

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
SECRETARÍA DE SALUD
INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN**

**Análisis de la Técnica de Kayak de Tipo Olímpico en
Aguas Tranquilas y su Comparación con el Movimiento
Realizado en Ergómetro de Kayak**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
MEDICINA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTIVA**

**PRESENTA:
DRA. NIDIA BARRIOS CABALLERO**

**PROFESOR TITULAR
DR. JOSÉ CLEMENTE IBARRA PONCE DE LEÓN**

**ASESOR
M. en C. Ivett Quiñones Urióstegui
Ing. Alberto Isaac Pérez Sanpablo**

MÉXICO D.F. MARZO 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	4
3. ANTECEDENTES.....	5
3.1. Historia.....	5
3.2. Equipo utilizado para el canotaje de velocidad.....	5
3.3. Descripción del canotaje de velocidad.....	7
3.3.1. Técnica kayak.....	7
3.4. Ergometría.....	10
3.5. Biomecánica Deportiva.....	13
3.6. Electrogoniómetros.....	14
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
4.1. Justificación.....	15
4.2. Hipótesis.....	15
4.3. Diseño del estudio.....	15
4.4. Objetivos.....	15
4.4.1. Objetivos Específicos.....	16
5. MATERIAL Y MÉTODO.....	17
5.1. Población.....	17
5.1.1. Criterios de Inclusión.....	17
5.1.2. Criterios de Exclusión.....	18
5.1.3. Criterios de Eliminación.....	18
5.2. Material.....	18
5.3. Método.....	18
6. DISEÑO DE ELECTROGONIÓMETROS.....	20
7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	21
8. RESULTADOS.....	23
9. DISCUSIÓN.....	30
10. CONCLUSIONES.....	34
11. ANEXO.....	35
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

1. RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar cinemáticamente el grado de semejanza que existe entre un kayak y un ergómetro de kayak para el entrenamiento de la técnica del canotaje de aguas tranquilas. Para realizar este estudio se analizaron cuatro rangos de movimiento sobre tres articulaciones. Las articulaciones estudiadas fueron la rodilla, el codo y la muñeca derechos, debido a que estas juegan un papel esencial en el desarrollo de la palada del canotaje. Los movimientos estudiados fueron la flexión y extensión de la rodilla, el codo y la muñeca, además de la desviación lateral y medial de esta última articulación. El estudio se realizó con 8 miembros de la Selección Nacional Mexicana de Canotaje de la categoría senior (mayores de 18 años) que practican canotaje en la modalidad de kayak, que han entrenado previamente en ergómetro y que han remado de manera competitiva en kayak de aguas tranquilas un mínimo de tres años. Se realizaron dos pruebas a cada participante. La primera en el ergómetro de kayak y la segunda en el kayak que cada atleta utiliza de manera cotidiana en el entrenamiento sobre el agua. Se colocó un electrogoniómetro en codo derecho para cuantificar el rango de movimiento en flexión y extensión de éste en el plano coronal. En la muñeca derecha fueron colocados dos. El primero cuantificó el rango de movimiento en flexión y extensión en el plano coronal y el segundo valoró la desviación lateral (radial) y medial (ulnar) de la muñeca. En rodilla derecha se colocó uno para valorar el rango de movimiento en flexión-extensión en plano sagital. Se estudió el lado derecho del atleta ya que el canotaje es un deporte cíclico y simétrico por lo que las diferentes fases de la palada suceden en el mismo orden, en ambos lados hasta llegar a un estado a partir del cual vuelve a repetirse el movimiento, de esta manera el estudio pudo haberse realizado del lado izquierdo del atleta sin afectar el resultado. Utilizando el método estadístico del coeficiente de correlación intraclase se determinó que el movimiento que realiza el atleta en el ergómetro a nivel de la articulación de rodilla tiene una relación de 0.89. En el codo, la relación es de 0.94. La flexión y extensión de muñeca tiene una relación de 0.80 y en desviación lateral y medial es de 0.93. Se realizó también una prueba T de student para rechazar o aceptar la hipótesis, teniendo como resultado una hipótesis verdadera.

2. INTRODUCCIÓN

En México la práctica del canotaje se encuentra muy restringida ya que se debe contar con un espejo de agua que cumpla con las especificaciones que marca la Federación Internacional de Canotaje para su desempeño; es por esta razón que pocos atletas realizan este deporte. Aún si se cuenta con un espejo de agua, durante el invierno el agua es demasiado fría para el aprendizaje del kayak ya que en un principio se pierde el equilibrio con facilidad y el participante cae al agua sin poder avanzar en su entrenamiento sobre el bote. Estos meses fríos no son adecuados para integrar a nuevos prospectos a la práctica del canotaje.

En países donde los inviernos son muy fríos y donde inclusive se congelan sus lugares de práctica, se utilizan simuladores de kayak de tal manera que no se pierde continuidad en el entrenamiento [1]. Estos simuladores son ergómetros que permiten al atleta tener un acercamiento al deporte aún cuando no sea factible realizarlo dentro del agua. De igual manera, existen numerosos atletas de la élite mundial que entrenan en ergómetros para mantenerse en forma durante la pre y la post-temporada [2].

Las compañías que proveen los simuladores de kayak indican que la posición que se adopta en el ergómetro es prácticamente igual a la que se adopta en el kayak, y que las variables fisiológicas que se entrenan en un ergómetro tienen los mismos valores [3,4]. Numerosas investigaciones han sido realizadas sobre ergómetros de kayak enfocadas al estudio de algunas variables como son la frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria, niveles de lactato y consumo máximo de oxígeno [5,6,7]. Sin embargo, hasta el momento, no se ha determinado con precisión la similitud biomecánica que se presenta en la técnica al remar un kayak y al remar un simulador.

El presente estudio caracteriza los movimientos realizados en las articulaciones de codo, muñeca y rodilla durante la palada de kayak en aguas tranquilas. El sistema desarrollado para el estudio de la técnica del canotaje permite cuantificar en grados el movimiento que cada articulación presenta tanto en agua como en ergómetro. También es posible compararlas entre sí de tal manera que se podrá determinar qué tan similar es la palada en agua y en tierra de cada participante para las articulaciones antes mencionadas. El sistema permite cuantificar y desplegar información de manera gráfica de la cinemática del kayaker. Los electrogoniómetros cuantifican los ángulos de cada articulación con una precisión de un grado. El programa desarrollado permite adquirir datos, procesarlos y observarlos en una gráfica para cada articulación y para cada kayaker en el agua y fuera de ella.

La investigación pretende determinar qué tan similar es el movimiento de la palada que realiza un kayaker en el agua y el que se realiza sobre un simulador, estudiando el movimiento realizado en tres diferentes articulaciones esenciales en el desempeño de la palada de kayak de aguas tranquilas.

3. ANTECEDENTES

3.1 Historia

El deporte del canotaje tiene su origen hace miles de años como un medio de transporte y caza. En el valle de México encontramos que la canoa fue una embarcación que tuvo gran importancia en el desarrollo de la cultura mexicana [8].

Existen dos características que marcan la diferencia entre estas embarcaciones y otras:

1. La persona va sentada o descansando sobre sus rodillas y mira en la dirección en la que avanza
2. El elemento propulsor es una pala sin un apoyo fijo sobre la embarcación

Estas especiales características permiten una gran movilidad y manejabilidad.

Actualmente, este deporte está regulado por la ICF (International Canoe Federation) y por varias federaciones internacionales. El canotaje se ha desarrollado como deporte con dos especialidades principales [9]:

- a) Tipo olímpico, en aguas tranquilas
- b) Aguas Bravas

3.2 Equipo utilizado para el canotaje de velocidad

El material que se utiliza para practicar el canotaje olímpico de aguas tranquilas en la modalidad de kayak consta de un kayak y una pala como se observa en la Figura 1, cada uno está conformado, a su vez, de diferentes componentes.



Figura 1. Kayak para una persona

Partes de las que consta un kayak [10] (Figura 2):

- Proa: Parte delantera de la embarcación
- Popa: Parte trasera de la embarcación
- Bañera: Apertura central del barco, donde se introduce el palista
- Asiento: Parte móvil del barco, donde va sentado el palista
- Pedalina: Apoyo de los pies en el interior del barco
- Casco: Mitad interior del barco
- Cubierta: Mitad superior del barco
- Timón: Parte móvil, situada en la parte posterior del barco que permite variar la dirección



Figura 2. Kayak para una persona

Partes de la que consta una pala (Figura 3):

- Pala: Medio de propulsión usado por el palista; la pala de un kayak consta de dos cucharas orientadas perpendicularmente entre sí.
- Pértiga o caña: Zona de agarre de la pala
- Hoja o cuchara: Zona de propulsión que se encuentra en contacto con el agua, de forma asimétrica para uso en aguas tranquilas como se observa en la Figura 3.
- Giro: Ángulo formando por la intersección de los planos de las dos hojas, puede ser de 80°, 90° y 85°, siendo éste último el más utilizado.



Figura 3. Pala de kayak de aguas tranquilas

El canotaje de velocidad no se puede practicar en cualquier espacio, requiere de ciertas condiciones especiales para poder llevar a cabo un entrenamiento en agua. Se debe contar con un espacio de agua que conste de una longitud mínima de 1,200 m, un ancho mínimo de 90 m, una profundidad mínima de 1.80 m, un lugar específico para resguardar los botes de la intemperie (casa de

botes) y se debe contar con un poblado cercano, en caso de cualquier eventualidad [10].

