



TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Curso Académico 2014/2015

EVALUACIÓN DE LA ASIMETRÍA Y EL DÉFICIT BILATERAL DE LOS
EXTENSORES DE LA RODILLA EN DIFERENTES
MANIFESTACIONES DE LA FUERZA

Asymmetry and bilateral deficit's assessment of knee extensors in the
different manifestations of strength

Autor/a: Juan Pérez-Landaluce González

Tutor/a: Jose Antonio de Paz Fernández

Fecha: 10/12/2015

VºBº TUTOR/A

VºBº AUTOR/A

Índice

1. Objetivos y competencias a desarrollar por el alumno	5
2. Antecedentes.....	6
3. Objetivos.....	11
4. Metodología	12
5. Resultados	15
6. Discusión.....	22
7. Conclusiones	26
8. Valoración personal.....	28
9. Referencias bibliográficas.....	29

Índice de abreviaturas

- **TFG:** trabajo fin de grado
- **SPSS:** programa informático empleado para el análisis estadístico de las variables objeto de estudio.
- **TUI:** trabajo unilateral izquierdo
- **TUD:** trabajo unilateral derecho
- **TB:** trabajo bilateral
- **F_Iso:** fuerza isométrica
- **RM:** repetición máxima, hace referencia a la fuerza máxima dinámica
- **F_má:** fuerza máxima dinámica
- **RFD:** del inglés “Rate of Force Development” (tasa de desarrollo de la fuerza)
- **DBL:** déficit bilateral
- **IMC:** índice de masa corporal que relaciona el peso (Kg) dividido por la talla (m^2)
- **DS:** desviación estándar
- **P_m:** potencia media
- **P_má:** potencia máxima
- **I:** izquierda
- **D:** derecha
- **I+D:** suma de valores de Izquierda y Derecha
- **B:** bilateral

Índice tablas

- **Tabla 1.** Características de los sujetos: edad, altura, peso e IMC.
- **Tabla 2.** Valores del promedio de la potencia media, máxima, y valores de p al 40% del RM.
- **Tabla 3.** Valores del promedio de la potencia media, máxima, y valores de p al 50% del RM.
- **Tabla 4.** Valores del promedio de la potencia media, máxima, y valores de p al 60% del RM.
- **Tabla 5.** Valores del promedio de la potencia media, máxima, y valores de p al 70% del RM.
- **Tabla 6.** Valores del promedio de la potencia media, máxima, y valores de p al 40% del RM.
- **Tabla 7.** Valores del promedio de fuerza máxima isométrica y valores de p para dichos valores.
- **Tabla 8.** Valores del promedio de fuerza máxima dinámica y valores de p para dichos valores.

Índice de figuras

- **Figura 1.** Valores del promedio de la potencia media y máxima, al 40% del RM.
- **Figura 2.** Valores del promedio de la potencia media y máxima, al 50% del RM.
- **Figura 3.** Valores del promedio de la potencia media y máxima, al 60% del RM.
- **Figura 4.** Valores del promedio de la potencia media y máxima, al 70% del RM.
- **Figura 5.** Valores del promedio de la potencia media y máxima, al 80% del RM.
- **Figura 6.** Valores del promedio de fuerza máxima isométrica.
- **Figura 7.** Valores del promedio de fuerza máxima dinámica.

Resumen

El objetivo esencial de este estudio fue, evaluar y cuantificar el déficit bilateral y la asimetría, de la masa muscular encargada de la extensión de la rodilla, en tres manifestaciones de la fuerza. Para dar respuesta a la hipótesis planteada, se llevaron a cabo varias pruebas, una para cada manifestación de la fuerza estudiada: fuerza isométrica máxima, fuerza dinámica máxima y potencia. Los resultados obtenidos concluyeron que no había diferencias significativas para la asimetría, y en cuanto al déficit bilateral tampoco se encontraron diferencias significativas. A excepción de algunos porcentajes elevados de potencia, que aunque se encontraron diferencias significativas, eran opuestas a la definición de déficit bilateral.

