

2018



IBEROAMERICANA
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA

Diferencia cinemática y cinética en el ejercicio de remo sobre ergómetro, entre personas entrenadas y no entrenadas

**Angie Stephanie Vega Toro
Angélica María Ramírez Martínez**

**Fisioterapia
Facultad de Ciencias de la Salud
Corporación Universitaria
Iberoamericana**



Diferencia cinemática y cinética en el ejercicio de remo sobre ergómetro,
entre personas entrenadas y no entrenadas

Kinematic and kinetic difference in the rowing exercise on ergometer,
between trained and untrained people

Angie Stephanie Vega Toro
Corporación Universitaria Iberoamericana

Angélica María Ramírez Martínez
Universidad Central

Diciembre 21 de 2018

Resumen

El remo representa una actividad física deportiva que requiere la activación sincronizada de la mayoría de los grupos musculares del sistema musculoesquelético. Esta activación conlleva a desplazamientos de cada una de las articulaciones corporales que se combinan en una forma precisa, continua y fluida, para generar un desplazamiento suave del bote sobre el agua. El deporte del remo consiste en la repetición cíclica y sincrónica de conjuntos de movimiento articular producto de una actividad muscular regulada por un proceso sensoriomotor, el que por su vez puede ser entrenado para optimizar la coordinación de movimiento y asegurar así un mejor rendimiento en la ejecución deportiva. Para poder relacionar las variables que influyen en la coordinación de movimiento en el ejercicio del remo, se debe tener presente la relación cinemática y cinética que existe entre cada una de los segmentos corporales, así como las posibles variables que influyen en esta relación. Por tanto, el objetivo del estudio es establecer la diferencia cinemática y cinética durante la práctica de remo sobre ergómetro, entre personas entrenadas y no entrenadas.

Palabras Clave: Fenómenos Biomecánicos, Deportes Acuáticos y Fuerza Muscular.

Abstract

Rowing represents a sporting physical activity that requires the synchronized activation of most muscle groups of the musculoskeletal system. This activation involves displacements of each one of the corporal joints that are combined in a precise, continuous and fluid way, to generate a smooth displacement of the boat on the water. The sport of the oar consists in the cyclic and synchronic repetition of sets of joint movements product of a muscular activity regulated by a sensorimotor process, which on its own can be trained to optimize the coordination of movements and thus ensure a better performance in the execution sporty. In order to relate the variables that influence the coordination of movement in the exercise of rowing, we must bear in mind the kinetic and kinematic relationship that exists between all body segments, as well as the possible variables that influence in relation. Therefore, the objective of the study is to establish the kinematic and kinetic difference during the practice of rowing on ergometer, between trained and untrained people.

Key Words: Biomechanical Phenomena, Water Sports and Muscle Strength.

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	7
Capítulo 1 – Introducción, Fundamentación Conceptual y Teórica	8
Figura 1. Secuencias de movimiento en la máquina de remo, tomado de (Contributors et al., 2015)	9
Capítulo 2 - Aplicación y Desarrollo	13
2.1 Tipo y Diseño de Investigación	13
2.2 Población o entidades participantes	13
Tabla 1. Valor de z, para un nivel de confianza según la distribución normal.....	13
2.3 Definición de Variables o Categorías	15
2.4 Procedimiento e Instrumentos	16
Figura 2. Equipo de captura de datos y máquina Concept 2, modelo D PM5.....	17
Figura 3. Esquema de la instrumentación utilizada para captura de datos.....	18
Figura 4. Niveles de resistencia en el dámper. Tomado de (Contributors et al., 2015).....	19
Figura 5. Modelo de marcadores. (a) modelo para posición estática (b) modelo para ejercicio.....	22
Figura 6. Vista del sujeto desde la Rowing Machine al televisor	23
Capítulo 3 – Resultados	26
Figura 7. Resultados de los ángulos de flexión de rodilla y codo en sujetos no entrenados.....	26
Figura 8. Resultados de los ángulos de flexión de rodilla y codo en sujetos entrenados.....	27
Figura 9. Resultados de los ángulos de flexión y extensión de hombro, codo, cadera, rodilla y tobillo en sujetos entrenados	28
Figura 10. Fuerza en el manillar de los sujetos entrenados y no entrenados con resistencias mínima y máxima en el damper	30
Figura 11. Pico de fuerza en el manillar de los sujetos entrenados y no entrenados con resistencias mínima y máxima en el damper.....	31

Figura 12. Pico de fuerza en el manillar con frecuencias cercanas de los sujetos entrenados y no entrenados con resistencias mínima y máxima en el damper 32

Tabla 2. Comparativo de los datos de fuerza máxima de tracción del handle y el tiempo 33

Capítulo 4 – Discusión 34

Capítulo 5 – Conclusiones..... 38

5.1 Cumplimiento de objetivos y aportes 38

5.2 Producción asociada al proyecto 38

5.3 Líneas de trabajo futuras 40

Anexos 41

Referencias 48

INTRODUCCIÓN

La sincronización en el ejercicio del remo depende del desplazamiento angular de cada uno de los segmentos corporales, producto de una actividad muscular específica. Para la ejecución correcta, efectiva y eficiente de movimientos dentro del ejercicio de remo, se requiere de una buena coordinación de movimientos regulada por un proceso sensorio motor complejo en términos de la percepción de las diferentes posiciones articulares (Corporaal et al., 2017). Esta coordinación se afecta con la experiencia en el gesto deportivo como se ha evidenciado en casos en que los remadores expertos logran una fuerza continua durante la remada lo que conlleva a un golpe de fuerza más efectivo (Torres-Moreno, Tanaka, & Penney, 2000). Sin embargo, aún no hay claridad en qué radica la diferencia tanto en la cinemática como en la cinética de personas que reman con y sin entrenamiento.

Por lo tanto, se plantea la pregunta: ¿cuál es la diferencia en términos cinemáticos y cinéticos de sujetos entrenados y no entrenados, en la práctica de remo sobre ergómetro.

OBJETIVO GENERAL:

Establecer la diferencia cinemática y cinética durante la práctica de remo sobre ergómetro, entre personas entrenadas y no entrenadas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Identificar los parámetros cinemáticos y cinéticos en torno a la ejecución del ejercicio de remo sobre ergómetro.
- ✓ Analizar los datos cinemáticos y cinéticos procesados alrededor de la ejecución del ejercicio de remos sobre ergómetro.
- ✓ Comparar las variables cinemáticas y cinéticas encontradas entre sujetos entrenados y no entrenados.

Capítulo 1 – Introducción, Fundamentación Conceptual y Teórica

EJERCICIO DE REMO

Gran Bretaña, Estados Unidos, Australia, Brasil entre otros, organizan grandes eventos deportivos de remo “Rowing”. En su larga trayectoria (deporte olímpico desde 1900) diversos estudios han demostrado que este ejercicio produce un equilibrio entre las fuerzas realizadas por todos los músculos del cuerpo durante el movimiento. Como objetivo de imitar el movimiento fueron diseñadas distintas máquinas que simulan el movimiento de remo (Rowing Machine). De los usos más comunes de la máquina se encuentran: el entrenamiento de deportistas de remo (Baptista, Cunha, & De Oliveira, 2008) (Jürimäe et al., 2010) y rehabilitación en pacientes con parálisis (Davoodi, Andrews, Wheeler, & Lederer, 2002).

El ejercicio de remo simula la palada (movimiento de remar) (Figura 1), y se puede dividir en dos partes: el ataque y la recuperación. (1) El Ataque “Comenzando” es cuando el remero inclina su cuerpo hacia adelante con las rodillas dobladas, y los brazos extendidos hacia la rueda volante. (2) El pase se inicia con las piernas y la espalda efectuando todo el trabajo, (3) hasta llegar al final del movimiento. (4) La recuperación se inicia al extender los brazos y doblar el cuerpo hacia adelante, sobre las caderas y el cuerpo va hacia el frente con las piernas, colocándose en la posición inicial para la siguiente remada. Los movimientos son combinados para hacer que la palada sea fluida y continua. No debería haber ninguna parada en ningún punto del ejercicio (Contributors et al., 2015).

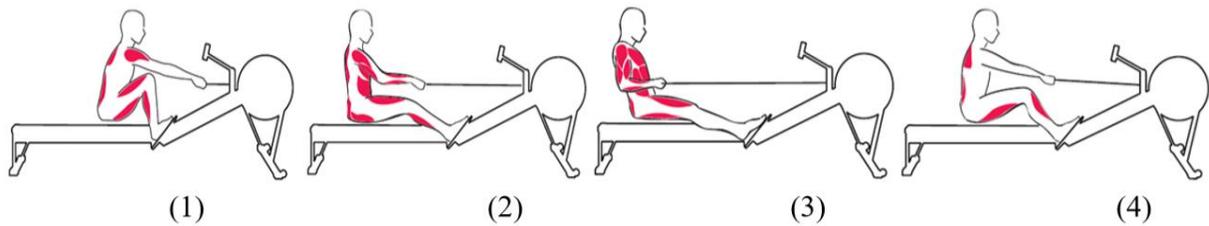


Figura 1. Secuencias de movimiento en la máquina de remo, tomado de (Contributors et al., 2015)

El remo en Colombia es un deporte reciente, por lo cual no es muy estudiado en el país. Sin embargo en el mundo se han realizado diversos estudios evaluando el desempeño fisiológico y biomecánico (Baptista et al., 2008), (Hase, Kaya, Zavatsky, & Halliday, 2004) (Černe, Kamnik, Vesnicer, Žganec Gros, & Munih, 2013a). En los cuales comparan los cambios en la coordinación del movimiento de personas con entrenamiento y sin entrenamiento (Černe, Kamnik, & Munih, 2011), (Černe et al., 2013a); así como el efecto del Drag Factor (Factor de arrastre) durante el ejercicio (Kane, Jensen, Williams, & Watts, 2008).

CINEMÁTICA Y CINÉTICA EN EL EJERCICIO DE REMO

El remo es una actividad física que requiere del uso tanto de las extremidades superiores, como de las inferiores y del tronco. En la secuencia del ejercicio, los brazos se encargan de mover el remo sobre el agua generando la potencia suficiente para el desplazamiento del bote (Kane et al., 2008). Este mismo gesto se simula en un ergómetro, el cual consiste en una silla móvil y una rueda volante (o ventilador) al que se le enrolla una cuerda que en el otro extremo es sujeta por el deportista con las manos sobre el manillar.

La secuencia coordinada de movimiento seguida durante la actividad del remo, comprende una serie de rotaciones angulares estudiadas a través de la cinemática, en las fases de pase y recuperación: en el pase, el remero inclina su cuerpo hacia atrás extendiendo las rodillas y posteriormente flexionando los brazos alejándose de la rueda volante, efectúa todo el trabajo inicialmente con las piernas y el tronco superior desde la cadera, finalizando esta fase con los hombros y los brazos, representando el momento de mayor fuerza sobre el manillar o fuerza de tracción. En la recuperación, se retoma la posición inicial extendiendo los brazos y posteriormente flexionando las piernas generando el movimiento del asiento hacia adelante (Černe et al., 2011), (E. Buckeridge, Hislop, Bull, & McGregor, 2012).

Para lograr una mayor velocidad del sistema (E. M. Buckeridge, Weinert-Aplin, Bull, & McGregor, 2016), se requiere que estos movimientos, que se repiten de manera cíclica, se combinen de una forma precisa, continua y fluida (Kane et al., 2008) generando la potencia suficiente para el desplazamiento del bote (Černe et al., 2011). Baudouin y Hawkins plantean que, para una mejor ejecución de movimiento en el ejercicio del remo, se requiere de una adecuada transmisión de fuerzas, coordinada en una fase secuencial de movimiento, permitiendo de ésta forma un mejor impulso durante el gesto (Corporaal et al., 2017). Así mismo, la experiencia en la ejecución del ejercicio, como en el caso de remeros en la categoría élite, favorecerá éstos patrones de secuencia de movimiento para dar una mejor realización de la actividad en comparación con los novatos. Por ejemplo, los remeros expertos logran una relación más consistente entre la fuerza aplicada y el rango de movimiento articular, lo que conlleva a un golpe de fuerza más efectivo (Černe et al., 2013a).