3.3 Descripción del Canotaje de Velocidad

El deporte del canotaje se practica en dos embarcaciones básicas que son el kayak y la canoa canadiense, y su finalidad es recorrer una distancia predeterminada en línea recta y sin obstáculos en el menor tiempo posible [11]. Para celebrar estas competencias o regatas se requiere de una pista que se conforme hasta con nueve carriles en donde se alinean las embarcaciones en la salida, de tal manera que la punta o proa de los botes no rebasen la línea de salida.

Un kayak para una persona mide 5.20m y debe pesar un mínimo de 12 Kg, la longitud y anchura no pueden variar en kayaks de competencia, sin embargo, los kayaks de entrenamiento suelen ser más pesados realizando así entrenamiento en condiciones más difíciles.

3.3.1. Técnica Kayak

La palada de kayak consta de cuatro fases:

1. Entrada o ataque
2. Empuje
3. Salida y direccionamiento
4. Recuperación hacia la preparación

Al igual que la palada de canoa, la recuperación es el mejor punto de referencia para describir la palada de kayak. En la Figura 4 el kayakista está a punto de palear del lado derecho, con una torsión del lado izquierdo.

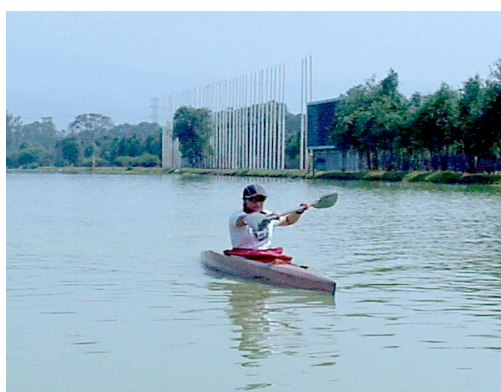


Figura. 4. Recuperación hacia la preparación

La Entrada o Ataque

El ataque se lleva a cabo en una fracción de tiempo reducida, en relación con la palada completa. A partir de su posición en la recuperación, los brazos lanzan agresivamente la pala al agua. El ángulo ideal para la posición de la

caña se ubica entre 35° y 45° con respecto al kayakuista, y la superficie de la pala se encuentra perpendicular a la línea central del bote. Los hombros y la caña o pértiga deben encontrarse en el mismo plano durante la entrada. Una vez que la pala se ha sumergido completamente, comienza el empuje.

El Empuje o Arrastre

La función del empuje o arrastre es acelerar el cuerpo y el bote en dirección de la pala sumergida, y hasta pasarla, lo más rápido posible, siendo el resultado una mayor velocidad del bote. El codo y la muñeca del lado del empuje realizan un arrastre paralelo al plano longitudinal del kayak, la cadera y el hombro del lado opuesto se desplazan hacia atrás agresiva y rápidamente. La pierna del lado del empuje se extiende apoyada en la pedalina (barra de soporte para pies) dando más impulso a la palada.

Salida y Recuperación

La salida de la pala debe comenzar en cuanto el codo del brazo de arrastre alcance el nivel de la cadera del lado del empuje. El ángulo entre el antebrazo y el brazo debe encontrarse entre 90° y 95° , y debe mantenerse este ángulo a través de toda la acción de salida. La mano del lado del empuje debe alcanzar la línea longitudinal al centro del bote justo en el momento en que el codo del arrastre alcanza la cadera del lado del empuje. La mano superior debe encontrarse aproximadamente a la altura del mentón, y no debe descender por debajo del nivel del hombro, ni tampoco elevarse por encima del nivel de los ojos. El brazo delantero debe permanecer ligeramente doblado, incluso después de que la pala haya salido por completo del agua.

En la recuperación, la cadera y el hombro opuestos a la mano de control rotan completamente alrededor de un eje central, es decir la columna vertebral. Los hombros y las caderas deben encontrarse en el mismo plano. Tanto las caderas como las rodillas deben librar el eje del bote y no tocarlo por ninguna parte para evitar un entorpecimiento de la palada.

El codo del brazo de empuje debe encontrarse a la altura del hombro, esto es, perpendicular al tronco, mientras que el antebrazo del brazo de empuje debe encontrarse a 45° con respecto al plano del bote y el agua. La mano de empuje o de control, puede ubicarse en cualquier punto entre el mentón y la frente; la co-acción de la mano depende tanto de la torsión de la pala como de la complejidad del kayakuista. Idealmente, el tronco debe encontrarse a 90° en relación con el bote, pero como se observa en la Figura 5, se toleran inclinaciones hacia adelante de 5° a 7° [12].



Figura 5. Inclínación de kajaquistas en competencia

Una vez que el kajaquista haya asumido la inclinación de su postura, debe mantener fijo el ángulo correspondiente a esta inclinación a lo largo de toda la palada, con el fin de evitar un rebote innecesario. El brazo del empuje se encuentra flexionado, encontrándose la mano de arrastre a la misma distancia del hombro de arrastre que la mano superior con respecto al hombro de empuje. De esta forma, la pala permanece paralela a la parte superior del tronco. El kajaquista se encuentra entonces en la mejor posición para iniciar el ataque [8]. En la Figura 7 se aprecian las diferentes fases de la palada de kayak de aguas tranquilas.



Figura 7 Palada de carrera básica en un kayak

Siendo el canotaje de velocidad un deporte cíclico [12], las fases de la palada se repiten continuamente durante su desarrollo y la técnica es igual independientemente del lado del que se observe al atleta.

Al remar un kayak, la resistencia experimentada durante la palada se compone de dos partes:

- Inercia de la aceleración durante la palada
- El lastre creado por la resistencia del kayak sobre el agua

De los seis componentes del entrenamiento deportivo, siendo éstos la preparación física, teórica, técnica, táctica, psicológica y volitiva [13], en el

canotaje competitivo es la preparación técnica, la que regirá la pauta para el adecuado deslizamiento de la embarcación sobre el agua.

Las articulaciones que juegan un papel fundamental en el mejor desplazamiento del bote son el hombro, el codo, la muñeca y la rodilla, y en menor grado la cadera [14,15,16,17].

3.4. Ergometría

En años recientes, se han utilizado diversos ergómetros en distintos deportes para auxiliar el entrenamiento de los atletas [18,19,20]; entre los deportes que más utilizan este tipo de entrenamiento se encuentran al remo y al ciclismo.

Se denomina ergometría (ergón, trabajo) al conjunto de métodos cuantitativos de medición de la capacidad de trabajo físico del hombre [21].

Un ergómetro es un instrumento utilizado para medir la cantidad de trabajo realizado por un músculo o un grupo de músculos [13]. De manera similar, un ergómetro puede ser empleado para entrenar aquellos músculos que se trabajan durante el ejercicio, como se observa en la Figura 8



Figura 8. Ergómetro de kayak [4]

Anteriormente, los kayaquistas se veían en la necesidad de realizar entrenamientos con ergometría de manivela cuando el entrenamiento en agua no era factible, o bien como complemento al entrenamiento en agua [22]. Sin embargo, Pyke, Baker, Hoyle y Scruton [23], fueron los primeros en observar las limitaciones que presentaba el entrenamiento con ergometría de manivela para el canotaje competitivo, ya que cada deporte requiere de la realización de ejercicios especiales y específicos.

De acuerdo con el principio metodológico de correspondencia dinámica [13], se denominan ejercicios especiales a todos aquellos que están destinados al perfeccionamiento de la técnica y de las cualidades motoras, que se ponen de manifiesto durante la ejecución del movimiento competitivo fundamental. Estos ejercicios cumplen su objetivo si son lo suficientemente semejantes al ejercicio competitivo. El ejercicio competitivo es aquel que se realiza de acuerdo a los reglamentos válidos de competencia de la disciplina correspondiente, permiten una afinación de la totalidad del rendimiento deportivo y son idénticos con el gesto técnico, es decir con el modelo ideal de un movimiento relativo a la disciplina deportiva [13].

En el canotaje, el ergómetro debe permitir al atleta adoptar la misma postura que en un kayak, como se observa en la Figura 8, cada palada se realiza por medio de una pala de kayak sin cucharas. Esa pala se encuentra unida por medio de un cable a una rueda cuya resistencia se puede ir variando lo que provoca un cambio en el efecto de frenado.

Partes de las que consta un ergómetro, Figura 9:

- Ventilador: Simula la fricción y la inercia de un kayak para una persona, (denominado K1) sobre el agua, la resistencia puede ser modificada regulando la cantidad de aire que pasa por el ventilador
- Asiento: Parte móvil del ergómetro, donde va sentado el kayaquista
- Pedalina: Apoyo de los pies
- Cable
- Pala



Figura 9. Ergómetro de kayak [3]

La resistencia del ventilador corresponde a la fricción y a la resistencia que presenta el casco del kayak. El ventilador ha sido diseñado para proporcionar una resistencia similar a la que se percibe en un kayak individual, especialmente cuando se rema entre 3 y 5 metros por segundo siendo ésta la velocidad promedio para entrenar y competir en un kayaquista entrenado [24].

En promedio, un ergómetro presenta las siguientes dimensiones [25]:

- Largo: 1.95 m.
- Altura: 0.50 m.
- Ancho 0.60 m.
- Peso: 29 Kg.

El entrenamiento en un ergómetro de kayak nos proporciona una alternativa al entrenamiento en agua, sin embargo para que sea válido, es necesario que el equipo utilizado simule el movimiento ideal alcanzado sobre el agua y que rete de manera similar el sistema cardiovascular del atleta [26].