Palabras clave: déficit bilateral, asimetría, potencia

Abstract

The essential aim of this study was to evaluate and quantify the bilateral deficit and asymmetry, muscle mass responsible for knee extension, in three manifestations of force. To address the hypothesis, they conducted several tests, one for each demonstration of force studied, maximal isometric strength, maximum dynamic force and power. The results concluded that there were no significant differences for asymmetry, and as for the bilateral deficit no significant differences except for some high percentages of power are found, although significant differences were found were opposed to the definition of bilateral deficit.

Keywords: bilateral deficit, asymmetry, power

1. Objetivos y competencias a desarrollar por el alumno

El campo de la fisiología humana es un ámbito de investigación muy extenso con una larga historia y numerosos estudios cuyo objeto es conocer las respuestas y adaptaciones del organismo humano al ejercicio. El presente Trabajo de Fin de Grado, en adelante TFG, tiene por objeto comparar el déficit bilateral en las diversas manifestaciones de la fuerza así como comprobar cómo se comporta el déficit bilateral en una de las manifestaciones de esta, la potencia.

Los objetivos generales a desarrollar por el alumno durante el desarrollo del TFG son:

- Ser capaz de integrar muchos de los contenidos desarrollados durante el grado y utilizarlos de manera eficaz para la ejecución del trabajo.
- Ser capaz de desarrollar un aprendizaje autónomo gracias a las directrices emanadas del tutor académico.
- Ser capaz de desarrollar la defensa del trabajo frente al tribunal.
- Comprender las respuestas del organismo como consecuencia del ejercicio y ser capaz de discutir y establecer conclusiones derivadas del trabajo.
- Ser capaz de interpretar los datos de las variables e interrelacionarlos.

Asimismo se distinguen una serie de objetivos específicos que el alumno deberá ser capaz de desarrollar al finalizar el presente trabajo. Los más distintivos son:

- Comprender el funcionamiento y el manejo de las galgas de fuerza así como de los transductores de posición (*encoder*).
- Realizar un análisis básico de las variables estudiadas y manejar el programa estadístico SPSS.
- Manejar el programa Excel con el objetivo de realizar tablas y gráficos con autonomía.

En cuanto a las competencias a adquirir por el alumno gracias al TFG, distinguimos:

- Que el alumno adquiriera una madurez académica que le permita acceder a estudios superiores, siendo capaz de elaborar un trabajo científico adecuado al nivel de los estudios cursados.
- Que el alumno sepa emplear bases de datos bibliográficas que le permitan acceder a información científica y distinga que datos son importantes en el ámbito de la investigación.
- Que el alumno sea capaz de aplicar sus conocimientos en inglés con el fin de seguir incrementando los conocimientos de su ámbito profesional.

2. Antecedentes

Al desarrollo de la fuerza muscular se le ha dado en la última década una importancia creciente; en los años 70s y 80s el trabajo aeróbico era el recomendado por organizaciones profesionales y científicas, entre ellas el Colegio Americano de Medicina del Deporte y la Asociación del Corazón y le daban menor protagonismo al trabajo de fuerza muscular y potencia (Brooks et al., 2004). Desde hace relativamente poco tiempo estas organizaciones han ido reconociendo una mayor importancia a las actividades que permiten mantener o incrementar la fuerza muscular ya que aseguran que eso promueve y mantiene la salud además de la independencia funcional (Haskell et al., 2007).

La fuerza muscular es una de las capacidades motrices, que son la condición necesaria para la realización de las actividades motoras. Estas cualidades las podemos clasificar en dos grandes grupos: condicionales y coordinativas, la fuerza sería de tipo condicional.

Podemos definir fuerza según Sánchez Pérez (2012) como: “la capacidad condicional del hombre que permite vencer una resistencia u oponerse a ella mediante la utilización de la tensión de la musculatura. Dependiendo de la forma de producirse la tensión muscular y el tiempo de aplicación de esta, tendremos un tipo de fuerza u otra” (p.43).

Una vez definido el concepto de fuerza es interesante decir que la fuerza puede ser expresada de diferentes modos, y no existe un consenso generalizado por parte de los autores en la nomenclatura a emplear para los diferentes los modos o manifestaciones de la fuerza, proponiendo a menudo cada autor su propia taxonomía. Durante este estudio hemos considerado que las manifestaciones de la fuerza más relevantes para comparar son: fuerza isométrica máxima, fuerza dinámica máxima y potencia. A esta última le dedicaremos gran parte del estudio ya que es en esta manifestación de la fuerza donde existen menos datos en la bibliografía encontrada.