Turpin y cols, estudiaron la relación entre la experiencia en el ejercicio de remo y las sinergias musculares durante la actividad, encontrando que hay similitud entre la organización de sinergias musculares durante el ejercicio, entre personas con y sin experiencia, y sus resultados sugieren que la experiencia en ésta actividad deportiva podría no desarrollar nuevas sinergias musculares, pero podría implicar el desarrollo

de sinergias intrínsecas utilizadas en otras actividades motoras, así como concluyeron que la experiencia requiere ajustes en las respuestas mecánicas de las sinergias musculares más que diferencias en el tamaño y el tiempo de las activaciones (Turpin, Guével, Durand, & Hug, 2011).

Cerne et al 2013, midieron los parámetros que caracterizan la técnica del remo en sujetos de diferentes categorías, identificando un modelo de referencia para la mejora en la frecuencia del remado, así como las variables cinéticas y cinemáticas influyentes. Ellos encontraron que la técnica del remado es similar y consistente en remeros de élite y junior, mientras que los no entrenados hay diferencia en la técnica y presentan más inconsistencias en cuanto a la ejecución del movimiento, especialmente el golpe de fuerza en el remado (fuerza de tracción) (Černe et al., 2011) (Černe et al., 2013a).

Siendo que el ejercicio del remo ha sido estudiado desde diferentes perspectivas entre el análisis cinético y cinemático, se han destacado diversos resultados en torno al rendimiento particularmente en relación al gesto; ya en el marco de la coordinación de movimiento como una relación precisamente entre variables cinéticas y cinemáticas, aún no es suficientemente clara la caracterización del ejercicio del remo teniendo en cuenta éstos parámetros, así como su influencia en las diferencias entre personas con y sin experiencia.

En el año 2017 se presenta en el VIII Congreso Internacional de Ingenierías Mecánica y Mecatrónica y VI de Material, Energía y Medio Ambiente el trabajo titulado “Instrumentación de una Máquina de Remo para Análisis Tridimensional Cinemático y Cinético” por parte el Grupo COMMNOS de la Universidad Central, en la que se estructuró un protocolo de instrumentación para el análisis cinético y cinemático de movimiento en la máquina de remo aprobado para el inicio de análisis piloto y dar continuidad a estudios en relación.

Por tanto, con base en los anteriores antecedentes se presenta la necesidad de evaluar las diferencias en términos cinemáticos y cinéticos entre sujetos entrenados y no entrenados durante el ejercicio del remo en una máquina de ergómetro instrumentada, teniendo como hipótesis la existencia de diferencia significativa entre personas entrenadas y no entrenadas, y como objetivo establecer la diferencia en las variables cinemáticas y cinéticas durante la práctica de remo sobre ergómetro, entre personas entrenadas y no entrenadas.

Capítulo 2 - Aplicación y Desarrollo

2.1 Tipo y Diseño de Investigación

Tipo de estudio descriptivo de tipo observacional de orden transversal.

H0: Existe una diferencia significativa entre las personas entrenadas y no entrenadas.

H1: No existe una diferencia significativa entre las personas entrenadas y no entrenadas.

2.2 Población o entidades participantes

CÁLCULO DE LA MUESTRA

El número de sujetos se calcula con la siguiente ecuación (Pérez López, 2005).

$$n = \frac{z^2 \sigma^2}{e^2}$$

z: Factor dependiente del nivel de confianza que se asigna al estudio.

σ : Desviación estándar.

e: Límite aceptable de error muestral.

Para este caso se utiliza un nivel de confianza del 95%.

Valor de z	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2,24	2,58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	97,5%	99%

Tabla 1. Valor de z, para un nivel de confianza según la distribución normal

De donde se obtiene un factor $z = 1.96$. Con base en el referente bibliográfico (Černe et al., 2013a) se utilizó el promedio del grupo de personas no entrenadas, con una velocidad de remada de 26 stroke/min, para el cual el valor de la fuerza máxima de reacción del pie es igual a 855 (+/- 93) Newton. El límite del error muestral puede determinarse mediante el coeficiente variacional, asumiéndolo como el 4,7% de la media muestral (855). Por lo tanto, se obtiene $(e) = 55.75$ reemplazando en la ecuación anterior y se obtiene:

$$n = \frac{1.96^2 * 93^2}{55.75^2} = 10$$

Por lo que el número de sujetos $(n) = 10$ (5 sujetos en cada grupo).

Cabe mencionar que el anterior valor muestral se divide en 5 y 5 por grupo, y el reclutamiento dependerá de la cantidad de población entrenada disponible.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Se divide en dos niveles: entrenado y no entrenado.

Entrenado: Se dice que está entrenado si es miembro del grupo *Bogotá Rowing School* y tienen 02 años de experiencia con la técnica de remo.

No entrenado: Se dice que no está entrenado si nunca ha tenido contacto con el ejercicio de remo, por lo que es necesario que dicha persona adquiera la técnica del movimiento. Debido a que obtener una técnica adecuada depende del preparamiento físico de cada persona, se realizará una introducción de la técnica para alcanzarla en un corto tiempo.

SELECCIÓN DE LA POBLACIÓN

Para la prueba se convocaron a 10 sujetos divididos en 2 grupos: entrenados (5) y no entrenados (5), de acuerdo con el protocolo aprobado por el comité de ética de la Universidad Central. Los sujetos realizaron las pruebas en el laboratorio de análisis de movimiento y ergonomía (AM&E) de la Universidad Central. Se indicó a los sujetos abstenerse de ejecutar entrenamiento pesado dentro de los dos días anteriores a la prueba.

2.3 Definición de Variables o Categorías

VARIABLES DE ESTUDIO

1) Cinética:

- a) Fuerza máxima de reacción ejecutada con las manos sobre el manillar (handle) cambiando el factor de arrastre (*Drag Factor*) en el ejercicio sobre la *Indoor Rowing Machine*.
- b) Con base en ésta fuerza de reacción se identificaron:
 - i) La frecuencia presentada por las fuerzas de tracción en el tiempo del ciclo realizado.
 - ii) Los picos de fuerza realizados durante el ciclo realizado.
- c) Para el desarrollo de los procesos mencionados anteriormente se hizo uso del Software MatLab (“Laboratorio de Matrices”), en el cual se realizaron diferentes rutinas para el procesamiento de datos (Ver documento de rutina general en ANEXO 1).

2) Cinemática:

- a) Durante la captura del movimiento se realizó el proceso de “tracker” para la reconstrucción de cada punto anatómico, según modelo determinado (Ver

figura de modelo en ANEXO 2). El tiempo del ciclo de captura es cortado con base en:

- i) El registro de la fuerza de tracción detectada por el marcador ubicado en el “handle” para que ambas medidas (cinemática y cinética) inicien en el mismo tiempo de ciclo.
 - ii) El análisis del comportamiento de las fuerzas de tracción dadas por el handle en el análisis cinético.
- b) Con base en lo anterior se obtienen los datos de los momentos articulares según el tiempo del ciclo en el movimiento, a partir de lo cual se realiza la comparación de diferentes segmentos articulares y sus diferencias relacionadas al momento o al tiempo.

2.4 Procedimiento e Instrumentos

HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS

- ✓ SMART TRACKER: Para la reconstrucción del modelo cinemático según los marcadores específicos.
- ✓ OPEN SIM: Para la reconstrucción del modelo anatómico según la cinemática establecida.
- ✓ MATLAB: Para el procesamiento de datos cuantitativos.

SISTEMA DE CAPTURA DE MOVIMIENTO

Para la toma de datos se hizo uso del laboratorio de análisis de movimiento de la Universidad Central que dispone de un equipo de captura utilizado es un SMART-E de @ 50Hz (BTS Bioeng, Italia) (Figura 2), con 6 cámaras de LED's infrarrojos (TELI 8320BC), una plataforma de fuerza Kistler 9286, 3 controladores de recepción de datos, 1 CPU SMART-E DATA STATION en el que se procesan los datos. El sistema optoelectrónico realiza el rastreo de los datos en un orden de 50 Hz. De ésta forma, el movimiento tridimensional se capturó a través del sistema optoelectrónico SMART-

E @ 50Hz (BTS Bioeng, Italia) de la Universidad Central. Se hizo uso de 27 marcadores reflectivos, dispuestos sobre el sujeto de acuerdo a una adaptación del modelo Davis, definiendo los siguientes segmentos: pie, pierna, muslo, torso, brazo y antebrazo (Vaughan, Davis, & O'Connor, 1999).



Figura 2. Equipo de captura de datos y máquina Concept 2, modelo D PM5.

MEDIDA DE LA TENSIÓN EN EL MANILLAR

Para obtener datos de la fuerza de reacción realizada por los brazos, se midió la tensión de la cadena ubicando una celda de carga entre ésta y el manillar. De acuerdo con el valor máximo registrado por (Černe et al., 2011) (816 N), la celda de carga utilizada es tipo 'S' LEXUS, con una capacidad máxima de 100 kgf. Una consideración importante en el diseño del montaje es que las deformaciones sufridas durante el ejercicio fueron despreciables para no afectar la medida del transductor. Se ubicaron dos marcadores en el manillar para que el sistema BTS pueda también rastrear su trayectoria (Figura 3). La diferencia entre el pase y la recuperación se obtuvo mediante la posición del marcador en el manillar.

Para la adquisición de datos se usó un sistema basado en una tarjeta Arduino UNO (DAS) y un Módulo HX711, como interfaz entre el Arduino y la celda de carga, implementando una conversión analógica/digital (interna) de 24 bits. A su vez, la tasa de muestreo se establece en 80 Hz. Este sistema envía los datos digitales a un programa desarrollado en Matlab®, el cual permite visualizar los datos obtenidos y exportarlos en tiempo real a un archivo de texto plano UTF-8. El sistema propuesto se calibró en una máquina de tensión (laboratorio de ensayos mecánicos, Universidad Nacional), con una celda de carga Shimatzu (Tipo: SLBL-1kN). La sincronización entre los dos sistemas de adquisición se implementó a través del sistema optoelectrónico, el cual reconoce una señal de un LED infrarrojo incorporado en el Arduino, el cual emite un pulso al superar el umbral de 5 Kg (Figura 3).

MÁQUINA DE REMO CONCEPT II

Se hizo uso de una máquina de remo Concept II, Modelo D-PM5 (Morrisville, USA), instrumentada para medir la fuerza y el movimiento del deportista (Torres-Moreno et al., 2000). Contó con una celda de carga tipo 'S' LEXUS (capacidad máxima de 100 kgf) ubicada entre el manillar y la cadena, para medir la fuerza de reacción de los brazos sobre el manillar (Figura 3).