Se han realizado múltiples estudios para valor la eficacia de un entrenamiento en kayak comparando el desempeño en el ergómetro y en aguas tranquilas; sin embargo, éstos se han enfocado en su mayoría a los aspectos fisiológicos de los kayaquistas y no a los aspectos kinesiológicos [14,27,28,29,30,31].

3.5. Biomecánica Deportiva

La biomecánica deportiva es la aplicación de la mecánica (de la física) en la investigación de los movimientos del deportista. Las áreas estudiadas son tanto los estados estáticos como dinámicos del cuerpo humano en el deporte, así como el entorno físico que los rodea y los implementos que intervienen como equipo y ropa deportiva [13]. La biomecánica recibe sus fundamentos científicos de la biología y de la mecánica y se encuentra estrechamente relacionada con la kinesiología y con la cinemática. La primera se define como el estudio fundamentalmente anatómico de los movimientos de los seres vivos, mientras que la segunda se entiende como la parte de la mecánica que estudia el movimiento, prescindiendo de las fuerzas que lo producen. Los movimientos se basan en la estructura del sistema en movimiento (esqueleto, articulaciones, tendones, músculos) [32].

Las tareas de la biomecánica deportiva consisten en el estudio de los siguientes objetivos:

- a) Estructura, propiedades y funciones motoras del cuerpo del deportista
- b) Técnica deportiva
- c) Perfeccionamiento técnico del deportista
- d) Implementos utilizados en la práctica del deporte

En este último apartado se puede mencionar al desarrollo del ergómetro de kayak como aportación importante de la biomecánica deportiva al desempeño del deportista.

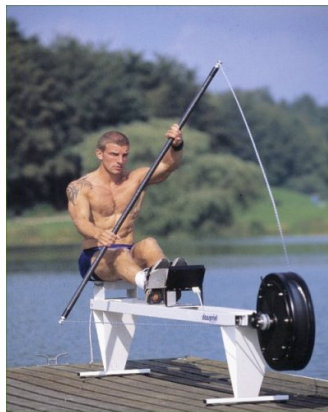


Figura 10. Ergómetro de kayak [4]

3.6. Electrogoniómetros

En 1999, D. Hawkins describió una nueva técnica para entrenamiento en remo utilizando ergómetros y electrogoniómetros, de tal manera que fuera factible cuantificar los ángulos de movimiento en distintas articulaciones durante la palada sobre un remo ergómetro [2].

Los goniómetros (ver Figura 11) son instrumentos de medición que determinan el rango de movimiento de una articulación en grados. Un electrogoniómetro logra el mismo objetivo utilizando sensores para determinar este rango de movimiento. Un electrogoniómetro sencillo, consiste en un potenciómetro giratorio en cuyo eje y base se fijan dos brazos y éstos se sujetan a las porciones distal y proximal de la extremidad que forman la articulación de interés [33]. Los electrogoniómetros están limitados a medir ángulos sobre un plano y muchos de ellos pueden modificar el rango de movimiento que se está midiendo debido a que pueden ser estorbosos, o a que la fijación mecánica del dispositivo al sujeto puede ocasionar molestias leves, por lo que pueden alterar la medición. Sin embargo, son una herramienta útil y de bajo costo para la caracterización cinemática del movimiento, no requieren condiciones especiales de laboratorio y pueden ser manipulados por personas con un mínimo de entrenamiento.



Figura 11. Goniómetro de rodilla [34]

Existen varios tipos de electrogoniómetros según el sensor que se utilice [33]. Actualmente se cuenta con electrogoniómetros que se basan en potenciómetros, galgas extensiométricas (strain gauges) , fibras ópticas o sensores opto electrónicos¹ [34]. Cada uno de ellos permite obtener una señal eléctrica relacionada con el ángulo de la articulación. Cada tipo de electrogoniómetro presenta sus ventajas y desventajas en cuanto al acceso económico, el tamaño, peso y la confiabilidad de sus lecturas [33].

¹ Potenciómetro: Resistencia variable.

Galga extensiométrica: Dispositivo que sensa deformación.

Fibra óptica: Material compuesto de silicio que transmite la luz.

Sensores opto electrónicos: Par electrónico de receptor y emisor de luz.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la dificultad que presenta el contar con un lugar adecuado para la práctica de kayak de aguas tranquilas, que cumpla con las características establecidas por la Federación Internacional de Canotaje, este deporte se ha visto restringido al Distrito Federal en México. El ergómetro de kayak puede ser una alternativa al entrenamiento en agua, siempre y cuando los movimientos realizados en uno y otro sean semejantes. Es importante determinar si el movimiento realizado en el ergómetro de kayak es semejante biomecánicamente al entrenamiento en agua.

4.1. Justificación

Los ergómetros son ampliamente utilizados por diversas disciplinas (ciclismo, remo) en el entrenamiento de la técnica ya que estipulan ejercicios cuyas características de espacio están estrictamente determinadas.

La ergometría en kayak puede promover el acercamiento de un mayor número de personas a la práctica de este deporte.

A pesar de que diversas casas comerciales [3,4,25] mencionan las semejanzas que existen entre un entrenamiento en agua y uno realizado en ergómetro, éstas se refieren a estudios fisiológicos y al impacto mercadotécnico en el ambiente deportivo. No existe una evaluación biomecánica o kinesiológica que respalde el entrenamiento en ergómetro de kayak.

4.2. Hipótesis

Si el movimiento ideal alcanzado en un kayak ergómetro es igual al estudiado sobre un kayak en aguas tranquilas, se podrá utilizar la ergometría para el entrenamiento específico de la técnica.

4.3. Diseño del Estudio

El presente estudio es prospectivo, transversal y experimental

4.4. Objetivo

Determinar cinemáticamente qué tan semejante es el uso de un ergómetro de kayak utilizando cuatro movimientos en tres articulaciones para el entrenamiento de la técnica fuera del agua en el canotaje.

4.4.1. Objetivos específicos

- Caracterizar la cinemática de las articulaciones en estudio
- Realizar una comparación entre los movimientos utilizados para dar una palada de kayak en pista, y una palada en un kayak ergómetro
- Determinar si los movimientos realizados en tres articulaciones (codo, muñeca y rodilla) de la palada básica de kayak en aguas tranquilas pueden reproducirse de manera similar en un ergómetro de kayak
- Determinar si es sustituible el entrenamiento de la técnica en agua por un entrenamiento en ergómetro es las articulaciones estudiadas
- Determinar si el sistema desarrollado puede utilizarse para estudiar la técnica de diversos atletas pudiendo así ayudar a la formación de botes de equipo o de nuevos prospectos en el deporte

4. MATERIAL Y MÉTODO

4.1. Población

El estudio se realizó con 8 miembros de la Selección Nacional de Canotaje en la categoría senior (mayores de 18 años) que practican canotaje en la modalidad de kayak.

Debido a que en el Distrito Federal, únicamente la Selección Nacional cuenta con un ergómetro de kayak para complementar su entrenamiento en agua y a que su preparación incluye de manera regular entrenamientos atados al muelle para desarrollar fuerza y equilibrio, así como el permitir observar la técnica en mejor detalle, se incluyeron en el diseño del estudio, exclusivamente a kayaquistas que forman parte del Selectivo Nacional en el diseño del estudio.

Por otro lado, los atletas principiantes aun no han desarrollado su equilibrio en un kayak en el agua y lo pueden perder fácilmente al remar con los goniómetros sujetos a sus extremidades arriesgando los instrumentos y la computadora utilizada para recolectar datos.

4.1.1. Criterios de Inclusión

- Kayaquistas mayores de 18 años de edad
- Miembros de la Selección Nacional de Canotaje
- Categoría Senior
- Que hayan entrenado a nivel competitivo durante un mínimo de 3 años en kayak
- Que hayan entrenado en ergómetro de kayak durante el último año de entrenamiento estando así familiarizados con el ergómetro
- Que no hayan presentado lesión muscular en el último mes
- Que deseen participar
- Que hayan firmado una carta de consentimiento informado [Anexo 1]

4.1.2. Criterios de Exclusión

- Canoistas
- Categoría Infantil, Principiante, Intermedio
- Que tengan menos de 3 años entrenando a nivel competitivo
- Que no hayan entrenado en ergómetro
- Atletas lesionados

4.1.3. Criterios de Eliminación

- Si el sujeto así lo solicita
- Si el sujeto sufre alguna lesión muscular
- Si el sujeto no cumple con las sesiones de evaluación

4.2. Material

1. 8 kayaquistas
2. Pulsómetro marca POLAR
3. Electrogoniómetros diseñados en Laboratorio de Análisis de Movimiento Humano del Instituto Nacional de Rehabilitación
4. Ergómetro de kayak
5. Kayak de aguas tranquilas
6. Pala
7. Pista Olímpica de remo y canotaje
8. Resorte
9. Computadora

4.3. Método

Se realizaron dos pruebas a cada participante. La primera en el ergómetro de kayak y la segunda en el kayak que cada atleta utiliza de manera cotidiana en el entrenamiento sobre el agua. Cada participante permaneció en reposo de 24 horas previo a realizar su prueba. Cada prueba fue realizada a la misma hora del día con un espacio de 24 horas entre cada una. Se colocó un electrogoniómetro en codo derecho para cuantificar los grados de movimiento en flexión y extensión de éste en el plano coronal. En la muñeca derecha fueron colocados dos electrogoniómetros. El primero cuantificó los grados de movimiento en flexión y extensión en el plano coronal y el segundo valoró la desviación lateral (radial) y medial (ulnar) de la muñeca. En rodilla derecha se colocó un electrogoniómetro para valorar los grados de movimiento en flexión extensión en plano coronal.