A continuación vienen expresadas las definiciones de las distintas manifestaciones de la fuerza que hemos analizado en este estudio: fuerza isométrica máxima, fuerza dinámica máxima y potencia.

- Fuerza isométrica máxima: según Badillo & Ayestarán (2002) “se produce cuando el sujeto realiza una contracción voluntaria máxima contra una resistencia insalvable. Es lo que también se puede llamar fuerza máxima estática” (p.53).

- Fuerza dinámica máxima: según Badillo & Ayestarán (2002) es la expresión máxima de fuerza cuando la resistencia solo se puede desplazar una vez, o se desplaza ligeramente y/o transcurre a muy baja velocidad en una fase del movimiento. La fuerza máxima expresada en este caso estará referida al ángulo en el que se produce la mínima velocidad de desplazamiento” (p.53).
- Potencia: La potencia es definida como el máximo trabajo o tensión que un músculo puede desarrollar por unidad de tiempo (Gollnick & Bayly, 1986). La fórmula de la potencia es: trabajo/tiempo o fuerza x velocidad. La potencia se puede evaluar con varios aparatos pero el encoder (transductor de posición lineal) constituye una herramienta válida para detectar la carga durante movimientos lineales como aquellos que se llevan a cabo con las pesas (Nacleiro et al., 2009).

De todas las manifestaciones de la fuerza, la potencia parece ser la más importante en la mayoría de deportes. Los factores principales que influyen en la capacidad de potencia son:

- La fuerza máxima: máximo nivel de tensión intramuscular alcanzado en una contracción.
- Activación máxima del mayor número posible de unidades motoras por unidad de tiempo.
- La coordinación intramuscular: activación sincronizada de las unidades motoras.
- La coordinación intermuscular: habilidad de contraer los músculos agonistas y sinérgicos y relajar los antagonistas de forma sincronizada.

La velocidad de movimiento con cargas ligeras depende principalmente del RFD (*Rate of force development*, se expresa en newtons por segundo, N/s), mientras que la velocidad de movimiento con cargas pesadas está más vinculada a la fuerza máxima (Duchateau & Hainaut, 1984).

Durante este estudio, se trató de valorar y comparar varias manifestaciones de la fuerza relacionándolas con el déficit bilateral de fuerza y la asimetría bilateral, por lo tanto a continuación vamos a exponer los antecedentes encontrados sobre dichos conceptos.

Respecto al déficit bilateral de fuerza, la bibliografía analizada expone lo siguiente:

Vint (1997), propone que el déficit bilateral debe definirse como la diferencia entre en trabajo bilateral y la suma de los trabajos unilaterales ($TUI+TUD = TB$), además propone al final del estudio tres tipos de déficit: déficit de tiempo de reacción, déficit de contracción muscular y déficit de ejecución aeróbica. El término déficit bilateral ha sido usado exclusivamente en estudios de contracción muscular máxima.

Según Kuruganti & Seaman (2006), explican el déficit de fuerza bilateral como la fuerza ejercida durante las contracciones musculares bilaterales, es menor que la ejercida durante las contracciones musculares unilaterales.

Déficit bilateral de fuerza existe tanto en grandes como en pequeños grupos de músculos en una variedad de patrones de movimiento, tanto en hombres como mujeres, en sujetos atléticos y no atléticos así como en sujetos con trastornos motores (Archontides & Fazey, 1993; Henry & Smith, 1961; Howard & Enoka, 1991; Jakobi & Chilibeck, 2001; Ohtsuki 1983, 1994).