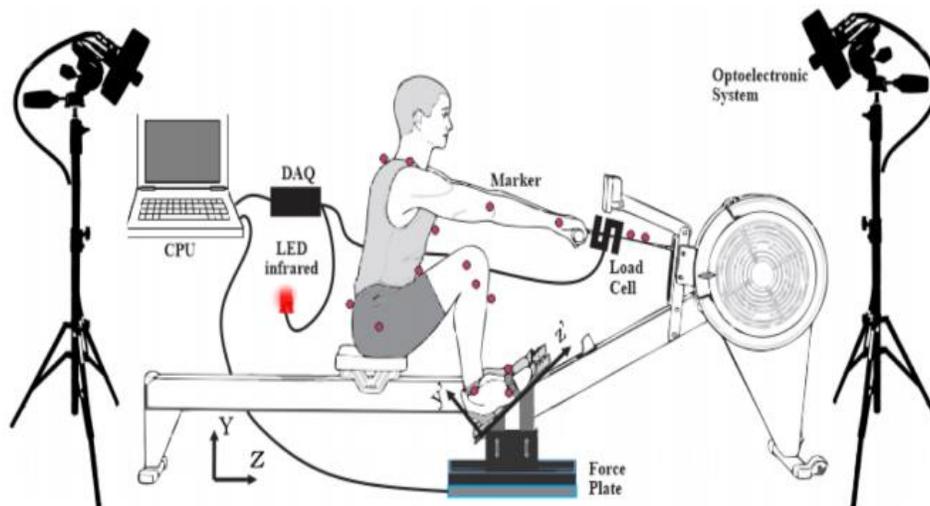


Figura 3. Esquema de la instrumentación utilizada para captura de datos

DRAG FACTOR

Es una medida calculada de la máquina el cual determina el trabajo realizado por una persona, dependiente de la apertura del volante y de la velocidad a la cual se realiza el ejercicio. Este factor se puede controlar con la palanca lateral de la carcasa del volante (Figura 4), que a su vez controla la cantidad de aire fluye en la jaula.

Se definen 2 niveles de resistencia: bajo (Nivel 1), alto (Nivel 10) (Figura 2)

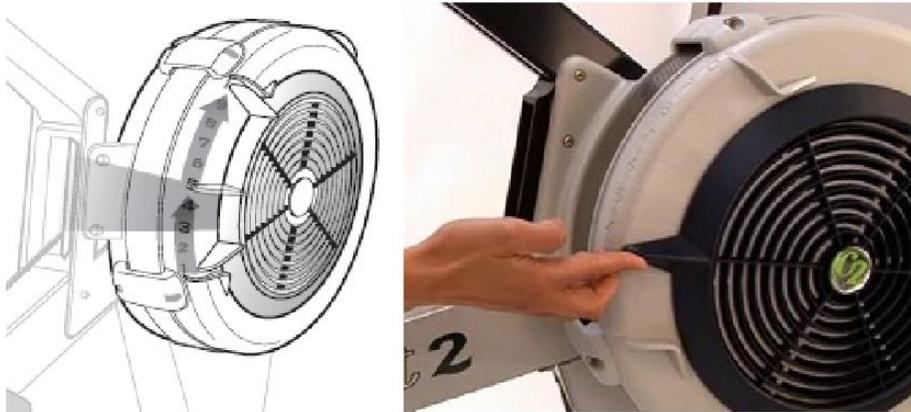


Figura 4. Niveles de resistencia en el dámper. Tomado de (Contributors et al., 2015)

EXPERIMENTACIÓN

1. Selección de Sujetos:

Se seleccionarán 10 sujetos, mayores de edad. Sin antecedentes de problemas cardiovasculares o problemas neurológicos u ortopédicos.

2. Convocatoria:

Se realizarán 2 convocatorias diferentes, para 5 sujetos entrenados y 10 no entrenados.

- ✓ Entrenados: La convocatoria se realizó por medio del grupo *Bogotá Rowing School*, quienes certificaron el estado de entrenamiento de cada persona. Deberán tener mínimo dos años de experiencia.
- ✓ No entrenados: La convocatoria se realizó por dos medios: afiches puestos en sitios de mayor afluencia de personas dentro de la Universidad Central y autorizado por las entidades competentes. En los dos casos se brindó una información básica del estudio (Ver cartel de convocatoria en ANEXO 3).

3. Firma del consentimiento informado (Ver documento en ANEXO 4)

El consentimiento Informado fue entregado o enviado a los sujetos con una semana de anticipación para ser leído, con información general del estudio. El sujeto tuvo la oportunidad de preguntar cualquier tipo de inquietud que le surgiera y le fue recordado que su participación es voluntaria. Luego que el sujeto expresó su intención de participar en la investigación y haber comprendido la información que se le dio acerca de los objetivos del estudio, los beneficios, las molestias, los posibles riesgos y las alternativas, sus derechos y responsabilidades, se firmó y entregó al laboratorio el primer día de toma de datos.

4. Vestuario

El sujeto debió presentarse con zapatos deportivos y ropa cómoda. El día de la toma de datos fue suministrada una licra (bóxer largo) de color negro, la cual tuvo que ser utilizado en la prueba.

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

1. Preparación de equipos

Previo a la llegada del sujeto se realizaron los ajustes pertinentes a cada equipo. Para el equipo optoelectrónico fue necesario realizar o verificar la calibración. En el sistema de toma de datos con la celda de carga, fue necesario realizar el montaje para la recolección de datos.

2. Toma de datos

Se pidió a los sujetos abstenerse de entrenamiento pesado para los dos días anteriores a la prueba. A continuación, se listan una serie de pasos los cuales se aplicaron a cada uno de los sujetos al momento de llegar al laboratorio.

- ✓ Alistar el vestuario del sujeto (espacio disponible para cambiarse)
- ✓ Toma de datos antropométricos
- ✓ Calentamiento de 10 minutos, de los cuales:
 - Estiramiento: 3 minutos
 - Córdio en caminadora: 7 minutos
- ✓ Se colocaron los marcadores según el modelo (Figura 5.a). El sujeto se ubicó en el centro del equipo de captura (sin la máquina) y se realizó una única captura del sujeto en posición estática de acuerdo a la postura del modelo (Figura 5.a).
- ✓ Se retiraron los marcadores Top.Head, R.ASIS, L.ASIS, R.Thigh.Front, L.Thigh.Front, R., para quedar con los marcadores como se muestra en la Figura 5.b, y de ésta forma simplificar la captura y reconstrucción de datos posterior.
- ✓ La máquina fue puesta en medio de la plataforma donde el sujeto subió a ella y ejecutó el ejercicio (Figura 1).
- ✓ Se realizaron 4 tomas de datos por cada nivel en el dámper (2 niveles).
- ✓ Después de cada ejercicio se dieron 5 min de recuperación.

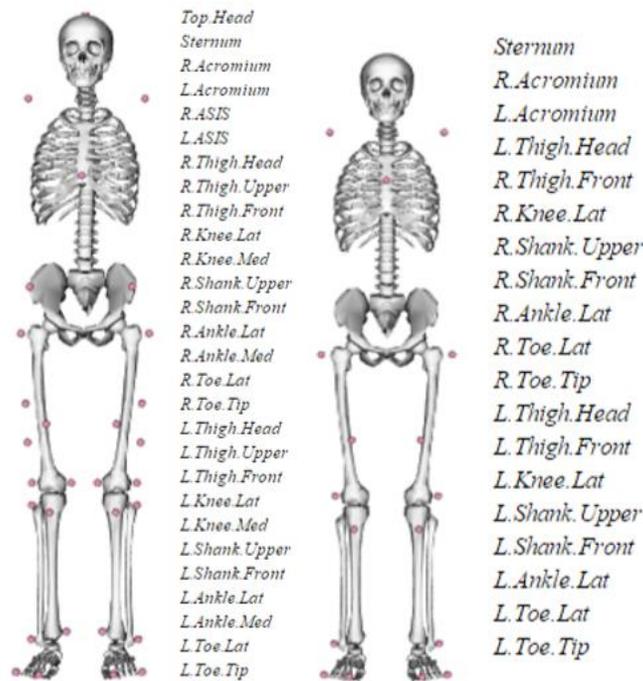


Figura 5. Modelo de marcadores. (a) modelo para posición estática (b) modelo para ejercicio

3. Número de sesiones

Cada sesión tuvo una duración de una hora y media.

- ✓ Entrenado: Para este grupo se realizaron dos sesiones. La primera, que sirvió para toma de los datos antropométricos, reconocimiento del laboratorio y la introducción a la técnica en la máquina. La segunda, se realizaron la toma de datos con el equipo optoelectrónico.
- ✓ No entrenado: Para este grupo se realizaron cuatro sesiones. La primera, igual que para el grupo de entrenados. La segunda y tercera, se realizó el seguimiento en la introducción de la técnica. En la última se realizaron las tomas de datos con el equipo optoelectrónico.

4. Introducción a la técnica en la máquina

Se evaluó la capacidad del sujeto para realizar el movimiento sobre la máquina de remo, Concept 2. Cabe mencionar que esta etapa fue de vital importancia debido a que la técnica correcta es esencial para reducir el riesgo de lesiones y aumentar la eficiencia en el ejercicio. El método utilizado para dar a conocer la técnica se presenta a continuación:

- ✓ Para que el sujeto conociera la técnica se mostraron los videos “Correct Rowing Technique”, y “Common Rowing Technique Errors” suministrados por la empresa Concept2 en un televisor (Figura 6), mientras el sujeto imitó los movimientos y fue retroalimentado por el evaluador (Fothergill, 2010).



Figura 6. Vista del sujeto desde la Rowing Machine al televisor

- ✓ Una vez que el sujeto se sintió cómodo con el movimiento y el ejercicio fue supervisado por el evaluador, se puede proceder a la captura de los datos requeridos.

ASPECTOS ÉTICOS

Los datos obtenidos fueron anonimizados con el fin de garantizar la protección de datos de cada sujeto. Las fotografías y videos que se tomaron para el proyecto

fueron y serán manejados solamente en el computador de los evaluadores. Para efectos de divulgación científica se solicitó la autorización de los sujetos en el consentimiento informado (Ver documento en ANEXO 4).

✓ Beneficios:

El movimiento de remo es un movimiento suave, rítmico y de bajo impacto. En este ejercicio se pueden ejercitar todos los grupos musculares principales: piernas, brazos, espalda, abdomen y glúteos, promoviendo así una mejor flexibilidad y mayor movilidad.

✓ Riesgos

- Riesgos generales: Dolor, alergia y cansancio. Ninguna de las pruebas realizadas en este estudio fueron invasivas o provocaron un efecto secundario grave.
- Riesgos específicos: Según los estudios (Černe et al., 2011) (Černe et al., 2013a) para participantes no expertos en el ejercicio de remo las causas más comunes de lesión ocurren en la parte baja de la espalda, sin embargo a velocidades bajas de remada (20 stroke/minuto) se obtienen menores cargas en la espalda y por consiguiente existe una menor posibilidad de lesión. Al momento de retirar los marcadores, estos pudieron causar alergia o dolor. Durante el ejercicio se pudieron presentar casos relacionados con algún problema de salud no informado oportunamente.

✓ Recomendaciones.

Se pidió a los sujetos abstenerse de entrenamiento pesado para los dos días anteriores a la prueba y de tomar bebidas con alto contenido de cafeína. Se les informó a los sujetos que: La técnica correcta es esencial para la eficiencia de

remado y reduce el riesgo de lesión, durante el ejercicio se puede perder resolución en la toma de datos si no se efectúa el movimiento adecuado, los marcadores son de plástico por lo tanto frágiles y debido al movimiento estos se pueden romper, por lo que se recomienda tener cuidado con los movimientos.

PROCESAMIENTO DE DATOS

Para estimar el movimiento corporal en tres dimensiones y la interacción con fuerzas externas se emplearon las herramientas *Inverse Kinematics* e *Inverse Dynamics* de OpenSim, respectivamente, siempre sobre el modelo biomecánico *Full Body Model*, seleccionado por su certificación para análisis clínico de la marcha (Venture, Laumond, & Watier, n.d.). Debido a las características propias del ejercicio de remo, la posición de los marcadores, los límites de movimiento articulares y los grados de libertad en la rodilla y el tobillo son adaptados para garantizar la adquisición sin problemas de oclusión (M. J. Hofmijster, Lintmeijer, Beek, & van Soest, 2018).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis bioestadístico se evaluará la normalidad de los datos con la prueba estadística requeridas. Posteriormente se hará un análisis de varianza factorial 2^2 (ANOVA), comparando las variables resultados de cada uno de los factores enunciados dentro de las variables de estudio, usando el paquete OpenSource R.