A pesar de que el hombro forma parte importante del movimiento de palada el diseño de un electrogoniómetro para su estudio resultaba demasiado complejo por lo cual no fue estudiado.

Los movimientos mencionados fueron analizados en cada fase de la palada:

1. Entrada o ataque
2. Empuje o arrastre
3. Salida y direccionamiento
4. Recuperación hacia la preparación

Para realizar el estudio sobre el ergómetro, el procedimiento fue el siguiente:

1. Se calculó, para cada participante, su frecuencia cardiaca máxima teórica (FCMT) utilizando la fórmula de Karvonen [35]. El 50% y el 70% de ésta FCMT fue determinado ya que estas fueron las frecuencias a las cuales se remó durante el estudio.
2. Cada participante realizó un calentamiento en tierra como acostumbra previo al calentamiento en la prueba.
3. Se colocó el pulsómetro al participante.
4. El participante realizó un calentamiento de 5 minutos sobre el ergómetro al 50% de su FCMT (previamente establecida) monitorizado por medio de pulsómetro.
5. Posterior a este calentamiento se colocaron los goniómetros sobre las articulaciones a estudiar del lado derecho de cada atleta. En la articulación del codo, el electrogoniómetro se centró lateralmente con los brazos paralelos al eje longitudinal del humero y de la ulna, del brazo en pronación [37].
En la articulación de la muñeca, el primer electrogoniómetro se centró lateralmente sobre la apófisis estiloides del cúbito con los brazos paralelos al eje longitudinal del antebrazo y al eje longitudinal del quinto metacarpiano. El segundo electrogoniómetro se colocó sobre el dorso de la mano centrado sobre la porción proximal del tercer metacarpiano con los brazos paralelos a la línea media del antebrazo y al tercer metacarpiano.
En la articulación de la rodilla el goniómetro se centró lateralmente con los brazos paralelos al eje longitudinal del fémur, sobre la superficie lateral del muslo, y al eje longitudinal de la tibia, apuntando hacia el maleolo lateral en tobillo [37,38]
6. Se dio inicio a la prueba. El participante remó durante 2 minutos al 70% de su FCMT (previamente establecida) sobre el ergómetro con los goniómetros colocados para permitir se acostumbrara a remar con los goniómetros. No se realizó registro de datos durante estos dos minutos [39,40,41].
7. Al tercer minuto comenzó el registro de datos el cual duró 2 minutos.
8. Al finalizar el cuarto minuto terminó la prueba, se retiraron los goniómetros y el atleta realizó un enfriamiento durante dos minutos.

Para realizar el estudio sobre el agua, se sujetó el kayak mediante un resorte grueso al muelle para evitar su desplazamiento, de tal manera que el atleta fuera capaz de remar sobre el agua mientras permanecía fijo. El procedimiento fue el mismo que el descrito para la prueba en ergómetro.

5. DISEÑO DE ELECTROGONIÓMETROS

Para realizar este estudio se presentó la necesidad de diseñar un electrogoniómetro accesible. Este sistema debía ser sencillo, portátil y poder conectarse a una computadora personal. El sistema no debería ser estorboso y la fijación mecánica no tendría que ocasionar molestias ya que éstas podrían modificar las mediciones. Además, se requería que fuera ligero, de bajo costo y no demandar condiciones especiales de laboratorio para usarse. Finalmente, era necesario que fuera confiable en sus lecturas y estar compuesto de elementos fáciles de obtener en el mercado nacional para facilitar su implementación y/o reparación.

El diseño de los electrogoniómetros se realizó en el Laboratorio de Análisis de Movimiento del Instituto Nacional de Rehabilitación utilizando potenciómetros [42] como sensores debido a su bajo costo y su fácil manejo. Utilizando Nylamid^{MR} se construyó una cubierta para proteger al potenciómetro del agua. También, estos electrogoniómetros tienen la ventaja de que su mecanismo evita que el sensor se someta a esfuerzos mecánicos, evita también que se introduzca ruido debido a falsos contactos, facilita su uso cómodo y no restringe los movimientos normales del cuerpo humano en los planos estudiados.

Se utilizó un convertidor analógico digital para capturar los datos y convertirlos de analógicos a digitales. Los datos fueron enviados a una computadora personal.

El electrogoniómetro fue caracterizado (precisión, exactitud, resolución y repetibilidad) comparando las mediciones realizadas con el aparato y con las efectuadas a través de los goniómetros comerciales "BioMed" y el equipo cinemático "Skill Technologies" [43].

Se diseñó un software específico que permitiera inspeccionar las gráficas y determinar en que punto comenzaba cada palada y en que punto terminaba, los datos obtenidos de un electrogoniómetro representan la cinemática de la articulación en estudio.

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se capturaron en una computadora durante los dos minutos que duró el estudio de cada participante, primero en el ergómetro de la Selección Nacional de Canotaje y posteriormente en el kayak sobre el agua en el que entrenan los atletas de manera cotidiana.

En las Tablas I, II y III se observa el número de paladas analizadas así como el periodo, y la frecuencia de éstas, dadas por cada sujeto expresados en segundos.

Las series de datos obtenidas de la lectura de los dos minutos que duró el estudio fueron normalizadas de tal manera que cada serie tuviera una misma duración para lograr que coincidieran las fases de la palada y así poder estudiarlas y compararlas entre sí. Utilizando el coeficiente de correlación intraclase se analizaron las series de datos obteniendo así una curva para cada sujeto en los cuatro goniómetros, tanto en agua como en tierra. Las curvas de los ocho sujetos obtenidas para el goniómetro uno fueron promediadas de tal manera que fuera posible obtener una curva promedio de cada sujeto. Este proceso se realizó en cada goniómetro obteniendo así la curva promedio de los cuatro goniómetros para las dos modalidades de kayak estudiadas. Utilizando el coeficiente de correlación intraclase, estas curvas fueron analizadas para determinar la semejanza existente entre cada goniómetro en agua y en tierra, los resultados se exponen en la Tabla VI.

A las series de datos obtenidas, se les aplicó la prueba T de student para determinar la distribución de los mismos, con sus respectivos intervalos de confianza y con ello definir si la hipótesis resultó verdadera o falsa, los resultados de estos cálculos están expuestos en la Tabla VII.

4. RESULTADOS

Tabla I. Periodo de las paladas dadas por cada atleta durante el estudio en segundos

	Ergómetro	Kayak
Sujeto1	1.4824±0.0734	1.4239±0.0364
Sujeto2	1.4479±0.1105	1.3673±0.3200
Sujeto3	1.6695±0.2361	2.0596±0.3857
Sujeto4	1.6454±0.5665	2.0615±0.3440
Sujeto5	1.6056±0.0653	1.9037±0.1973
Sujeto6	1.4179±0.1640	2.1569±0.2936
Sujeto7	2.1633±0.2764	1.9481±0.2418
Sujeto8	2.1162±0.3081	1.4159±0.5854

Tabla II. Frecuencia de las paladas dadas por cada atleta durante el estudio en paladas por segundo

	Ergómetro	Kayak
Sujeto1	0.67629±0.0348	0.70277±0.0186
Sujeto2	0.69496±0.0573	0.7755±0.1969
Sujeto3	0.61403±0.1146	0.50145±0.0879
Sujeto4	0.66078±0.1715	0.49801±0.0795
Sujeto5	0.62391±0.0274	0.53088±0.0552
Sujeto6	0.71486±0.0843	0.47366±0.0759
Sujeto7	0.47027±0.0648	0.52144±0.0665
Sujeto8	0.48345±0.0772	0.8402±0.3369

Tabla III. Número de paladas analizadas por atleta

	Ergómetro	Kayak
Sujeto1	84	72
Sujeto2	86	93
Sujeto3	62	47
Sujeto4	71	54
Sujeto5	57	49
Sujeto6	82	51
Sujeto7	48	62
Sujeto8	42	86

Tabla IV. Características Demográficas (n=8)

Características	Media	Mediana	Rango
Edad (años)	23	22	19-29
Peso, Kg	64	62	56-71
Talla, cm	168.3 cm	165.5	159.0-175.0
IMC (Kg/m ²)	22.56	22.32	21.10-23.99

Tabla V. Frecuencia cardiaca de trabajo de cada participante expresada en latidos por minuto:

	FCMT	50%	70%
Sujeto 1	195	128	155
Sujeto 2	191	130	154
Sujeto 3	198	126	155
Sujeto 4	199	125	154
Sujeto 5	201	130	159
Sujeto 6	200	134	160
Sujeto 7	196	130	156
Sujeto 8	197	125	154

Tabla VI. Resultados de la Correlación Intraclase en cada goniómetro:

Goniómetro	Correlación Intraclase
Uno (codo)	0.8877
Dos (rodilla)	0.9836
Tres (flexión-extensión muñeca)	0.7982
Cuatro (desviación lateral muñeca)	0.9248

Tabla VII. Valores T de student

Articulación	H	Significancia	Intervalo de confianza (°)
Rodilla	0	0.94891	-13.794 - 14.703
Codo	0	0.34528	-12.927 – 4.6301
Muñeca (flexión- extensión)	0	0.17317	-3.8758 – 0.72132
Muñeca (desviación lateral- medial)	0	0.62031	-4.4134 – 2.6648

GONIÓMETRO UNO
Articulación: CODO
Movimiento: Flexo-extensión

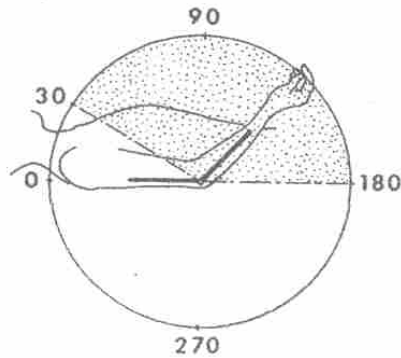


Figura 12. Movimiento de flexión-extensión en codo [34]