Además podemos cuantificar el déficit bilateral de la fuerza por medio de unas sencillas ecuaciones. Por ejemplo Acero & Ibarguen (2002), obtuvieron una sencilla ecuación (Fórmula 1) para los datos recogidos durante la aplicación de pruebas de salto vertical.

$$(F1) \%DBL = \frac{\text{Bipodal} - (\sum P.\text{izq} + P.\text{der})}{\text{Bipodal}} \times 100$$

Aunque en la mayor parte de la bibliografía consultada se evidencie el déficit bilateral de fuerza otros autores como Contreras, Laguado & Hermoso (2013), llevaron a cabo un estudio acerca del déficit bilateral de fuerza, estos autores trataron de describir el déficit bilateral de fuerza utilizando dos de los algoritmos recomendados por Impellizzeri et al. (2007), para utilizar esta metodología necesitaron realizar el protocolo de Bosco (1991), sin embargo los resultados del déficit bilateral de fuerza no les dieron diferencias significativas.

Posibles causas del déficit bilateral de fuerza

Secher et al. (1976), relacionan el déficit bilateral con una menor activación de las unidades motoras de la musculatura implicada en un ejercicio determinado, dicho déficit se explica debido a que la actividad de las fibras lentas o de tipo I están disminuidas durante los ejercicios bilaterales de este estudio, además otro autor Vandervoort (1984) concluye lo mismo, esta vez ayudado de la electromiografía. Es decir ambos autores llegan a la conclusión que el reclutamiento de motoneuronas fue mayor durante el ejercicio unilateral que durante el ejercicio bilateral, sugirieron también que durante los ejercicios bilaterales se producía el déficit ya que se utilizaban menos las fibras rápidas o tipo II.

Soest (1985), explica el fenómeno del déficit bilateral de fuerza para sus estudios en el salto vertical atribuido a factores biomecánicos, ya que con una sola pierna hay largos tiempos de contacto con el suelo, así que, los músculos tienen mayor tiempo para producir fuerza, cosa que no ocurre durante un salto con las dos piernas.

La mayoría de la bibliografía consultada hace referencia a dos de las manifestaciones que nosotros hemos estudiado, estas son la fuerza máxima dinámica y la fuerza máxima isométrica (Hay, de Souza & Fukashiro, 2006).

Sin embargo hay una manifestación de la fuerza, que no ha sido prácticamente investigada en el ámbito del déficit bilateral, la potencia, es esta la razón por la que hemos decidido cuantificarla.

En lo referente a la asimetría bilateral de la fuerza, la bibliografía consultada expone lo siguiente:

Se define asimetría bilateral como la diferencia entre el lado izquierdo y derecho o el lado dominante y no dominante (Krzykala, 2010). La gran mayoría de los estudios realizados acerca de la asimetría bilateral han sido en relación a la masa muscular y la densidad de los huesos (Dorado et al., 2002), sin embargo en lo que respecta a este trabajo vamos a tratar de centrarnos en la asimetría bilateral referida a la fuerza. Se habla de asimetría cuando existen diferencias mayores al 10% entre un lado y el otro (Lanshmmar & Ribom, 2011).

McCurdy & Langford (2005) midieron la asimetría bilateral del tren inferior en referencia a la fuerza máxima dinámica, la diferencia de fuerza entre ambas piernas era entorno al 1%.

Otros autores como Wiest et al. (2010), muestran que la pierna dominante era un 4% más fuerte que la no dominante. Lanshammar & Ribom (2011), llevaron a cabo un estudio con mujeres de edad adulta, donde evaluaron la fuerza isocinética, encontraron que la musculatura del tren inferior del lado dominante era un 5,3% más fuerte que la musculatura del lado no dominante.

Por ultimo Almeida et al. (2012) llevaron un estudio tratando de comparar la asimetría en la potencia, vieron que en una máquina isocinética, la potencia máxima de la pierna dominante era un 12% mayor que la pierna no dominante.

3. Objetivos

Objetivo General:

Estudiar la simetría en fuerza en miembros inferiores, concretamente en los extensores de la rodilla así como analizar el posible déficit bilateral de fuerza en la misma musculatura.

Objetivo Específico:

Medir, analizar y cuantificar la posible existencia de asimetría y déficit de fuerza bilateral en las manifestaciones de la fuerza estudiadas:

- Fuerza máxima dinámica.
- Fuerza isométrica máxima.
- Potencia muscular manifestada al vencer diferentes resistencias comprendidas entre el 40% y el 80% de la máxima fuerza dinámica.