Capítulo 3 – Resultados

Dentro de las variables consideradas para entender la diferencia de la coordinación de movimiento en ejercicio de remo, entre personas entrenadas y no entrenadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

VARIABLE CINEMÁTICA

Cada participante realizó una prueba de 500 m sobre el ergómetro, con niveles de resistencia de damper (rejilla del ventilador) máxima (10) y mínima (0). Finalizando con un proceso de recuperación para los participantes. Se adquirieron las medidas de los ángulos de flexión de codo y rodilla.

Se evaluaron los ángulos de flexión de codo y rodilla de cinco sujetos entrenados y cinco no entrenados.

A continuación, se presentan las figuras correspondientes a los resultados (Figura 7 y Figura 8).

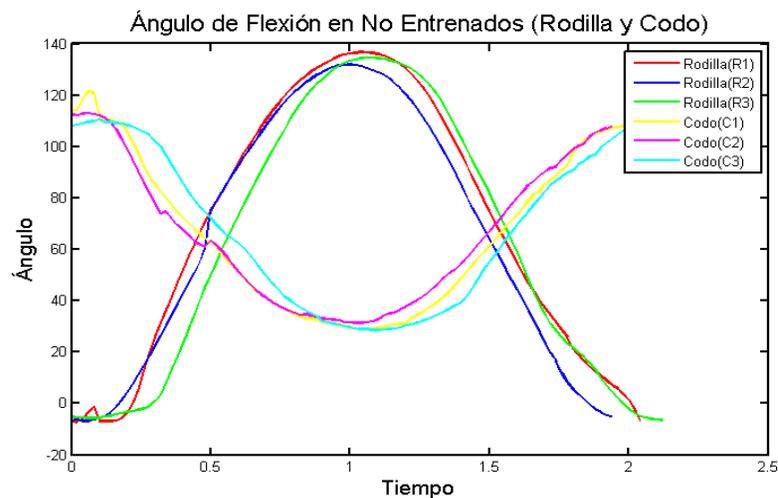


Figura 7. Resultados de los ángulos de flexión de rodilla y codo en sujetos no entrenados

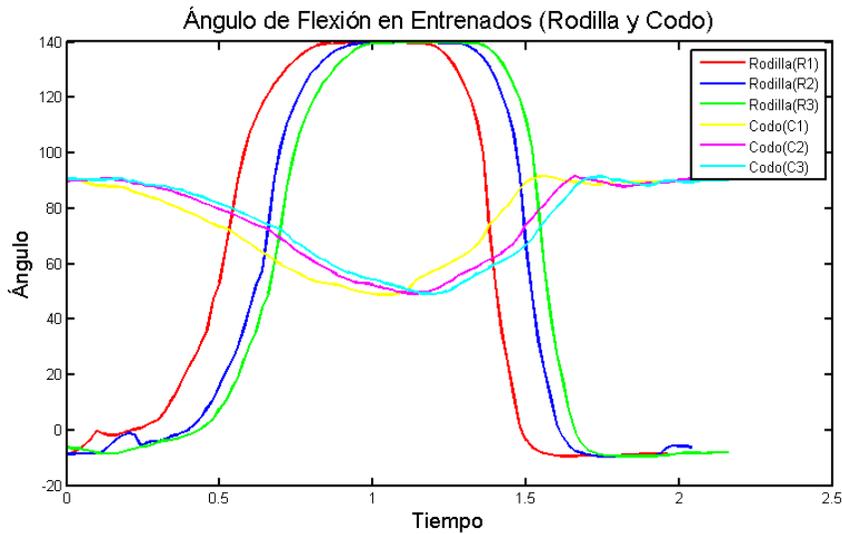


Figura 8. Resultados de los ángulos de flexión de rodilla y codo en sujetos entrenados

Se encuentra que tanto en sujetos entrenados como en no entrenados el pico del ángulo de flexión de rodilla coincide con el pico del ángulo de extensión de codo. Adicionalmente, en sujetos entrenados el ángulo de rodilla se mantiene en flexión respecto a la variable tiempo, evidenciando una curva más amplia que en los sujetos no entrenados. En los sujetos no entrenados se encuentra adelantado el ángulo de flexión de rodilla respecto al tiempo, en comparación con los no entrenados, y la fase de pase en los sujetos no entrenados es ejecutada principalmente por el ángulo de flexión de codo.

Adicionalmente, se evaluaron los ángulos de flexión y extensión de hombro, codo, cadera, rodilla y tobillo para los sujetos entrenados.

A continuación, se presentan la figura correspondiente a los resultados (Figura 9).

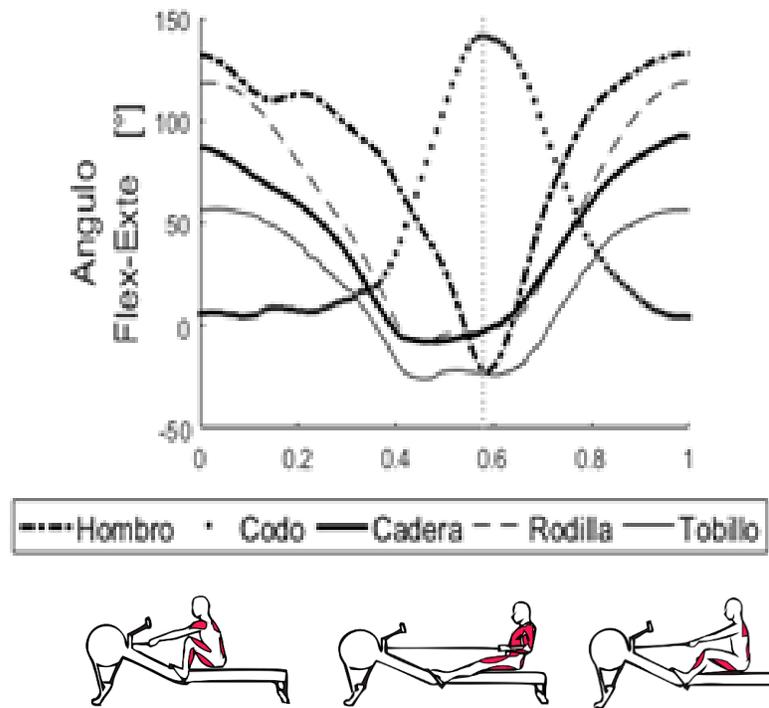


Figura 9. Resultados de los ángulos de flexión y extensión de hombro, codo, cadera, rodilla y tobillo en sujetos entrenados

Se encuentra un cambio importante entre los movimientos de flexión y extensión dados por los miembros superiores y los inferiores. Es así que mientras el hombro, cadera, rodilla y tobillo se dirigen a extensión, el codo se encuentra en flexión. Adicionalmente, se encuentra que la primera fase del ejercicio es inicialmente ejecutada por el movimiento de extensión de cadera, rodilla y tobillo, seguido por el movimiento de extensión de hombro, y finalizando con el movimiento de flexión de codo. Ya en la segunda fase del ejercicio, ésta es inicialmente ejecutada por el movimiento de extensión de codo, seguido por el movimiento de flexión de hombro, y finalizando con el movimiento de flexión de cadera, rodilla y tobillo.

VARIABLE CINÉTICA

Cada participante realizó una prueba de 500 m sobre el ergómetro, con niveles de resistencia de damper (rejilla del ventilador) máxima (10) y mínima (0). Finalizando con un proceso de recuperación para los participantes. Se adquirieron las medidas de los ángulos de flexión de codo y rodilla.

Se evaluaron los datos de cinco sujetos entrenados y cinco no entrenados en el laboratorio de análisis de movimiento y ergonomía de la Universidad Central.

A continuación, se presentan las figuras correspondientes a los resultados (Figura 10, Figura 11 y Figura 12).

Los datos se obtuvieron como una matriz con dos columnas, la primera correspondiente al tiempo y la segunda a la fuerza desarrollada durante todas las repeticiones del ciclo. Debido a que al inicio y finalización del gesto los valores de fuerza aumentan y disminuyen drásticamente, se elige el intervalo de la sesión donde la fuerza se mantiene con variaciones menores a 10 N.

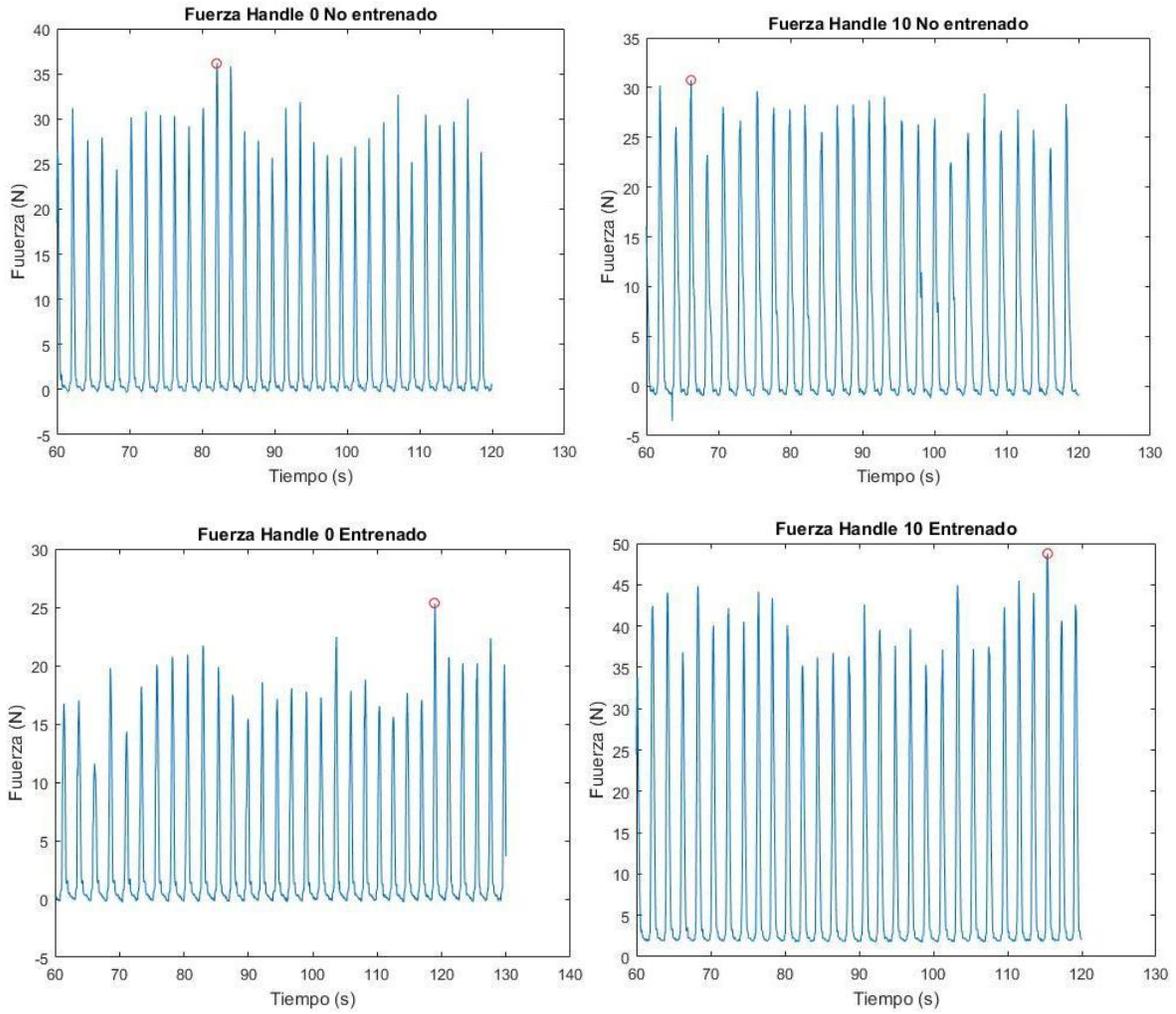


Figura 10. Fuerza en el manillar de los sujetos entrenados y no entrenados con resistencias mínima y máxima en el damper