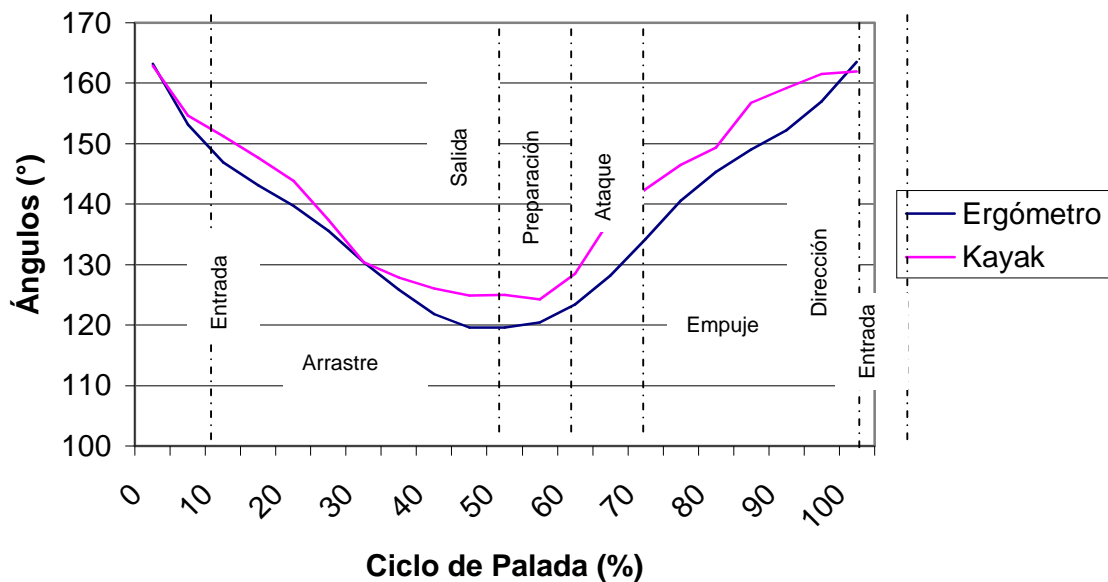


Figura 13. Gráfica del promedio del movimiento de flexión-extensión de codo en ergómetro y en kayak de los sujetos estudiados

Tabla VIII. Promedios de los ángulos de flexión y extensión máxima alcanzados en el codo en el ergómetro y en el agua expresados en grados

	ERGÓMETRO	AGUA
EXTENSIÓN	163	163
FLEXIÓN	119	120

GONIÓMETRO DOS
Articulación: RODILLA
Movimiento: Flexo-extensión

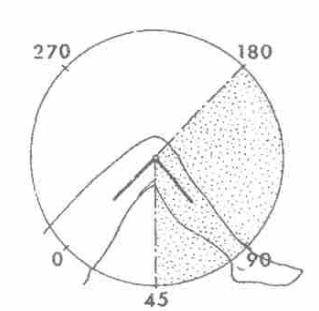


Figura 14. Movimiento de flexión-extensión en rodilla [34]

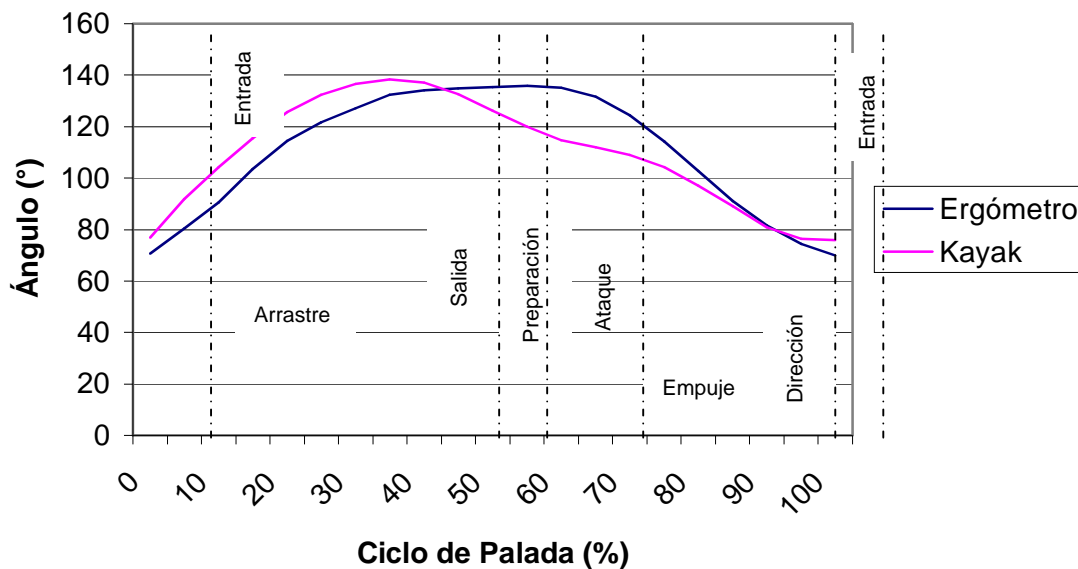


Figura 15. Gráfica del promedio del movimiento de flexión-extensión de rodilla en ergómetro y en kayak de los sujetos estudiados

Tabla IX. Promedio en grados del movimiento máximo de flexión y extensión de rodilla expresados en gados

	ERGÓMETRO	AGUA
EXTENSIÓN	139	140
FLEXIÓN	77	79

GONIÓMETRO TRES
Articulación: Muñeca
Movimiento: Flexo-extensión

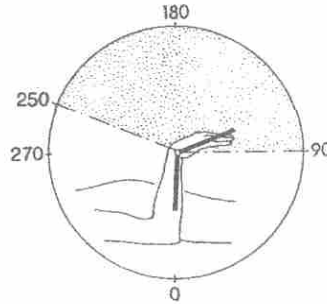


Figura 16. Movimiento de flexión-extensión en muñeca [34]

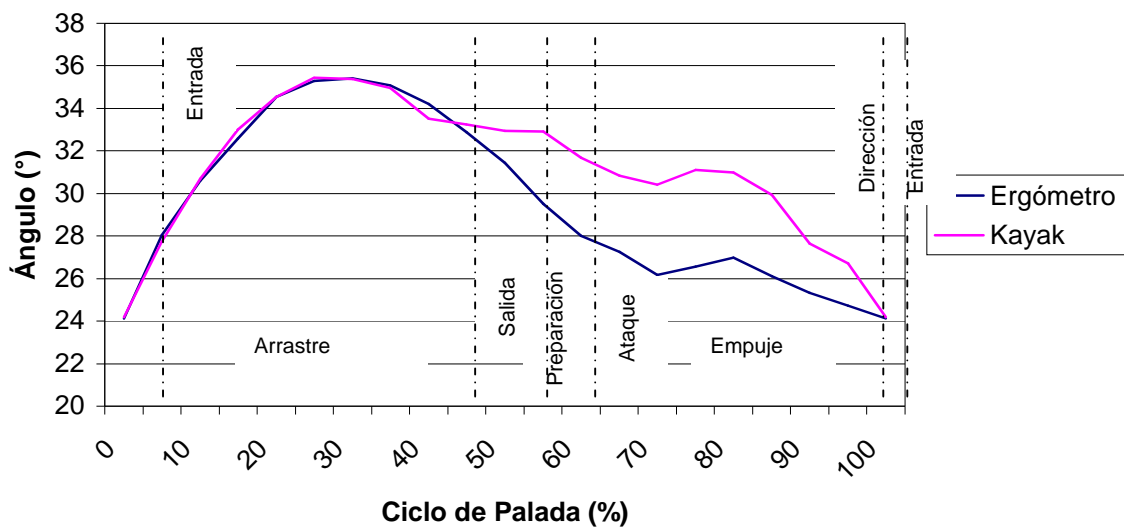


Figura 17. Gráfica del promedio del movimiento de flexión-extensión de muñeca en ergómetro y en kayak de los sujetos estudiados

Tabla X. Promedio en grados del movimiento máximo de extensión y flexión de muñeca expresados en grados

	ERGÓMETRO	AGUA
EXTENSIÓN	36	35
FLEXIÓN	25	25

GONIÓMETRO CUATRO

Articulación: Muñeca

Movimiento: Desviación lateral y medial

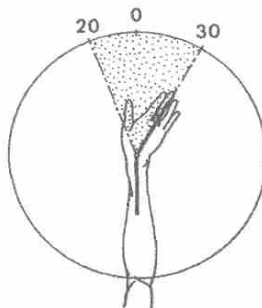


Figura 18. Movimiento de desviación medial y lateral en muñeca [34]