4. Metodología

Sujetos

En el desarrollo del estudio participaron un total de 13 sujetos, siendo los 13 sujetos de género femenino. La muestra está comprendida por individuos que practican diferentes modalidades deportivas y otros que realizan actividad física de forma ocasional, todos ellos cursan sus estudios en la Universidad de León, en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, con edades que oscilaban entre los 17 y los 25 años.

Los criterios de inclusión en el estudio fueron no padecer ningún tipo de lesión musculoesquelética u otras patologías que pudieran poner en riesgo su salud. Antes de comenzar el estudio todas las participantes fueron informadas de la finalidad del estudio, los posibles riesgos así como el procedimiento del mismo, firmaron su participación voluntaria en el estudio.

	Edad (años)	Peso (Kg)	Talla (cm)	IMC
Sujeto 1	17	68	1,65	24,9
Sujeto 2	25	75	1,74	24,6
Sujeto 3	18	50	1,54	21,1
Sujeto 4	25	70	1,74	23,1
Sujeto 5	22	57	1,58	22,8
Sujeto 6	19	50	1,56	20,5
Sujeto 7	21	68	1,64	25,3
Sujeto 8	24	62	1,65	22,8
Sujeto 9	19	49	1,62	18,7
Sujeto 10	21	63	1,63	23,7
Sujeto 11	22	80	1,62	30,5
Sujeto 12	18	56	1,65	20,6
Sujeto 13	22	60	1,6	23,4
Sujeto 14	18	62	1,68	21,9
Sujeto 15	21	57	1,67	20,4
Media	20,8	62	1,64	22,9

Tabla 1 características de los sujetos: edad, altura, peso e IMC.

Máxima fuerza isométrica

Para la evaluación de la fuerza máxima isométrica, se utilizó la máquina multiestación (BH® fitenss Nevada Pro-T, España), interponiendo una célula de carga (Globus ergometer®, Italia; 1000 Hz) conectada al software Globus Ergo Tester v1.5, Italia, en una cadena sujeta en uno de sus extremos a la palanca sobre la que se aplica la fuerza con el dorso del pie, y el otro extremo a la porción inferior del mástil fijo que sujeta el asiento en el que se acomoda el sujeto. Se explicó a los participantes del estudio que permanecieran sentados, con la espalda completamente recostada en el respaldo, las manos sujetas a las agarraderas de las que dispone la máquina. Las rodillas flexionadas 90 grados, esto fue controlado con el goniómetro (TEC®, España), y la articulación tibioastragalina empujando en el punto de aplicación de la fuerza en el brazo de la palanca. A continuación, los sujetos fueron orientados a que produjesen la máxima fuerza posible para intentar extender las rodillas y así intentar vencer una resistencia insuperable, durante un periodo de 5 segundos para llegar a la fuerza máxima isométrica.

Se realizaron dos intentos para cada ejecución: con las dos piernas simultáneamente, a continuación con la pierna derecha y por último con la pierna izquierda. Entre cada intento se respetó un intervalo de dos minutos, y para los cálculos del estudio se consideró el intento con mayor valor, siendo expresada esta fuerza en kilogramos/fuerza.

Máxima fuerza dinámica

Para evaluar la fuerza máxima dinámica, los sujetos fueron evaluados en la máquina multiestación (BH® fitenss Nevada Pro-T, España) y empezaban en idéntica posición a la prueba de fuerza máxima isométrica.

El protocolo a seguir, comenzaba realizando un calentamiento con 4 repeticiones, esta carga inicial se ponía en función del peso del sujeto y correspondía al 40% del mismo, a partir de ahí, la carga se incrementaba y el sujeto recibía la orden de efectuar dos repeticiones, si el sujeto conseguía hacer las dos repeticiones completas y después de contestar cuál era su percepción de esfuerzo, se hacía un nuevo incremento en la carga. Cuando el sujeto era capaz de movilizar una sola vez la carga y teniendo en cuenta su percepción de esfuerzo, se consideraba esta carga como la correspondiente a su fuerza máxima dinámica. En caso de no poder movilizar ni siquiera una sola repetición, se quitaba parte de la carga y él sujeto lo intentaba otra vez. La fuerza dinámica máxima fue establecida con un máximo de cinco intentos y entre cada intento había un descanso de dos minutos. Esta metodología se llevó a cabo tanto para determinar la máxima fuerza dinámica

bilateral como unilateral del lado derecho y unilateral del lado izquierdo. La escala de percepción subjetiva del esfuerzo gracias a la cual nos ayudamos fue la escala OMNI-RES (Gearhart et al., 2011).