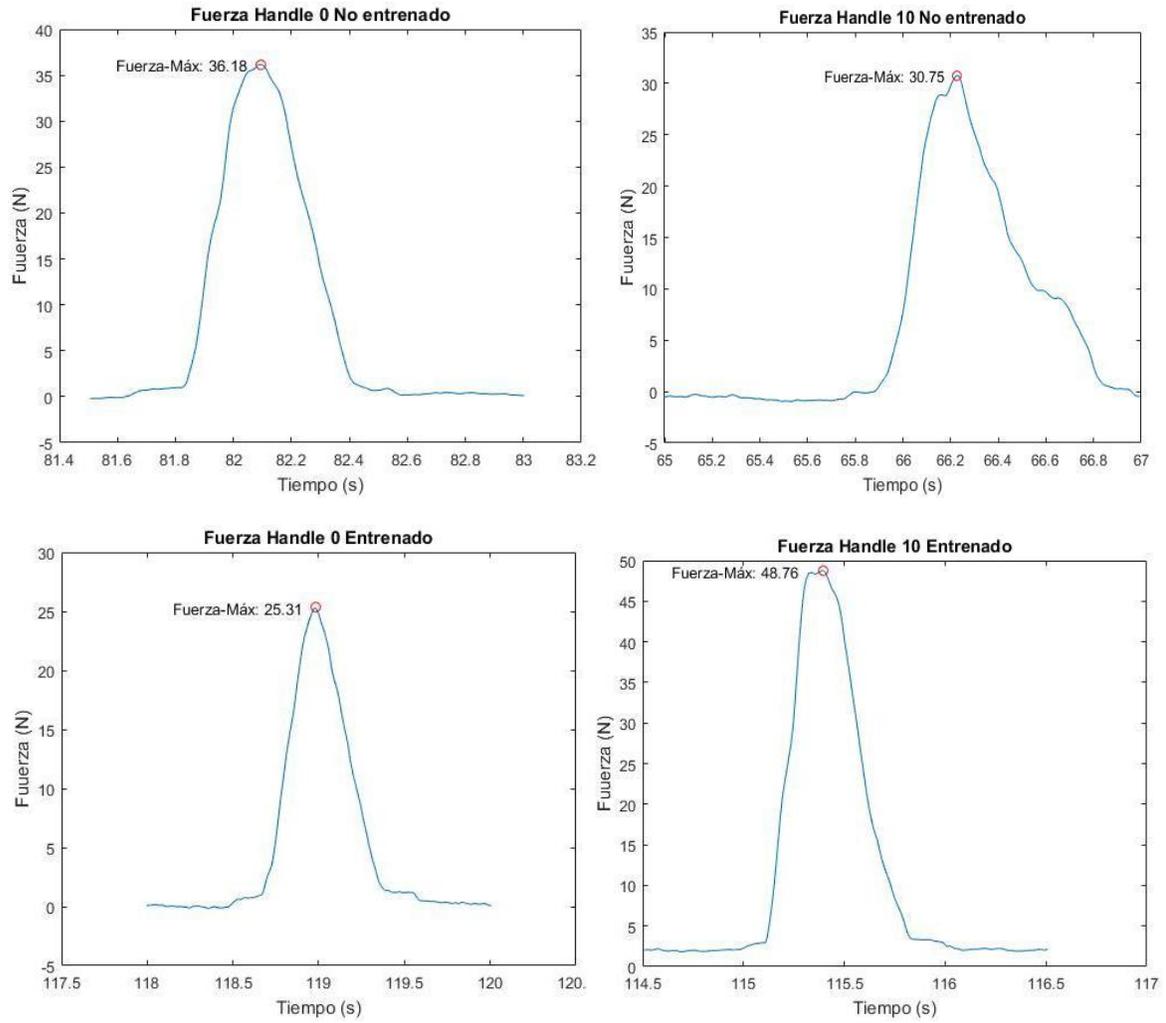


Figura 11. Pico de fuerza en el manillar de los sujetos entrenados y no entrenados con resistencias mínima y máxima en el damper

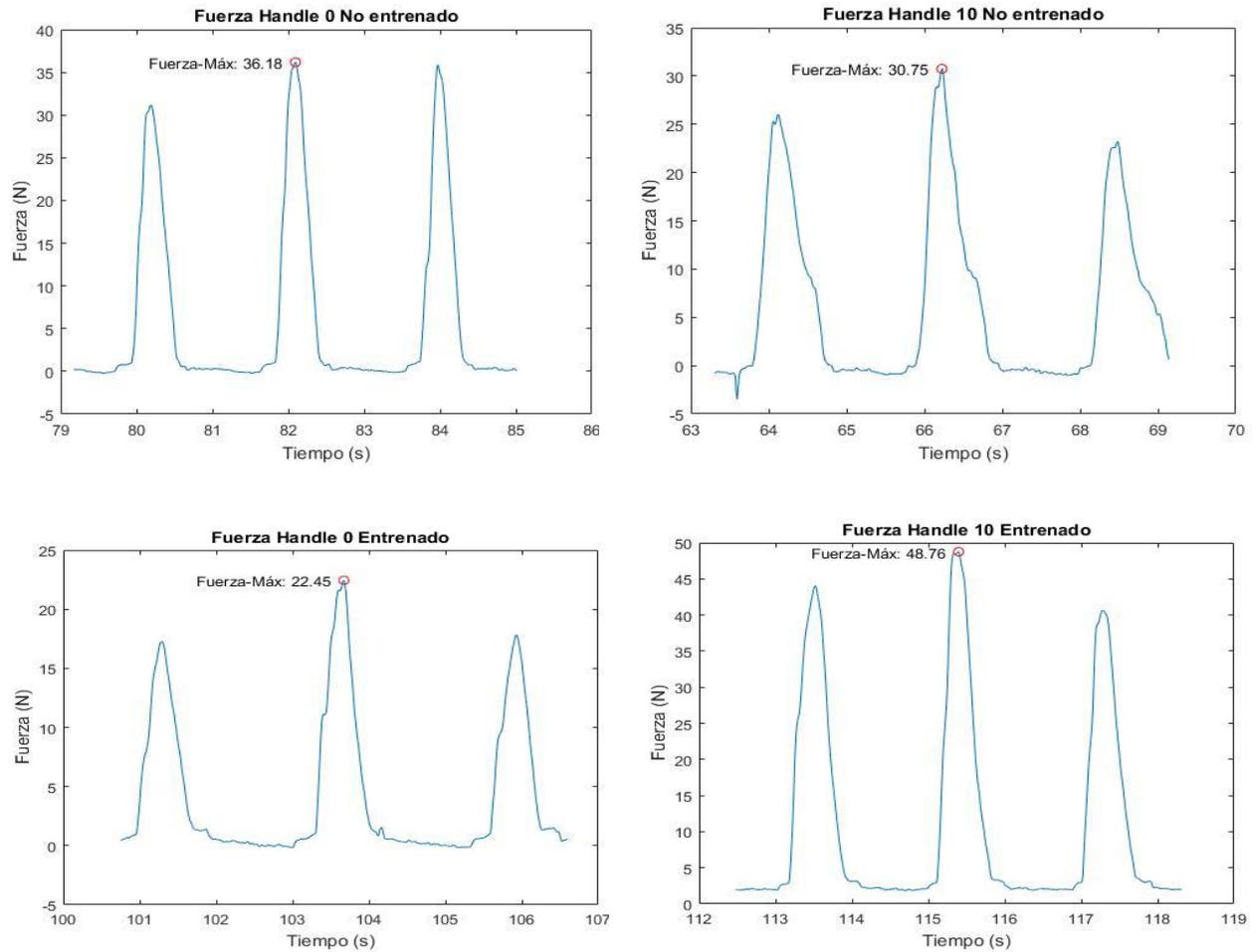


Figura 12. Pico de fuerza en el manillar con frecuencias cercanas de los sujetos entrenados y no entrenados con resistencias mínima y máxima en el damper

Se implementa en MatLab una rutina para definir el intervalo y posteriormente se halla la máxima fuerza desarrollada en esta región. El procedimiento se repite para cada sujeto en cada una de las posiciones del damper. Finalmente se halla la diferencia relativa entre los datos.

Con el análisis de la fuerza de tracción sobre ergómetro entre sujetos entrenados y no entrenados se encuentran los resultados expuestos en la Tabla 2. Allí se refleja que los valores de fuerza para el caso de menor resistencia del damper son 30% mayores en los sujetos no entrenados en comparación con los entrenados. En el

caso de la mayor resistencia del damper, son los sujetos entrenados los que exhiben una fuerza 1.5 veces mayor que los no entrenados.

Tabla 2. Comparativo de los datos de fuerza máxima de tracción del handle y el tiempo

Sujeto	Tiempo (segundos)	Fuerza (Newton)
Damper 0		
Entrenado	103.67	22.45
No Entrenado	82.90	36.18
Damper 10		
Sujeto	Tiempo (segundos)	Fuerza (Newton)
Entrenado	115.39	48.76
No Entrenado	66.22	30.75

Comparando los valores de fuerza de los sujetos no entrenados en diferentes niveles de resistencia (damper), éstos disminuyeron conforme la resistencia aumentaba, contrario a lo sucedido con los sujetos entrenados en los cuales los niveles de fuerza fueron directamente proporcionales con el aumento de la resistencia. Adicionalmente, de acuerdo a la figura 11, la curva de fuerzas para los sujetos entrenados es una función suave y continúa presentando menores resaltos que los sujetos no entrenados.

Con respecto a la gráfica 12, en la que se muestran los resultados de los picos de fuerza en el manillar con frecuencias cercanas se evidencia que para los sujetos no entrenados el comportamiento de las curvas es semejante y discreto para el caso de la mínima resistencia, y para los sujetos entrenados el comportamiento de las curvas es semejante y discreto para el caso de la máxima resistencia.

Capítulo 4 – Discusión

En relación a lo encontrado en los valores de cinemática, tanto en sujetos entrenados como en no entrenados el pico del ángulo de flexión de rodilla coincide con el pico del ángulo de extensión de codo, lo que permite demarcar la transición entre una fase y la otra (fase pase y fase de recuperación) (Shephard & Shephard, 2016) (Contributors et al., 2015) (Sforza, Casiraghi, Lovecchio, Galante, & Ferrario, 2012) (Nolte, n.d.) (Volianitis, n.d.).

Por otro lado, en sujetos entrenados el ángulo de rodilla se mantiene en flexión respecto a la variable tiempo, evidenciando una curva más amplia que en los sujetos no entrenados, lo que se encuentra relacionado con el mantenimiento de la fase, particularmente en el hecho de prolongar la fase de recuperación. Esto puede ser explicado por la capacidad de los sujetos entrenados de mantener las fases del ejercicio para su ejecución más eficiente, específicamente la fase de golpe de fuerza (“*stroke*”) en la que se mantiene la longitud constante en cada ciclo del ejercicio (Černe et al., 2011). Černe y cols., compararon la diferencia en términos biomecánicos entre diferentes categorías de remadores, encontrando diferencias en la ejecución de la técnica del ejercicio, una vez que los remadores de élite ejecutan una técnica más consistente que los otros tipos de remadores, manteniendo fases más constantes de movimiento (Černe, Kamnik, Vesnicer, Zganec Gros, & Munih, 2013) (E. Buckeridge, 2013).