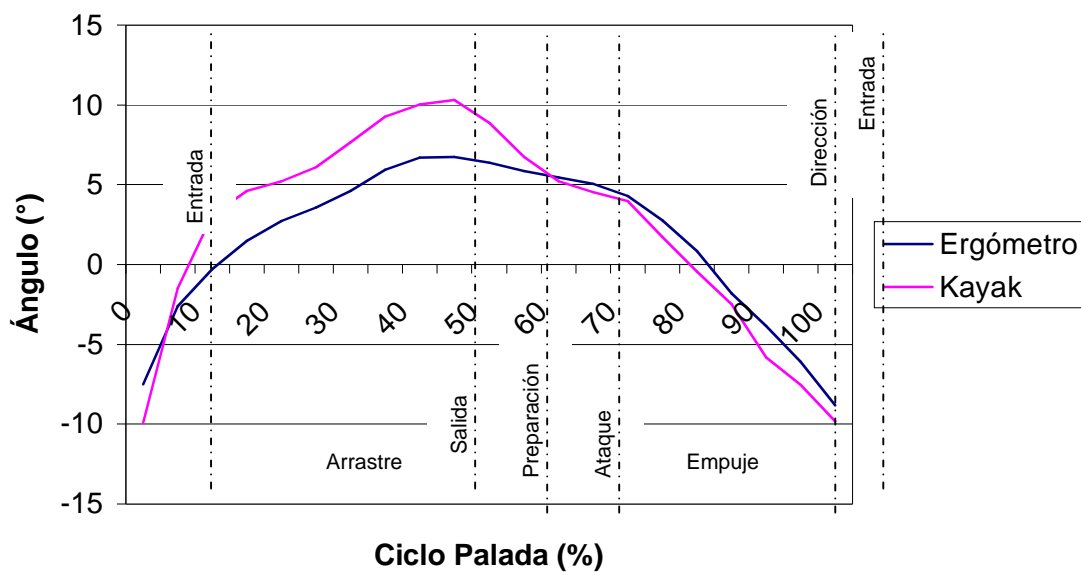
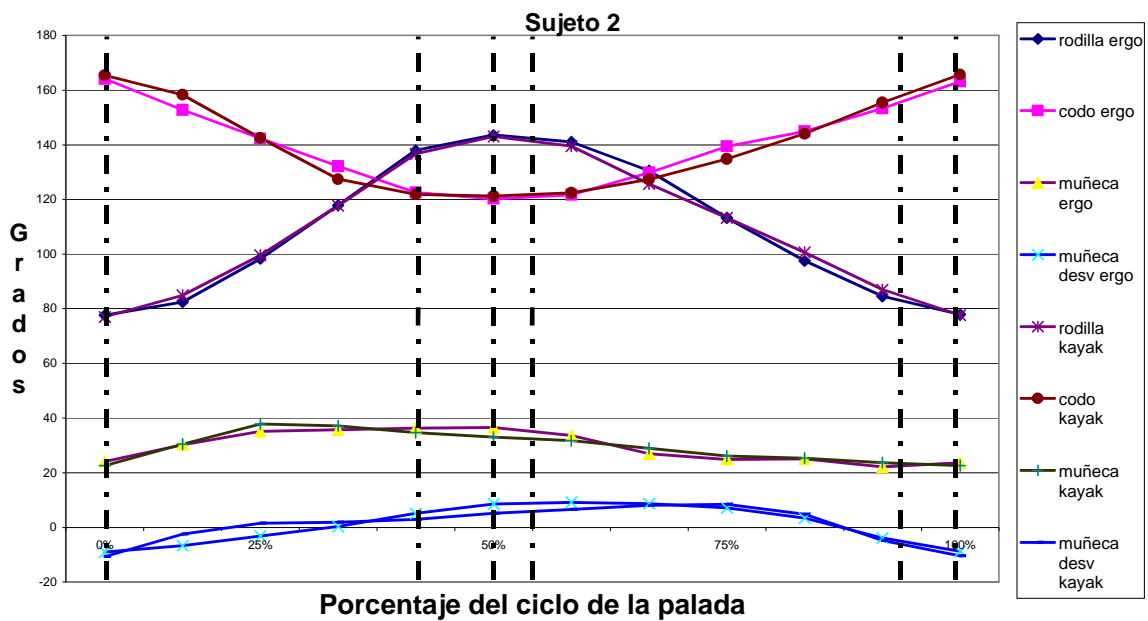


Figura 19. Gráfica del promedio del movimiento lateral y medial de muñeca en ergómetro y en kayak de los sujetos estudiados.

Tabla XI. Promedio en grados del movimiento máximo de desviación lateral y medial de muñeca expresados en grados

	ERGÓMETRO	AGUA
DESVIACIÓN LATERAL	7	9
DESVIACIÓN MEDIAL	-9	-8



En la figura 20 se aprecia la cinemática del movimiento de cada articulación durante la palada de kayak realizada en el simulador y en el agua.

Figura 20. Gráfica de la comparación goniométrica de la palada del sujeto 2 con las fases de la palada indicadas

En la Figura 20 se pueden observar los movimientos realizados en cada una de las cuatro articulaciones estudiadas, tanto en el ergómetro como en el kayak. Debido a que los sensores se colocaron directamente en el atleta, la primera mitad de la gráfica representa el arrastre y la segunda mitad el empuje.

En la entrada, el codo se encuentra en su punto de máxima extensión, llegando en promedio general de los ocho sujetos a 163 grados en el ergómetro y también a 163 grados en el kayak. A medida que progresa la palada, el codo comienza a flexionarse llegando a su punto de mayor flexión a la mitad del ciclo de palada (la preparación) para así comenzar la siguiente remada. En este punto, el codo se encuentra flexionado a 119 grados en el ergómetro y 120 grados en el kayak. Es aquí cuando el kayacista inicia nuevamente la extensión dando lugar al empuje de la palada hasta terminar nuevamente en la entrada en 163 grados de extensión tanto en el ergómetro como en el kayak.

La rodilla inicia la palada en su punto de máxima flexión, con los pies apoyados fuertemente sobre la pedalina. Aquí, la rodilla se encuentra flexionada en promedio de los ocho sujetos a 77 grados en el ergómetro y en 79 grados de flexión en el kayak. Conforme progresa la palada, y durante el arrastre, la rodilla se extiende sirviéndose de la pedalina como base de apoyo para encontrar su punto de máxima extensión a la mitad del ciclo de la palada, en la preparación. Es aquí donde la rodilla se encuentra extendida a 139 grados en el ergómetro y a 140 grados en el agua. A continuación, durante el ataque, la rodilla inicia su flexión para acompañar al codo en el empuje.

Durante esta fase la rodilla del mismo lado del codo que empuja únicamente acompaña el movimiento, ya que es la rodilla opuesta la que se encuentra realizando el trabajo al estar empujando sobre la pedalina con gran fuerza y

potencia. La rodilla regresa a su estado inicial de máxima flexión al terminar la palada.

La muñeca fue estudiada en dos de sus movimientos, el de flexión extensión y el de desviación lateral y medial.

En el primero, podemos determinar que el movimiento que realiza la muñeca es muy pequeño en comparación al que realizan el codo y la rodilla. Asimismo, nunca alcanza la posición neutra. La muñeca inicia la palada en su menor punto de flexión, siendo de 25 grados en promedio tanto en el kayak como en el ergómetro. Este punto coincide en ambos casos con la fase de entrada.

Al progresar la palada, la muñeca comienza a flexionarse aun más y alcanza su punto de máxima flexión a los 36 grados en el ergómetro y 35 grados en el kayak. Sin embargo, esta máxima flexión se alcanza en etapas diferentes de la palada. En el ergómetro la muñeca alcanza en promedio su mayor flexión antes del 50% del ciclo de palada, durante el arrastre. En contraste, en el kayak, la muñeca llega a su mayor flexión en la etapa de preparación, al 50% del ciclo de palada. Esta diferencia puede deberse a la resistencia que presenta el agua al remar sobre el kayak, la cual no se encuentra en el ergómetro.

La desviación lateral y medial de la muñeca llega a la posición neutra hacia la mitad del arrastre en el kayak. Debido a que las cucharas de la pala no son planas, el atleta debe modificar la posición de su muñeca durante el recorrido de la pala en el agua para mantener la mayor cantidad de agua en todo momento en la cuchara. Una ligera angulación de la cuchara puede ocasionar la pérdida de equilibrio sobre el bote o jalar una menor cantidad de agua sobre las cucharas, dando como resultado el menor avance del bote.

La muñeca inicia en su punto de mayor desviación medial al entrar al agua, con 9 grados en promedio de desviación en el ergómetro y 8 grados en el kayak. Durante el arrastre, la muñeca comienza a desviarse lateralmente hasta alcanzar los 9 grados de desviación lateral en el kayak y 7 grados en el ergómetro. En el ergómetro la mayor desviación lateral se encuentra durante la fase de preparación y se mantiene en esa desviación durante el empuje, mientras que en el kayak el punto de mayor desviación lateral se da a la mitad de la fase de empuje.

Posteriormente inicia una vez más la desviación medial para llegar al punto de partida en la entrada. Este movimiento al igual que la flexo-extensión de muñeca es también muy sutil.

5. DISCUSIÓN

En años recientes, se han ido incorporando los avances tecnológicos a la práctica de los deportes y al mejoramiento de las técnicas específicas requeridas de acuerdo a las características y necesidades de cada deporte.

Un auxiliar importante en el desempeño del remo y del ciclismo se tiene en el empleo del ergómetro como un auxiliar para el entrenamiento de los atletas [22,23,26]. Los deportes mencionados requieren un espacio amplio para una preparación adecuada de los deportistas, por lo que el empleo de los ergómetros representa una alternativa adecuada para su entrenamiento.

Siendo el canotaje un deporte cíclico, y que requiere para su ejercicio un espacio de agua con características específicas en cuanto a dimensiones, se puede extrapolar que, este deporte puede también emplear los ergómetros con las ventajas que se han encontrado para los deportes en los que ya se emplean. Sin embargo en la literatura no se ha encontrado descrito un estudio que analice los grados de movimiento de las articulaciones más utilizadas durante la palada en canotaje, y que por lo tanto permita determinar si son comparables los movimientos realizados en un ergómetro con los realizados en un entrenamiento dentro del agua.