Potencia

Para evaluar la potencia los sujetos fueron evaluados en la máquina multiestación (BH® fitness Nevada Pro-T, España) y comenzaban en la misma posición a las dos pruebas explicadas con anterioridad, la de la fuerza isométrica máxima y la fuerza máxima dinámica. Para la medición de la potencia empleamos un encoder (transductor de posición lineal) (T-Force, modelo TF-100, España).

El encoder se conectó a las masas de resistencia de la máquina multiestación, así, conseguíamos saber el desplazamiento vertical que estas tenían, obtuvimos dos valores de potencia, potencia media y potencia máxima de la mejor repetición de cada carga. La potencia media correspondía al promedio de los valores registrados por el *encoder* a lo largo de todo el rango de recorrido de cada repetición, mientras que la potencia máxima hace referencia al mayor valor alcanzado en cualquiera de los intervalos en que se obtuvo la potencia.

El protocolo durante la realización de esta prueba fue idéntico al realizado durante la fuerza máxima dinámica, a excepción del ritmo de ejecución, en este caso al sujeto se le pidió que movilizase la carga lo más rápido posible, además para impedir que tuviese influencia la fuerza elástica acumulada, se les impuso una pausa de dos segundos entre cada repetición.

Los registros de potencia que se tomaron durante el estudio corresponde a los siguientes porcentajes: 40%,50%,60%,70% y 80% respecto a la fuerza máxima dinámica, se tomaron tanto de manera bilateral como unilateral derecha y unilateral izquierda.

Análisis Estadístico

Todos los análisis estadísticos fueron realizados en el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 18 (IBM, Chicago, USA). Se hizo el análisis descriptivo de los datos, a través de la media y de la desviación estándar (DS). Las comparaciones intragrupo fueron hechas a través de la prueba T de Student para muestras relacionadas. Para todos los valores se estableció un nivel de significancia estadística de $p < 0,05$.

5. Resultados

Los resultados, se muestra el promedio de la muestra durante los distintos protocolos así como también está recogida la desviación típica de los mismos. Existen diferencias significativas en alguno de los valores de los distintos protocolos.

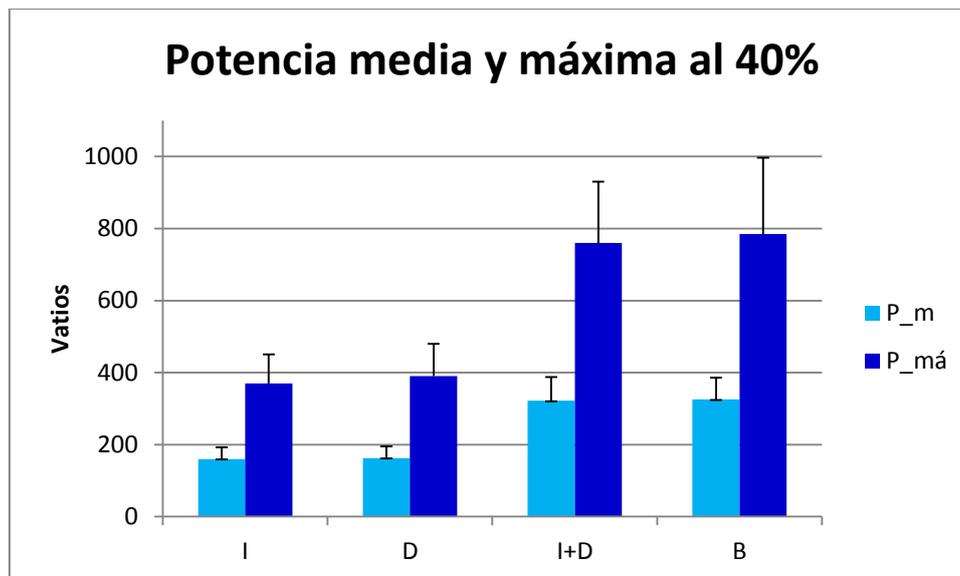


Figura 1. Valores del promedio de la potencia media y máxima, al 40% del RM.