En los sujetos no entrenados se encuentra adelantado el ángulo de flexión de rodilla respecto al tiempo, en comparación con los entrenados, y la fase de pase en los sujetos no entrenados es ejecutada principalmente por el ángulo de flexión de codo. Kim e cols., examinaron las características articulares cinemáticas entre remadores de élite y no élite, encontrando que el rango de movimiento articular se mantiene en los remadores de élite comparado con los remadores no élite, asociando esto a una mayor eficiencia en el ejercicio (Kim et al., 2016).

Se encuentra un cambio importante entre los movimientos de flexión y extensión dados por los miembros superiores y los inferiores. Es así que mientras el hombro, cadera, rodilla y tobillo se dirigen a la extensión, el codo se encuentra en flexión. Adicionalmente, se encuentra que la primera fase del ejercicio es inicialmente ejecutada por el movimiento de extensión de cadera, rodilla y tobillo, seguido por el movimiento de extensión de hombro, y finalizando con el movimiento de flexión de codo. Ya en la segunda fase del ejercicio, ésta es inicialmente ejecutada por el movimiento de extensión de codo, seguido por el movimiento de flexión de hombro, y finalizando con el movimiento de flexión de cadera, rodilla y tobillo. Ésta diferencia en la presentación de los movimientos se encuentra en correspondencia con la ejecución de cada una de las fases del ejercicio (Expo, Gonza, & Sa, 2009) (Kleshnev, 2004).

En relación a las variables cinéticas, se encuentra que los valores de fuerza para el caso de menor resistencia son mayores en los sujetos no entrenados en comparación con los entrenados. En el caso de la mayor resistencia, son los sujetos entrenados los que exhiben una fuerza mayor que los no entrenados. Lo anterior puede estar en correspondencia con el hecho de presentarse una economía en la generación y transferencia de fuerza en ambas resistencias. Adicionalmente, puede relacionarse con la capacidad musculoesquelética que es característica de los sujetos entrenados por su condición en la ejecución del ejercicio (Černe et al., 2013) (Černe et al., 2011) (Baptista et al., 2008). Baptista y cols., encontraron perfiles en los remadores profesionales, resaltando las diferencias halladas en las potencias máximas producidas, apoyando la hipótesis de la influencia del entrenamiento sobre las expresiones de la fuerza en el ejercicio del remo (Baptista et al., 2008).

Adicionalmente, se encontró que la curva de fuerzas para los sujetos entrenados es una función suave y continúa presentando menores resaltos que los sujetos no entrenados, lo cual puede deberse al control neuromuscular dado gracias a la condición de entrenamiento (Černe, Kamnik, Vesnicer, Žganec Gros, & Munih, 2013b) (Černe et al., 2011). Parte importante de la ejecución de movimiento en el

ejercicio de remo es el control neuromuscular, una vez que representa la característica principal para el mantenimiento de la posición y la estabilidad necesaria en la ejecución del ejercicio y sus fases (Jürimäe et al., 2010) (M. Hofmijster, n.d.) (Hase et al., 2004).

Los resultados de los picos de fuerza en el manillar con frecuencias cercanas, evidencian que para los sujetos no entrenados el comportamiento de las curvas es semejante y discreto para el caso de la mínima resistencia, y para los sujetos entrenados el comportamiento de las curvas es semejante y discreto para el caso de la máxima resistencia. Éste hecho se puede ver igualmente relacionado con la característica de entrenamiento, la cual proporciona una mayor capacidad de control neuromuscular que se ve acentuado con la mayor resistencia una vez que la característica músculoesquelética se puede evidenciar mejor (Kane et al., 2008).

Černe y cols., desarrollaron un análisis biomecánico en el ergómetro de remo, encontrando notables diferencias entre los remadores expertos y no expertos, demostrando que los remadores expertos utilizan una técnica consistente y similar, principalmente en la fase del golpe de fuerza ("*stroke*"), mientras que los remadores no expertos presentaron una técnica diferente. Lo anterior fue asociado a las cualidades físicas reforzadas por el entrenamiento, que en conjunto representan características más consistentes para la expresión de movimiento y ejecución del ejercicio (Černe et al., 2011).

En conclusión, en el análisis cinemático se encontró que tanto en sujetos entrenados como en no entrenados el pico de flexión de rodilla coincide con el pico de extensión de codo, y que en sujetos entrenados el ángulo de rodilla se mantiene en flexión para alargar la fase de recuperación. Se encuentra también que los sujetos no entrenados suelen adelantar la flexión de la rodilla en comparación con los no entrenados, y la fase de pase en los sujetos no entrenados es ejecutada principalmente por ángulo de flexión del codo.

En el análisis cinético se encuentra que la fuerza de tracción es mayor para sujetos entrenados con la presencia de una mayor resistencia, y que los sujetos no entrenados muestran una disminución en la fuerza de tracción con respecto al aumento en la resistencia. Adicionalmente, se encuentra que el tiempo de reproducción de la máxima fuerza muestra un atraso para los sujetos entrenados, y que para la función fuerza vs tiempo, ésta tendría un mejor comportamiento para los sujetos entrenados con la presencia de resistencia. Lo anterior sugiere una economía de reproducción de fuerza representada por sujetos entrenados durante el ejercicio de remo sobre ergómetro, en comparación con sujetos no entrenados.

Los anteriores resultados sugieren que sujetos entrenados tiene un mayor control en la reproducción de la fuerza durante la ejecución del ejercicio, brindando menor fuerza en el caso de no tener resistencia (remo en el aire) y mayor fuerza cuando hay una mayor resistencia (remo en el agua). Esto puede estar asociado con un mayor control motor en el gesto de movimiento debido a su experiencia. Así entonces, se infiere que, a mayor control motor durante el movimiento, mayores niveles de fuerza en relación con la resistencia impuesta en la fase del ejercicio, lo cual puede tener implicaciones importantes sobre el rendimiento en el gesto deportivo.

Capítulo 5 – Conclusiones

5.1 Cumplimiento de objetivos y aportes

Con el desarrollo del proyecto se logró identificar y analizar los parámetros cinemáticos y cinéticos en torno a la ejecución del ejercicio de remo sobre ergómetro, comparando variables cinemáticas y cinéticas en cuanto a la ejecución del ejercicio del remo entre sujetos con y sin entrenamiento.

Siendo que el objetivo general del proyecto es establecer la diferencia cinemática y cinética durante la práctica de remo sobre ergómetro, entre personas entrenadas y no entrenadas, se espera poder completar la limpieza del procesamiento de los datos de ambas variables (cinemática y cinética) para poder arrojar una diferencia en términos cuantitativos desde el enfoque estadístico, lo que permita una mayor rigurosidad en la presentación de los datos obtenidos.

El proyecto logra aportar información importante en cuenta a la caracterización biomecánica del ejercicio de remo sobre ergómetro, realizando una distinción relevante en la característica de los sujetos en términos de experiencia en la ejecución del movimiento, lo que por su vez amplía el campo de análisis fisioterapéutico desde diferentes puntos de vista con base en la fisiología, biomecánica y neuromecánica.

5.2 Producción asociada al proyecto

A continuación, se presenta una relación de las actividades realizadas en el marco del desarrollo del proyecto de investigación.

PRODUCTO 1: Curso de Introducción a la Electroestimulación

DESCRIPCIÓN: Construcción y desarrollo del curso con colaboración y participación de ambas universidades, por parte tanto de docentes como estudiantes

FECHA: 17 de abril de 2018

PRODUCTO 2: 5° Encuentro de Semilleros de Investigación y Grupos de Estudio de Ingeniería Mecatrónica y Afines

DESCRIPCIÓN: Participación con presentación de Póster

FECHA: 20 de abril de 2018

PRODUCTO 3: IV Encuentro de Semilleros de Investigación - XVIII Semana de Ingeniería y Ciencias Básicas

DESCRIPCIÓN: Participación con presentación de Póster

FECHA: 2 al 5 de mayo de 2018

PRODUCTO 4: XVI Encuentro Regional de Semilleros de Investigación de RedColsi

DESCRIPCIÓN: Participación con presentación de Ponencia

FECHA: 10 a 11 de mayo de 2018

PRODUCTO 5: Actualización en Manejo de Matlab

DESCRIPCIÓN: Participación en el curso

FECHA: 22 de febrero a 4 de mayo de 2018

PRODUCTO 6: V Congreso WCPT SAR y XX Congreso Latinoamericano de Fisioterapia y Kinesiología 2018

DESCRIPCIÓN: Participación con presentación de Ponencia (Obtención del reconocimiento como Ganador de Primer Lugar en Ponencia Oral).

FECHA: 7 al 9 de noviembre de 2018

PRODUCTO 7: Artículo: "Caracterización cinemática y cinética del ejercicio de remo sobre ergómetro en personas entrenadas y no entrenadas".

DESCRIPCIÓN: Se desarrolla artículo como producto del proyecto de investigación, pero queda pendiente sumisión debido a la falta de revisión por parte de co-autora de la Universidad Central.

FECHA: febrero 2018

PRODUCTO 8: Artículo: "Procesamiento de datos cinemáticos en el Software MatLab.

DESCRIPCIÓN: Se desarrolla artículo como producto del proyecto de investigación, pero queda pendiente construcción final y sumisión debido a la falta de revisión por parte de co-autora de la Universidad Central.

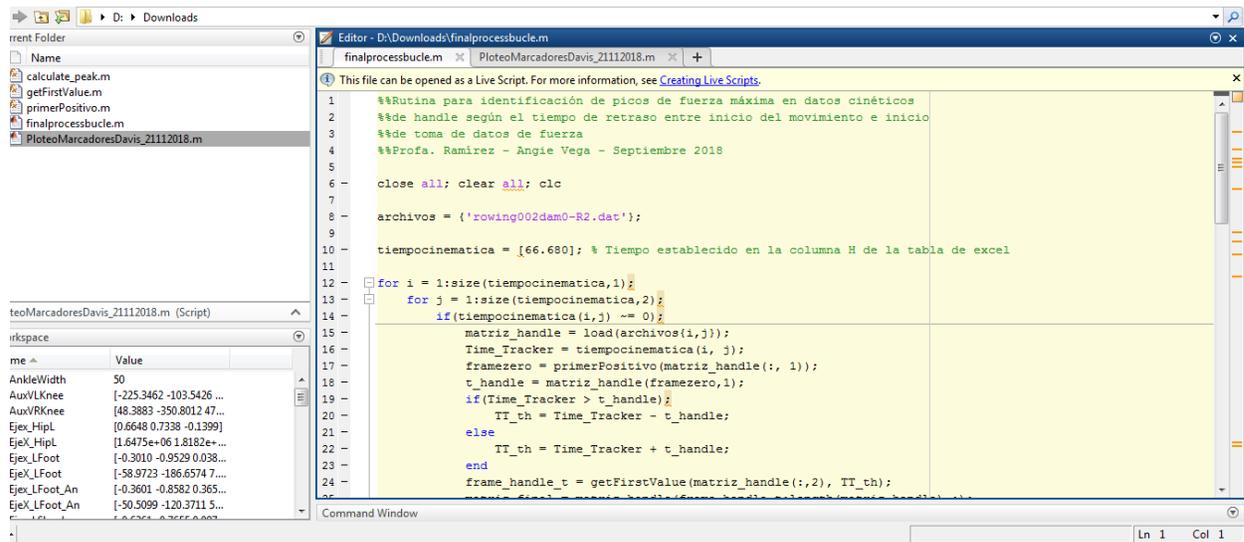
FECHA: febrero 2018

5.3 Líneas de trabajo futuras

Con base en el desarrollo proyecto se espera dar continuidad al análisis y aplicación del ejercicio del remo, pudiendo ampliar las perspectivas al campo de la rehabilitación no sólo osteomuscular, sino también neuromuscular. Adicionalmente, con el proyecto se estableció un vínculo académico entre profesionales de Fisioterapia y de Ingeniería Mecánica, el cual se espera fortalecer más con la continuidad en los procesos de cohesión investigativa.