Esto hizo plantear como objeto de estudio de este trabajo, el empleo de los ergómetros en la práctica del canotaje, lo que permitirá ayudar en forma efectiva a los atletas que practican este deporte, con la posibilidad, además, de impulsar el interés por la práctica del canotaje.

Debe considerarse la importancia de este estudio por la dificultad que presenta el contar con un lugar adecuado para la práctica de kayak de aguas tranquilas y que además cumpla con las características establecidas por la Federación Internacional de Canotaje. Por estas restricciones la práctica de este deporte se ha limitado a algunas ciudades de la república y al Distrito Federal. Es también importante señalar que el sistema de electrogoniometría diseñado en el Instituto Nacional de Rehabilitación a raíz de este estudio, no es para uso exclusivo en un kayak de aguas tranquilas. Los goniómetros diseñados pueden ser utilizados en cualquier disciplina deportiva donde se requiera determinar ángulos de movimiento de alguna articulación específica.

El objetivo principal de este trabajo, fue determinar cinemáticamente qué tan semejante es el uso de un ergómetro de kayak utilizando cuatro movimientos en tres articulaciones para el entrenamiento de la técnica fuera del agua en el canotaje.

Si el movimiento realizado en las articulaciones más utilizadas durante la palada de kayak es similar en un ergómetro y en un kayak sobre el agua, el primero puede representar una alternativa de entrenamiento debido a la dificultad que representa la práctica de este deporte por las características del espacio donde debe practicarse.

Esto será técnicamente correcto siempre y cuando los movimientos realizados en uno y otro sean semejantes desde el punto de vista de la biomecánica deportiva por lo que fue necesario estudiar los movimientos realizados en las articulaciones más utilizadas dentro de la palada, siendo éstas la rodilla, el codo y la muñeca. A pesar de que la cadera y el hombro constituyen una parte importante dentro de la palada de canotaje, la construcción de electrogoniómetros para su estudio resultaba difícil de realizar por lo que el estudio se llevó a cabo en las tres articulaciones antes mencionadas.

El desarrollo del trabajo planteó la necesidad de diseñar un sistema accesible para realizar el análisis de la técnica para remar canotaje tanto en ergómetro como en un kayak sobre el agua. Este sistema de estudio debía ser sencillo, portátil y poder conectarse a una computadora personal. Era necesario que el sistema fuera de uso cómodo y la fijación mecánica no debía ocasionar molestias ya que éstas podrían modificar las mediciones. También tendría que ser ligero, de bajo costo y no requerir condiciones especiales de laboratorio; además de ser confiable en sus lecturas y estar compuesto de elementos fáciles de obtener en el mercado nacional para facilitar su implementación y/o reparación.

El desarrollo de los electrogoniómetros se realizó en el área de Análisis de Movimiento del Instituto Nacional de Rehabilitación utilizando potenciómetros [42] como sensores debido a su bajo costo y su fácil manejo. Estos potenciómetros tienen la ventaja de que su mecanismo evita que el sensor se someta a esfuerzos mecánicos, evita también que se introduzca ruido debido a falsos contactos, facilita su uso cómodo y no restringe los movimientos normales del cuerpo humano en los planos estudiados.

Los potenciómetros fueron soldados a dos brazos articulados entre sí, estos brazos fueron hechos de acrílico transparente. Las dimensiones de las barras se definieron tomando como modelo los goniómetros plásticos utilizados de manera regular. La barra externa de los electrogoniómetros de muñeca fue hecha de plástico flexible con el fin de no obstruir los movimientos de flexo-extensión y desviación lateral y medial de la muñeca.

Este sistema puede ser utilizado en múltiples deportes donde se requiera determinar la magnitud de un movimiento de manera precisa. En años anteriores, se utilizaba la cinematografía para observar cuadro a cuadro el movimiento realizado por los atletas. Los electrogoniómetros representan una alternativa al estudio de análisis de movimiento de diversas disciplinas deportivas.

En nuestro estudio, observamos que la relación entre la palada en agua y en ergómetro fue prácticamente igual siendo la articulación que presentó mayor diferencia la muñeca en su movimiento de flexión extensión.

Esta diferencia puede deberse al hecho de que mientras que el movimiento que realiza el codo y la rodilla es grande, en comparación el movimiento de la muñeca es muy sutil, por lo que cualquier movimiento mayor realizado por el

sujeto con su muñeca puede distorsionar los datos aparentando así una diferencia marcada en la palada.

La resistencia que presenta el agua en el momento de remar un kayak no se encuentra al remar el ergómetro. Esta diferencia puede ser determinante en los movimientos que realiza la muñeca ya que dentro del agua el kayaquista debe modificar la posición de su mano de tal manera que la cuchara siempre tenga un área de contacto mayor con el agua, logrando un desplazamiento más eficiente del bote, y también evitando que la pala sea succionada por el agua ya que esto ocasionaría que el atleta cayera al agua.

La rodilla se encuentra exenta de este problema ya que no entra en contacto con el agua en ningún momento.

Se mencionó también el hecho de que las cucharas de la pala presentan un giro de acuerdo al ajuste que cada atleta proporcione, debido a que el ergómetro no cuenta con estas cucharas el giro es inexistente por lo que el movimiento que realiza la muñeca puede también presentar ciertas diferencias.

En las figuras 17 y 19, donde se observan únicamente los movimientos realizados por la muñeca, se aprecia la diferencia que existe en la palada entre el ergómetro y el kayak. A pesar de que los promedios de flexión y extensión son muy cercanos para el ergómetro y el kayak, la morfología de las curvas es ligeramente diferente, lo que significa que los movimientos realizados por la muñeca son similares pero ocurren en diferentes ciclos de la palada.

Se observa que la muñeca se encuentra más flexionada en el ergómetro durante la entrada debido a la menor restricción que existe en el ergómetro pues no hay peligro de caer al agua. En el kayak, la flexión de la muñeca inicia antes que en el ergómetro y es más rápida, llegando a su punto de flexión máxima a la mitad del arrastre, en el 25% del ciclo de la palada. En el ergómetro la muñeca tarda más en flexionarse, logrando su mayor flexión hasta la etapa de preparación. De igual manera, la flexión termina antes en el ergómetro, en la etapa de direccionamiento mientras que la tendencia en el kayak hacia la nueva palada es de continuarla.

Los promedios de los movimientos observados son muy cercanos a los que se describen en la literatura de la palada de kayak [10,11].

El total de número de paladas dadas varió entre los ocho sujetos (Tabla III) debido a que la frecuencia de paleo dependía de la frecuencia cardiaca de cada sujeto. A pesar de que las frecuencias cardiacas de trabajo eran muy similares (Tabla V), cada atleta responde de manera diferente al esfuerzo físico.

Debido a las diferencias que se notaron en los sujetos estudiados, se encontró que una aplicación para este estudio es poder formar botes de equipo con atletas cuya palada sea lo más similar posible. En un bote de equipo, todos los atletas deben remar simultáneamente y de manera semejante para que el bote se deslice con mayor facilidad. Cuando un atleta entrena, resulta difícil

observar a simple vista si éste realiza un movimiento diferente a otra persona o si alguna de las fases de la técnica de su palada varía de la técnica ideal. El kayaquista realiza movimientos rápidos, por lo que el realizar estas mediciones puede aplicarse con el fin de encontrar estas pequeñas diferencias durante la palada y corregirlas de manera que los 2 o 4 kayaquistas seleccionados al bote de equipo remen lo más semejante posible. Es decir, también es factible comparar de manera gráfica la palada entre dos kayaquistas y determinar si son compatibles para remar un bote de equipo.

Un beneficio adicional al uso de goniómetros para evaluar la palada es durante el aprendizaje, sobre todo par los nuevos prospectos, ya que se les puede enseñar a imitar la técnica de otro atleta más experimentado ya sea para formar un bote de equipo o para que aprenda a remar mejor, y al mismo tiempo evitar adquirir vicios.

El tamaño de la muestra estuvo en función de la cantidad de atletas que se encontraban disponibles y que cumplían con los criterios de inclusión.

Las limitaciones de este trabajo incluyeron posibles molestias y alteraciones menores en la trayectoria de la palada debidas a la sujeción de los electrogoniómetros, dos de los atletas estudiados habían iniciado su trayectoria en canotaje remando canoas canadienses, por lo que sus resultados pudieron verse afectados por la técnica que había aprendido inicialmente para la canoa canadiense.

Dado los resultados, es recomendable en un futuro realizar el estudio con atletas que únicamente hayan remado en kayak. También podrán estudiarse y graficarse de manera similar los movimientos realizados por otras articulaciones como el hombro y la cadera. Es recomendable el realizar el estudio con diferentes categorías, como juveniles ya que ellos representan el futuro del canotaje en México.

4. CONCLUSIONES

La técnica desarrollada durante cada fase de la palada de kayak sobre aguas tranquilas es similar desde el punto de vista biomecánico en el ergómetro y en el agua para la rodilla y el codo, encontrándose una correlación intraclase de 0.89 y de 0.94 respectivamente. La flexión y extensión de muñeca tiene un coeficiente de correlación intraclase de 0.80 y en desviación lateral y medial es de 0.92. Siendo la hipótesis nula falsa, comprobamos que el entrenamiento en kayak sí puede ser sustituido por el ergómetro.

El movimiento realizado en el ergómetro es semejante al que se realiza en agua, por lo que el entrenamiento puede ser sustituido en un ergómetro debido a la alta relación que se presentó durante el estudio.

