>El miembro inferior se ubica en semiflexión de cadera, con la rodilla flexionada.</p>		<p>El miembro inferior se ubica con la cadera flexionada, rotación interna del fémur, y el muñón está completamente extendido.</p>
	<p>La cadera se flexiona y el muñón se flexiona y se aduce. El miembro inferior se prepara para iniciar un nuevo ciclo del batido.</p>		<p>El ciclo de batido se inicia de nuevo. Se realiza flexión y abducción de cadera, con rotación femoral.</p>

7.3 Amputación por arriba de rodilla (AK)

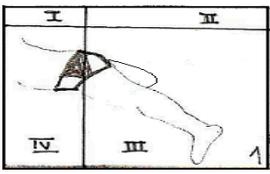
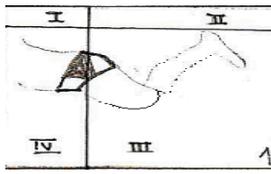
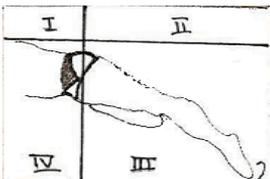
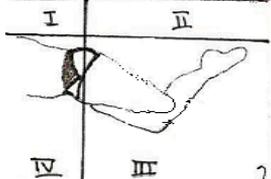
En la extremidad amputada a nivel transfemoral, la cadera y la columna realizan compensaciones de origen muscular, éstas permiten al individuo ejecutar acciones de movimiento que le posibilitan el desarrollo de la técnica de natación estilo crol.

Al haber un muñón más corto, los brazos de palanca no se originan desde la articulación de la rodilla, sino desde la articulación de la cadera y la columna vertebral, esto lleva a que se creen brazos de palanca más largos lo que disminuye la ventaja mecánica.

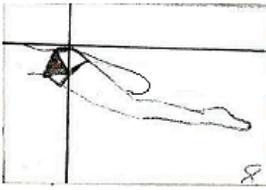
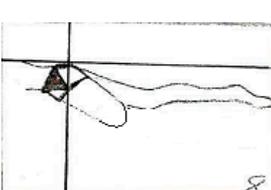
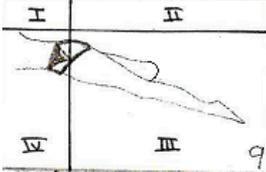
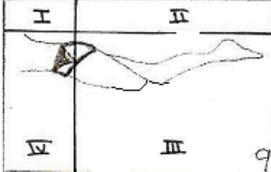
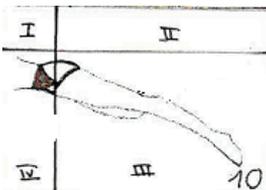
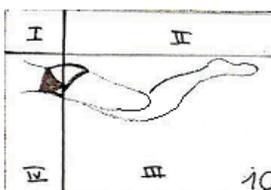
De igual manera, en el individuo amputado se acentúan movimientos musculares como la rotación de tronco, abducción de cadera y rotaciones del fémur, entre otros, con el fin de mejorar el equilibrio y el balance en el segmento corporal.

Por otra parte, el mecanismo propulsor del miembro inferior se verá aún más comprometido (con respecto al nivel de amputación BK), ya que el muñón, al ser más corto, demanda del individuo un mayor gasto energético y no logra equiparar el movimiento ondulante que proporciona la articulación de cuello de pie.

Cuadro 6. Descripción de los movimientos de miembros inferiores en la ejecución de la técnica estilo crol en una persona con amputación por arriba de rodilla

AMPUTACIÓN POR ARRIBA DE RODILLA (AK)			
Miembro inferior derecho		Miembro inferior izquierdo	
	La cadera se encuentra flexionada, con rotación externa del fémur, encontrándose el muñón en ligera aducción.		La cadera realiza flexión, abducción y rotación interna. El muñón se encuentra abducido.
	Se realiza flexión de cadera, abducción y rotación externa del fémur.		Se continúa con el movimiento de flexión en la cadera, abduciendo el muñón.

	<p>El miembro inferior continúa su descenso, con flexión de cadera, rotación externa del fémur, y marcada abducción del muñón.</p>		<p>La pierna continúa con su ascenso, realizando moderada abducción de cadera y rotación externa del fémur.</p>
	<p>El miembro inferior se encuentra en la fase final del batido descendente.</p>		<p>El miembro inferior inicia flexión de cadera con ligera rotación interna del fémur, y aducción del muñón.</p>
	<p>El miembro inferior derecho se encuentra completamente descendido, realizando flexión de cadera y rotación interna del fémur.</p>		<p>La porción proximal de la pierna izquierda inicia el movimiento de descenso, realizando la flexión de cadera, con rotación interna del fémur y marcada aducción del muñón.</p>
	<p>Se inicia el ascenso de la pierna con flexión, abducción de cadera, y rotación interna del fémur.</p>		<p>El miembro inferior realiza el movimiento de flexión en la cadera, llevando el fémur en rotación externa, lo cual ubica al muñón en aducción.</p>
	<p>La pierna se encuentra en posición de recuperación (en extensión) para continuar con el movimiento de la fase descendente.</p>		<p>La pierna se encuentra en la fase propulsiva del batido, en la cual se unen flexión de cadera, rotación interna del fémur y abducción del muñón.</p>