Anexos

ANEXO 1: Imagen de rutina de procesamiento en Software MatLab.



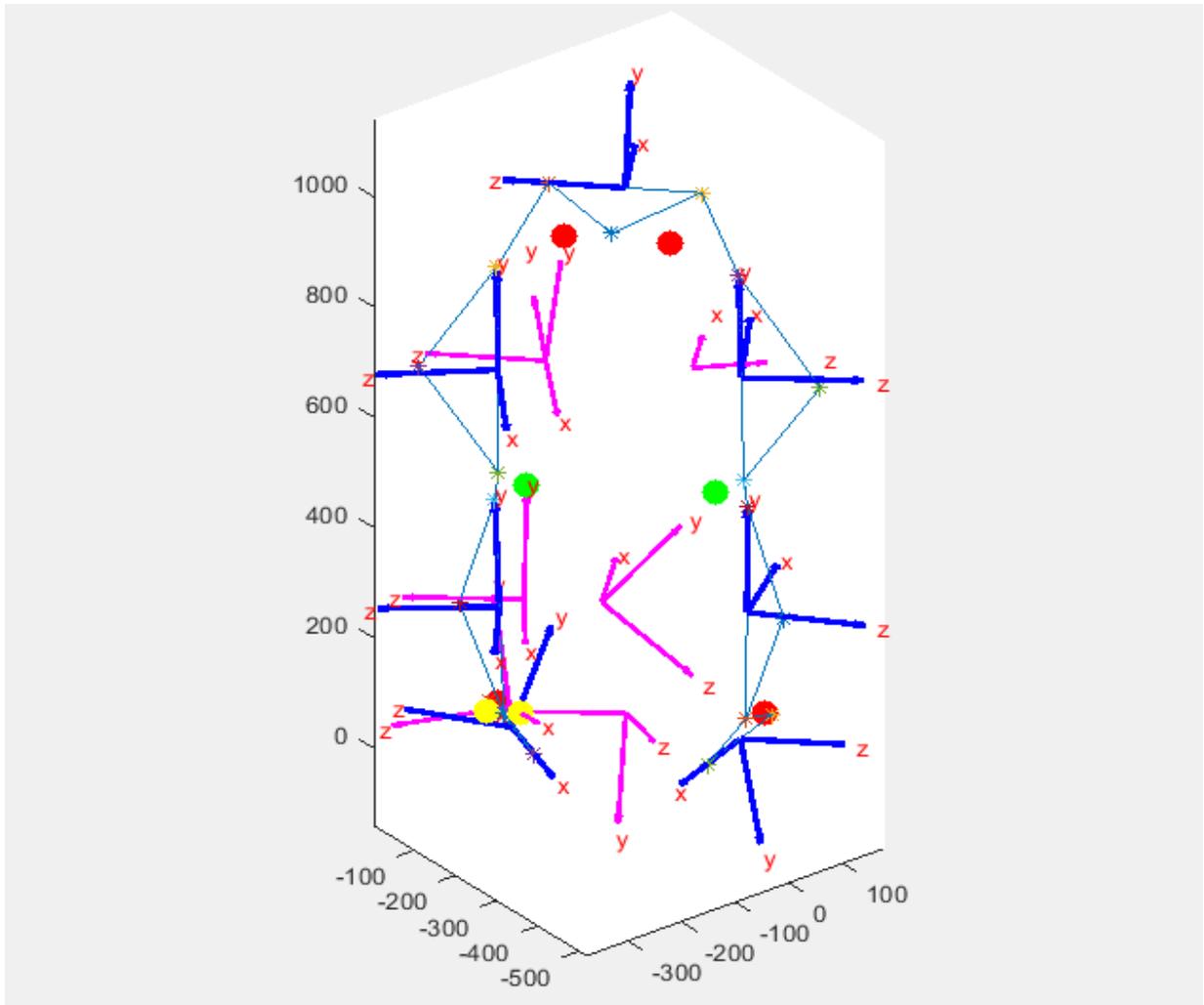
The screenshot displays the MATLAB environment with the following components:

- File Explorer:** Shows a folder named 'rent Folder' containing several .m files: calculate_peak.m, getFirstValue.m, primerPositivo.m, finalprocessbucle.m, and PloteoMarcadoresDavis_21112018.m.
- Editor:** Displays the script 'finalprocessbucle.m' with the following code:

```
1 %%Rutina para identificación de picos de fuerza máxima en datos cinéticos
2 %%de handle según el tiempo de retraso entre inicio del movimiento e inicio
3 %%de toma de datos de fuerza
4 %%Profa. Ramirez - Angie Vega - Septiembre 2018
5
6 close all; clear all; clc
7
8 archivos = {'rowinq002dam0-R2.dat'};
9
10 tiempocinematica = [66.680]; % Tiempo establecido en la columna H de la tabla de excel
11
12 for i = 1:size(tiempocinematica,1)
13     for j = 1:size(tiempocinematica,2)
14         if(tiempocinematica(i,j) ~= 0)
15             matriz_handle = load(archivos{i,j});
16             Time_Tracker = tiempocinematica(i, j);
17             framezero = primerPositivo(matriz_handle(:, 1));
18             t_handle = matriz_handle(framezero,1);
19             if(Time_Tracker > t_handle)
20                 TI_th = Time_Tracker - t_handle;
21             else
22                 TI_th = Time_Tracker + t_handle;
23             end
24             frame_handle_t = getFirstValue(matriz_handle(:,2), TI_th);
```
- Workspace:** Shows a table of variables in the workspace:

me ^	Value
AnkleWidth	50
AuxVLKnee	[-225.3462 -103.5426 ...
AuxVRKnee	[48.3883 -350.8012 47...
Ejex_HiPl	[0.6648 0.7338 -0.1399]
Ejex_LFoot	[1.6475e+06 1.8182e+...
Ejex_LFoot	[-0.3010 -0.9529 0.038...
Ejex_LFoot_An	[-58.9723 -186.6574 7...
Ejex_LFoot_An	[-0.3601 -0.8582 0.365...
Ejex_LFoot_An	[-50.5099 -120.3711 5...
- Command Window:** Shows the current cursor position at 'Ln 1 Col 1'.

ANEXO 2: Figura de modelo para el procesamiento de datos en Software MatLab.



ANEXO 3: Afiche de convocatoria para sujetos.

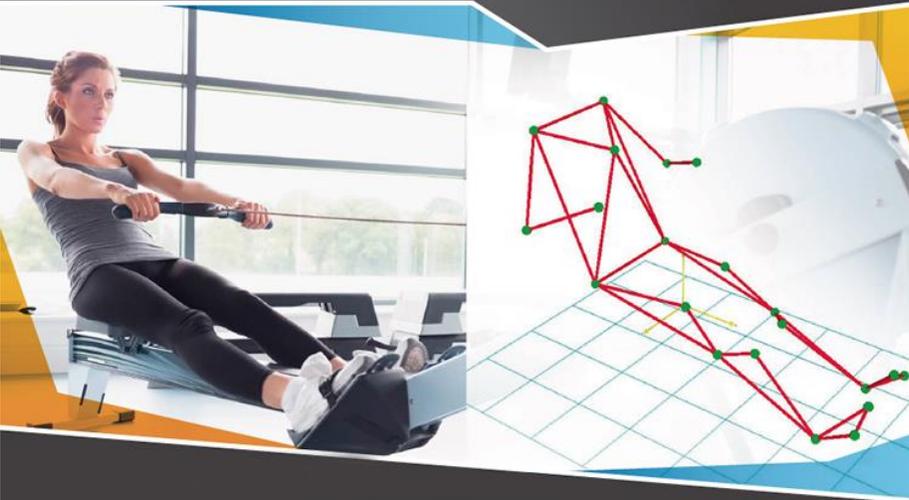
CONVOCATORIA

ESTUDIO ANÁLISIS DE MOVIMIENTO

Mide tu movimiento con la técnica con la que se hacen películas como Matrix y Final Fantasy

El Departamento de Ingeniería Mecánica lidera un proyecto que pretende medir la coordinación del movimiento de personas sin entrenamiento, durante el ejercicio de remo en una indoor rowing machine.

¡No te pierdas la oportunidad de ser uno de los 10 participantes!



Duración
4 sesiones (2 horas por sesión)
Se podrán realizar dos sesiones por día

Cierre de convocatoria
Lunes 7 de marzo

Requisitos
* Ser mayor de edad
* No tener antecedentes de problemas neurológicos u ortopédicos en las piernas

Lugar de las pruebas
Laboratorio de Análisis de Movimiento y Ergonomía (Sede Centro)

MÁS INFORMACIÓN
Angélica Ramírez Martínez
Correo electrónico: aramirezm3@ucentral.edu.co

**IBEROAMERICANA**
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA
P.J. No. 0428 del 28 de Enero 1982 - MEN

**UNIVERSIDAD CENTRAL**
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

ANEXO 4: Modelo de Consentimiento Informado.

CONSENTIMIENTO INFORMADO.

Es importante que lea este documento de forma cuidadosa y completa. Por favor, firme al final de la página, indicando así que ha leído y comprende su información. Es importante que pregunte y aclare sus dudas. La firma del consentimiento informado implica que participa libre y voluntariamente en el estudio.

1. ¿Cuál es el objetivo del estudio?

El objetivo de este estudio es definir la variación de las fuerzas de reacción de pies y brazos y la coordinación en el movimiento, al cambiar el nivel de entrenamiento y el factor de arrastre (*Drag Factor*) en el ejercicio sobre la Indoor Rowing Machine, en pacientes fisiológicos.

2. ¿En qué consisten las pruebas?

En el laboratorio se debe realizar el ejercicio de remo sobre una máquina llamada Rowing Machine, que simula la palada [movimiento de remar] (Figura 1). Este movimiento, se divide en dos partes: el ataque y la recuperación.



Figura 1. Secuencias de movimiento en el ejercicio de remo, tomado de: *A Guide to Training*

Para el objetivo de estudio se realiza un primer sesión en que se tendrá la oportunidad de hacer un reconocimiento del laboratorio (Figura 2.a), se recibirá el consentimiento informado firmado, se obtendrán los datos antropométricos de cada paciente, y se realizará la introducción a la técnica en la máquina. Posteriormente, de acuerdo al tipo de pacientes, se realizarán dos o cuatro sesiones.

En estas sesiones, cada paciente deberá ir vestido con un bóxer negro (Figura 2.b). Se realizará un calentamiento de 10 minutos, previo al ejercicio. Sobre el cuerpo se dispondrán marcadores esféricos con una cinta adhesiva, con el fin de ser usados por el sistema de captura de movimiento (Figura 2.a). Adicionalmente, se realizarán una toma de datos del paciente en posición estática y otra en posición dinámica, teniendo un intervalo para ajustes del equipo de media hora entre ellas. Para la posición estática, se ubica el paciente de pie dentro del sistema de captura (2 min). Para la posición dinámica, cada paciente se posiciona sobre la máquina donde se miden la fuerza que ejerce el apoyo de los pies y la tensión ejercida en el manillar durante las fases (1), (2) y (3) del movimiento del remo. Este ejercicio se repetirá al menos 4 veces por cada nivel del damper (2

niveles). Con el fin de controlar el ritmo cardiaco se pondrá un sensor en el pecho que permite monitorearlo. Finalmente, cada sesión tendrá una duración mínima de 1 hora y media.