El sistema diseñado nos permite observar de manera cuantitativa las diferencias biomecánicas existentes en tres articulaciones al remar en un simulador y en un kayak, así como aquellas encontradas entre distintos atletas, lo que puede resultar indispensable al formar botes para competencias en equipo.

Dado que la diferencia entre el primer y último lugar en competencias internacionales es inferior a un segundo, el adecuado perfeccionamiento de la técnica es esencial para el desarrollo de este deporte.

4. ANEXO 1

Análisis de la Técnica de Kayak de Tipo Olímpico en Aguas Tranquilas y su Comparación con el Movimiento Realizado en Ergómetro de Kayak

Yo _____.

He recibido la información de los procedimientos y características del estudio.

He podido hacer preguntas sobre el estudio.

He recibido suficiente información sobre el estudio.

He hablado con la Dra. Nidia Barrios Caballero.

Comprendo que mi participación es voluntaria.

Comprendo que puedo retirarme del estudio:

1. Cuando quiera
2. Sin tener que dar explicaciones

Presto libremente mi conformidad para participar en el ensayo.

Fecha:

Nombre del participante

Firma del participante

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FISKERSTRAND, K; SEILER, S. Training and Performance Characteristics among Norwegian International Rowers 1970-2001. Scandinavian Journal of Medicine and Sciences in Sports Volume 14 Issue 5 october 2004 pp 303
2. HAWKINS D. A new instrumentation system for training rowers. Journal of Biomechanics. Volume 33 Issue 2 february 2000 pp 241.245
3. Equipo de canotaje disponible en: www.kayaksport.net. Agosto 2005
4. Ergómetros de kayak disponibles en: www.paddleone.com. Agosto 2005
5. Ergómetro de natación disponible en: <http://www.acourt.co.nz/home/H00281.htm> Agosto 2005
6. D BISHOP : Physiological predictors of flat-water kayak performance in women. European Journal of Applied Physiology. Volume 82 Issue 1-2, 2000 pp 91
7. D BISHOP, D BONETTI, AND B DAWSON : The effect of three different warm-up intensities on kayak ergometer performance .Medicine and Science in Sports and Exercise. Volume. 33, No. 6, 2001, pp. 1026-1032
8. URTIZBEREA, J.R. Progresión a Llevar por el Iniciador, Curso de Iniciación. Escuela Nacional de Entrenadores de Piragüismo. Federación Española de Piragüismo, 1999
9. Especialidades de canotaje disponibles en: www.codeme.org.mx/canotaje/ Enero 2004
10. COMISIÓN NACIONAL DEL DEPORTE Canotaje Manual del Entrenador Nivel 3. Sistema De Capacitación y Certificación para Entrenadores Deportivos. , 2000.
11. The Olympic Games. "Canoe and Kayak Flatwater History" disponible en: www.olympic.org Mayo 2005
12. COMISIÓN NACIONAL DEL DEPORTE Canotaje Manual del Entrenador Nivel 4. Sistema De Capacitación y Certificación para Entrenadores Deportivos. , 2000.
13. VARGAS RENÉ Teoría del Entrenamiento Diccionario de Conceptos. . Universidad Nacional Autónoma de México, 1988
14. KA VAN SOMEREN KA, PHILLIPS GR, PALMER G : Comparison Of Physiological Responses To Open Water Kayaking And Kayak Ergometry. International Journal of Sports Medicine Apr;21(3):200-4 Department of Sport, Health and Exercise Science, St. Mary's, England 2000
15. RV MANN, JT KEARNEY. A Biomechanical Analysis of the Olympic-Style Flatwater Kayak Stroke. Medicine and Science in Sports and Exercise. Volume 12 Issue 3 1980 pp 183-8.
16. PEREZ, J; RODRIGUEZ, M; FERNANDEZ, B. Importance of wash riding in kayaking training and competition. Medicine and Science in Sports and Exercise. Volume 30 Issue 12: december 1998 pp 1721-1724, ,
17. PLAGENHOEF S. Biomechanical Analysis of Olympic Flatwater Kayaking and Canoeing. Research Quarterly. Volume 50 Issue 3 october 1979 pp 443-59.
18. BILLAT, V.L.; HAMARD, L.; BOCQUET, V. Influence of Light Additional Arm Cranking Exercise On The Kinetics Of VO2 In Severy Cycling Exercise. International Journal of Sports Medicine Volume 21 2000 pp 344-350

19. TAYLOR & FRANCIS. Science and Cycling: Current Knowledge and future Directions for Research. *Journal of Sports Sciences*. Volume 21 Number 9. September 2003, pp 767-787
20. BICKHAM DC, ROSSIGNOL Le. Effects of High Intensity Interval Training on the Accumulated Oxygen Déficit of Endurance-Trained Runners. *Journal of Exercise Physiology*. Volume 7 Number. 1 May 2004
21. Definición "ergometry" disponible en: www.dictionaty.com. Agosto 2005
22. VRIJENS J, HOEKSTRA P, BOUCKAERT J, VAN UYTVANCK P : Effects of training on maximal working capacity and haemodynamic response during arm and leg-exercise in a group of paddlers. *European Journal of Applied Physiology* Volume 34 Issue 2 april 1975 pp 113-119
23. RIDGE R, BARRY, PYKE S, FRANK, ROBERTS D. ALAN Responses To Kayak Ergometer Performance After Kayak And Bicycle Ergometer Training. *Medicine and Science in Sports*.; Volume 8 Number 1 1976 pp 18-22
24. GRAY GL, MATHESON GO, MCKENZIE DC, ALLAN MCGAVIN The metabolic cost of two kayaking techniques. *International Journal of Sports Medicine* Volume 14 Issue 4 May 1995 pp 250-254 Sports Medicine Centre, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
25. Dimensiones de ergómetros disponibles en: www.weba-sport.com. Agosto 2005
26. DAVIS, S; Garvin, E; Callaghan, C. Validity and Test-Retest Reliability of the Stairmaster[™] Crossrobics[™]2650 UE[™]1242. *Medicine and Science in sports and Exercise*. Volume 28 Issue 5 Supplement 208, May 1996.
27. KA VANSOMEREN, JE OLIVER : The Efficacy Of Ergometry Determined Heart Rates For Flatwater Kayak Training. *International Journal of Sports Medicine*, 2002, Volume 23, Issue 1, pp 28-32
28. ALACID FERNANDO, TORRES GEMA, SÁNCHEZ JOSÉ, CARRASCO LUIS. Validez de la Ergometría en Piragüismo para la Determinación del Umbral Anaeróbico. Estudio Preliminar. *International Journal of Sports Medicine* Voume 21, pp 200-204
29. D. BISHOP. The Validity of Physiological Variables to Assess Training Intensity in Kayak Athletes. *International Journal of Sports Medicine* 2004 Volume 25 pp 68-72
30. BISHOP D, BONETTI D, DAWSON B. The Influence of Pacing Strategy on VO2 and Supramaximal kayak performance. *Medicine Science in Sports and Exercise*. June 2002, Volume 34 Issue 6 pp 1041-1047
31. SPRINGER-VERLAG. Anaerobic Contribution to the time of Exhaustion at the minimal Exercise Intensity at which Maximal Oxygen Uptake Occurs in Elite Cyclists, Kayakists and Swimmers. *European Journal of Applied Physiology*. Volume 76, Number1. June 1997.
32. BRONZINO JOSEPH The Biomedical Engineering Handbook, 2nd Ed. Volume. I. pp. 25-3. CRC Press. U:S.A. 2000
33. VILLANUEVA D. BARRERA, MUÑOZ R, HERNÁNDEZ P: Diseño de un electrogoniómetro para la articulación de la rodilla. *Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN, Departamento de Ingeniería Eléctrica*. Octubre 2001.

34. PRAT J.. Biomecánica de la Marcha HUMANA NORMAL Y PATOLÓGICA. Prat, Jaime. Instituto de Biomecánica de Valencia. Ed. Generalitat Valenciana
35. KATCH, KATCH, McARDLE. Exercise Physiology. Lippincott Williams & Wilkins. 2000.
36. BISHOP D. Warm Up I: Potential Mechanisms and the Effects of Passive Warm Up on Exercise Performance. Sports Medicine, Volume 33, Number. 6, 2003, pp. 439-454.
37. JENKINS DAVID B. Hollinshead's functional anatomy of the Limbs and Back. Seventh Edition. WB Saunders Company. 1998.
38. BRUKNER, PETER; KHAN, KARIM. Clinical Sports Medicine. Second Edition. McGraw Hill 2001
39. JACOBS I. Blood Lactate. Implications for Training and Sports Performance. Sports Medicine. 1986 Jan-Feb;3(1):10-25
40. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Sixth Edition. Lippincott Williams & Wilkins. 1995
41. GILMAN MB. The Use Of Heart Rate To Monitor The Intensity Of Endurance Training. Sport Medicine 21(2): 73-79, 1996
42. . Potenciómetros disponibles en: www.digikey.com. Agosto 2005
43. PEREZ, QUINONES, BARRIOS, RODRIGUEZ, NUÑEZ, ALESSI. Diseño de un Electrogoniómetro para la Medición de la Palada de Kayak en Pista de Canotaje.
44. WISLOFF ULRIK; HELGERUD, JAN. Methods for Evaluating Oxygen Uptake and Anaerobic Threshold in Upper Body of Cross-Country Skiers. Medicine and Science in sports and Exercise. Volume 30 Issue 6: June 1998 pp 963-970,.
45. KRUSEN. Medicina física y rehabilitación. 4ª Edición, 1993. Capítulo 2, pp. 21.34