	<p>Continúa en la fase de recuperación con extensión de cadera y semiflexión de rodilla.</p>		<p>La fase propulsiva del miembro se encuentra casi completa, realizando la flexión de cadera y rotación interna del fémur; el muñón se desplaza en abducción.</p>
	<p>La cadera y la rodilla se flexionan.</p>		<p>La cadera se flexiona y el fémur se rota internamente.</p>
	<p>Se realiza flexión de cadera, con rotación femoral externa y aducción del muñón. El miembro inferior se prepara para iniciar un nuevo ciclo del batido.</p>		<p>La pierna se ubica en flexión de cadera, rotación interna del fémur y abducción del muñón para dar inicio nuevamente al ciclo de batido.</p>

Una vez desarrollada esta revisión, vale la pena resaltar que al tener en cuenta los aspectos biomecánicos descritos, se puede potenciar o mejorar el desempeño del deportista que práctica esta técnica, entendiendo que todo aquello que contribuya al mejoramiento de la misma permitirá un mayor rendimiento en la disciplina deportiva.

De igual manera, se evidencia la necesidad de profundizar y desarrollar investigaciones alrededor de este tema, dada la importancia que la biomecánica y su análisis tienen para el trabajo en el campo deportivo y de competencia.

8. Conclusiones

- El reconocimiento de las características mecánicas de la técnica en estilo crol en una persona con amputación a cualquier nivel de miembros inferiores permite orientar de una manera más clara los diferentes procesos de entrenamiento, a la vez que favorece la identificación de falencias motoras que al ser retroalimentadas mejoran el rendimiento del nadador.

- Con un buen entrenamiento técnico, el estilo crol de natación puede ser desarrollado por una persona con amputación a cualquier nivel de miembros inferiores.
- La técnica de estilo de natación crol es una de las más empleadas en individuos con amputación ya que involucra múltiples grupos musculares para luego potencializar los movimientos más complejos en el agua. Esto, incorporado a los procesos de rehabilitación, contribuirá a disminuir de una forma importante el desacondicionamiento por inmovilización a la vez que favorece el incremento en la capacidad cinética del individuo.
- La aplicación de la biomecánica como estrategia de análisis de la técnica deportiva permite el mejoramiento y la potencialización del gesto y el rendimiento deportivos a fin de mejorar el desempeño del deportista.
- En la actualidad, el material literario disponible para este tema es insuficiente, lo cual demuestra la importancia y necesidad de desarrollar procesos de investigación alrededor del mismo.

9. Referencias

- Alarcón, Norberto (2000). *Técnica deportiva*, PubliCE Standard.
- Arellano, Raúl (1992). *Nuevas tecnologías aplicadas al análisis y evaluación de la técnica* (cursos de ciencias aplicadas al deporte). Baeza: Universidad Antonio Machado.
- Bartlett, Roger (1999). *Sports Biomechanics: Preventing Injury and Improving Performance*, Londres, E&FN Spon.
- Cetina, María Isabel y Coral, Silvia Lucía (1998). *Entrenamiento en natación para personas amputadas de miembro inferior debido a causa traumática*. Bogotá: S.d.
- Chollet, Didier (2003). *Natación deportiva enfoque científico. Bases biomecánicas, técnicas y psicológicas, aprendizaje, evaluación y corrección de las técnicas de natación*. España: Inde.
- Costill, David; Maglischo, Ernst; Richardson, Allen (1998). *Natación: aspectos biológicos y mecánicos, técnica y entrenamiento. Test, controles y aspectos médicos*. Hispano Europea.
- DANE [2004]. Información estadística de la discapacidad. Extraído el 28 de mayo de 2008. Disponible en http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/discapacidad/inform_estad.pdf
- Extraído el 25 de mayo de 2008. Disponible en <http://www.inatacion.com/articulos/tecnica/crol/coordinacion.html>

- Gerhard, Lewin (1983). *Basado en experiencias e investigaciones científicas en deportes de la República Democrática Alemana*, 1 edición. Madrid: Augusto E. Pila Teleña.
- Hernández, A. [2002]. *Modalidades de natación. Crol*. Extraído el 20 de abril de 2008. Disponible en <http://www.i-natacion.com/articulos/modalidades/crol/crol.htm>.
- Hernández, Arturo (2002). *Los pies de crol*, i-natación. S.d.
- Kapandji, A. I. (1998). *Fisiología articular*, 5 edición. vol. 2, *Miembro inferior*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Maglischo, E. W. (1986). *Nadar más rápido. Tratado completo de Natación*. Barcelona: Editorial Hispano Europea.
- Ministerio de Educación, Ley 528 de 1999, *Diario oficial* 43.711. Extraído el 29 de abril de 2008. Disponible en http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-105013_archivo_pdf.pdf
- Navarro, Fernando (1990). *Hacia el dominio de la natación*. España: Gymnos.
- Nordin, M. y Frankel, V. (2004). *Biomecánica básica del sistema músculo esquelético*, 3 edición. Madrid: McGraw Hill-Interamericana.
- Perea, Mario Joaquín (1997). *Natación – teoría y práctica*, 1 edición. México: Trillas.
- Scott, Riewald (2003). *Swimming technique, NCSA Performance Training Journal*, vol. 2, núm. 4, pp. 9-13.
- Solas, Javier (2007). *Técnica de crol, las piernas I, II y III*. S.d.