Figura 2. a) Equipo de captura de movimiento b) Vestimenta.

Los dos grupos a los que se puede pertenecer son entrenados y sin entrenar.

Entrenados:

Este grupo está compuesto por 10 pacientes que tengan al menos un año de experiencia en la técnica de remo. Estos asistirán al laboratorio 2 sesiones en total: la primera de reconocimiento, y la segunda de toma de datos (las dos sesiones pueden ser el mismo día).

Sin entrenar:

Este grupo está compuesto por 10 pacientes que no conocen la técnica. Se llevará a cabo 4 sesiones (2 sesiones por día). El método a utilizar para enseñar la técnica, estará dado por ayudas visuales suministradas por la empresa Concept 2. Los videos "Correct Rowing Technique", y "Common Rowing Technique Errors" serán reproducidos en el televisor (Figura 2.a) mientras se imita la técnica en la máquina por parte del paciente, supervisado por la persona encargada.

3. Recomendaciones.

Se pide a los sujetos abstenerse de entrenamiento pesado para los dos días anteriores a la prueba y de tomar bebidas con alto contenido de cafeína. La técnica correcta es esencial para la eficiencia de remado y reduce el riesgo de lesión. Para controlar la frecuencia respiratoria los pacientes deberán mantener la relación respiración/stroke (1:1), con un máximo de 2 respiraciones por stroke. Durante el ejercicio se puede perder resolución en la toma de datos si no se efectúa el movimiento adecuado. Se sugiere aceptar las recomendaciones si se hace algún mal movimiento por parte del encargado. Los marcadores son de plástico por lo tanto frágiles y debido al movimiento estos se pueden romper, por lo que se recomienda tener cuidado con los movimientos.

4. Beneficios

El movimiento de remo es un movimiento suave, rítmico y de bajo impacto. En este ejercicio se pueden ejercitar todos los grupos musculares principales: piernas, brazos, espalda, abdomen y glúteos, promoviendo así una mejor flexibilidad y mayor movilidad. Como beneficio se entregará un análisis biomecánico, el cual puede servir para futuros estudios ergonómicos, de entrenamiento para cada paciente y servirá como plataforma para entender la coordinación del movimiento durante el remo para ser aplicado en otras poblaciones, como por ejemplo personas en condición de discapacidad motora.

5. Riesgos

Riesgos generales: Ninguna de las pruebas realizadas en este estudio son invasivas o provocan un efecto primario o secundario grave. Luego del ejercicio se puede presentar dolor muscular o cansancio.

Riesgos específicos: Según los estudios para participantes no expertos en el ejercicio de remo las causas más comunes de lesión ocurren en la parte baja de la espalda (columna lumbar). Sin embargo a velocidades bajas de remada, como las que se usan en este estudio, se obtienen menores cargas en la espalda y por consiguiente existe una posibilidad muy baja de lesión. Al retirar los marcadores, en casos muy aislados, estos pueden causar alergia, irritación o dolor. Este se evitará con el uso de una loción jabonosa al retirar los marcadores.

Durante el ejercicio se pueden presentar casos relacionados con algún problema de salud no informado oportunamente. Por ello se solicita llenar un *Cuestionario de Antecedentes Médicos*. En caso de lesión se ofrece el servicio médico de la Universidad Central. En caso de una lesión mayor, los pacientes podrán hacer uso de su EPS o medicina prepagada.

6. Medidas de detención

Las medidas de detención, son las razones que determinan cuando se detiene la prueba o se recomienda al paciente no continuar el estudio.

- **Ritmo cardíaco:** Si se excede el límite máximo del ritmo cardíaco en el rango aeróbico.
- **Dolor lumbar:** Cuando el paciente manifiesta dolor en la parte baja de la espalda.
- **Fatiga:** Cuando el paciente exprese fatiga muscular o respiratoria.
- **Coordinación:** Cuando se presente movimientos excesivos durante el ejercicio.
- **Captura de datos:** Si el ingeniero encargado del equipo optoelectrónico considera que se lleva a cabo una mala captura.

7. Personal encargado

En caso de alguna duda puede comunicarse con:

Investigador, es quien está a cargo del estudio. Nivel de Doctorado con 5 años de experiencia en realizar estudios biomecánicos:

Nombre: Angélica Ramírez
Correo: aramirez3@ucentral.edu.co

Investigador, es quien está a cargo del estudio. Nivel de Maestría con 3 años de experiencia en realizar estudios biomecánicos:

Nombre: Angie Vega
Correo: angie.vega@beroamericana.edu.co

ANEXO 1- Aviso Legal

En cumplimiento del Artículo 10 del Decreto 1377 de 2013, reglamentario de la Ley 1581 de 2012 sobre protección de datos personales, se informa a las personas participantes que NO serán compartidos ni entregados a terceros para fines comerciales o de otra índole y se guarda la debida confidencialidad de la información recolectada, así como en derecho de la libertad, en cualquier momento podrá desistir de continuar con las pruebas.

En pleno de mis facultades, libre y voluntariamente manifiesto que yo _____ con Cédula de Ciudadanía _____, de la ciudad de _____, declaro que:

- He leído y entendido la hoja informativa que me han entregado.
- He tenido la oportunidad de aclarar mis dudas con todo lo relacionado al estudio.
- Entiendo que la participación es voluntaria y que puedo abandonar el estudio cuando lo desee.
- La participación será anónima, sin embargo, autorizo a publicar imágenes y videos anonimizados, solo en ocasiones en los que se desee mostrar resultados.

Declaro que he leído y conozco el contenido del presente documento, comprendo los compromisos que asumo y los acepto expresamente. Y, por ello, firmo este consentimiento informado de forma voluntaria. Al firmar este consentimiento no renuncio a ninguno de mis derechos.

Referencias

- Baptista, R. R., Cunha, G. D. S., & De Oliveira, A. R. (2008). Aspectos fisiológicos e biomecânicos da produção de força podem ser usados no controle do treinamento de remadores de elite. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 14(5), 427–430. <https://doi.org/10.1590/S1517-86922008000500005>
- Buckeridge, E. (2013). AND JOINT LOADING IN ELITE.
- Buckeridge, E., Hislop, S., Bull, A., & McGregor, A. (2012). Kinematic asymmetries of the lower limbs during ergometer rowing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(11), 2147–2153. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182625231>
- Buckeridge, E. M., Weinert-Aplin, R. A., Bull, A. M. J., & McGregor, A. H. (2016). Influence of foot-stretcher height on rowing technique and performance. *Sports Biomechanics*, 15(4), 513–526. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1185459>
- Černe, T., Kamnik, R., & Munih, M. (2011). The measurement setup for real-time biomechanical analysis of rowing on an ergometer. *Measurement*, 44(10), 1819–1827. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2011.09.006>
- Cerne, T., Kamnik, R., Vesnicer, B., Zganec Gros, J., & Munih, M. (2013). Differences between elite, junior and non-rowers in kinematic and kinetic parameters during ergometer rowing. *Human Movement Science*, 32(4), 691–707. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.11.006>
- Černe, T., Kamnik, R., Vesnicer, B., Žganec Gros, J., & Munih, M. (2013a). Differences between elite, junior and non-rowers in kinematic and kinetic parameters during ergometer rowing. *Human*

- Movement Science*, 32(4), 691–707.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.11.006>
- Černe, T., Kamnik, R., Vesnicer, B., Žganec Gros, J., & Munih, M. (2013b). Differences between elite, junior and non-rowers in kinematic and kinetic parameters during ergometer rowing. *Human Movement Science*, 32(4), 691–707.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.11.006>
- Contributors, I., Butler, R., Darling, T., Harvey, R., Johnson, B., Kierstead, J., ... Nolte, V. (2015). Guide to Adaptive Rowing, (February).
- Corporaal, S. H. A., Gooijers, J., Chalavi, S., Cheval, B., Swinnen, S. P., & Boisgontier, M. P. (2017). Neural predictors of motor control and impact of visuo-proprioceptive information in youth. *Human Brain Mapping*, 38(11), 5628–5647. <https://doi.org/10.1002/hbm.23754>
- Davoodi, R., Andrews, B. J., Wheeler, G. D., & Lederer, R. (2002). Development of an Indoor Rowing Machine With Manual FES Controller for Total Body Exercise in Paraplegia. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 10(3), 197–203.
<https://doi.org/10.1109/TNSRE.2002.802880>
- Expo, D. T., Gonza, M. I. Æ. R., & Sa, E. (2009). Physiological factors to predict on traditional rowing performance .
<https://doi.org/10.1007/s00421-009-1186-3>
- Fothergill, S. (2010). Procedia Engineering Examining the effect of real-time visual feedback on the quality of rowing technique, 2(2), 3083–3088. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.115>
- Hase, K., Kaya, M., Zavatsky, A. B., & Halliday, S. E. (2004). Musculoskeletal loads in ergometer rowing. *Journal of Applied*

- Biomechanics*, 20(3), 317–323. <https://doi.org/10.1123/jab.20.3.317>
- Hofmijster, M. (n.d.). *Mechanics and Energetics of Rowing*.
- Hofmijster, M. J., Lintmeijer, L. L., Beek, P. J., & van Soest, A. J. K. (2018). Mechanical power output in rowing should not be determined from oar forces and oar motion alone. *Journal of Sports Sciences*, 36(18), 2147–2153. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1439346>
- Jürimäe, T., Perez-turpin, J. A., Cortell-tormo, J. M., Chinchilla-mira, I. J., Cejuela-anta, R., Mäestu, J., ... Jürimäe, J. (2010). Relationship between rowing ergometer performance and physiological responses to upper and lower body exercises in rowers, 13, 434–437. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.06.003>
- Kane, D., Jensen, R., Williams, S., & Watts, P. (2008). Effects of Drag Factor on Physiological Aspects of Rowing. *International Journal of Sports Medicine*, 29(5), 390–394. <https://doi.org/10.1055/s-2007-965333>
- Kim, J., Cho, H., Han, B., Yoon, S., Park, S., Cho, H., ... Lee, H. (2016). Comparison of Biomechanical Characteristics of, 26(1), 21–30.
- Kleshnev, V. (2004). Rowing Biomechanics : Technology and Technique Information, 1–14.
- Nolte, V. (n.d.). Introduction to the Biomechanics of Rowing, 83–118.
- Pérez López, C. (2005). *Muestreo estadístico : conceptos y problemas resueltos*. Pearson. Retrieved from https://books.google.com.co/books/about/Muestreo_estadístico.html?id=OP7xAAAACAAJ&redir_esc=y
- Sforza, C., Casiraghi, E., Lovecchio, N., Galante, D., & Ferrario, V. F. (2012). A Three-Dimensional Study of Body Motion During Ergometer Rowing, 22–28.

- Shephard, R. J., & Shephard, R. O. Y. J. (2016). Science and medicine of rowing: A review Science and medicine of rowing: A review, 0414(February). <https://doi.org/10.1080/026404198366416>
- Torres-Moreno, R., Tanaka, C., & Penney, K. L. (2000). Joint excursion, handle velocity, and applied force: a biomechanical analysis of ergonomic rowing. *International Journal of Sports Medicine*, 21(1), 41–44. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8850>
- Turpin, N. A., Guével, A., Durand, S., & Hug, F. (2011). No evidence of expertise-related changes in muscle synergies during rowing. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 21(6), 1030–1040. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2011.07.013>
- Vaughan, C. L., Davis, B. L., & O'Connor, J. C. (1999). *The Three-Dimensional and Cyclic Nature of Gait. Dynamics of Human Gait.* [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(01\)00080-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(01)00080-X)
- Venture, G., Laumond, J.-P. (Jean-P., & Watier, B. (n.d.). *Biomechanics of anthropomorphic systems.*
- Volianitis, S. (n.d.). *Handbook of Sports Medicine and Science.*