40%	I	D	I+D	B
P_m	160 ± 33	162 ± 33	322 ± 66	325 ± 60
P_má	370 ± 81	390 ± 89	760 ± 170	785 ± 211
p valor en P_m	0,495		0,7	
p valor en P_má	0,12		0,453	

Tabla 2. Valores del promedio de la potencia media, máxima, y valores de p al 40% del RM.

En la figura 1 y la tabla 2 aparecen recogidos los datos, en vatios, referentes al promedio de la potencia media y máxima al 40% del RM, en los diferentes protocolos: pierna izquierda (I), pierna derecha (D), suma de las fuerzas de la pierna izquierda y la pierna derecha (I+D) y por último bilateral (B). En la tabla 2 también aparecen los valores significativos al comparar: los valores de la I con los de la D tanto en potencia media como en potencia máxima, no existen diferencias significativas ($p=0,495$) y ($p=0,12$) respectivamente y, al comparar I+D respecto a B, para la potencia media y potencia máxima, tampoco existen diferencias significativas ($p=0,7$) y ($p=0,453$) respectivamente.

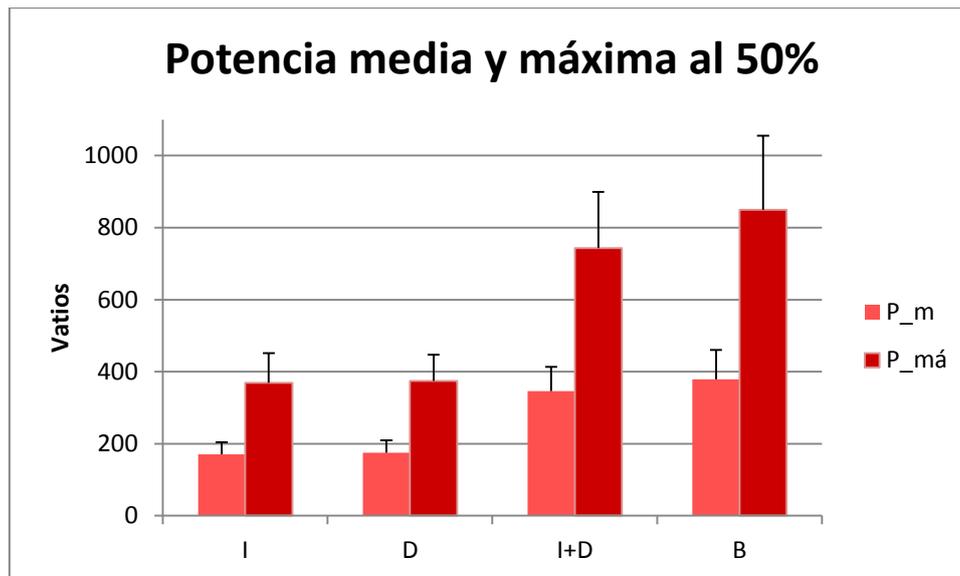


Figura 2. Valores del promedio de la potencia media y máxima, al 50% del RM.

50%	I	D	I+D	B
P _m	171 ± 34	175 ± 34	346 ± 67	379 ± 81
P _{má}	369 ± 83	375 ± 73	743 ± 156	850 ± 205
p valor de P _m	0,253		0,06	
p valor de P _{má}	0,622		0,13	

Tabla 3. Valores del promedio de la potencia media, máxima, y valores de p al 50% del RM.

En la figura 2 y la tabla 3 aparecen recogidos los datos, en vatios, referentes al promedio de la potencia media y máxima al 50% del RM, en los diferentes protocolos: pierna izquierda (I), pierna derecha (D), suma de las fuerzas de la pierna izquierda y la pierna derecha (I+D) y por último bilateral (B). En la tabla 3 también aparecen los valores significativos al comparar: los valores de la I con los de la D tanto en potencia media como en potencia máxima, no existen diferencias significativas ($p=0,253$) y ($p=0,622$) respectivamente y, al comparar I+D respecto a B, para la potencia media y potencia máxima, tampoco existen diferencias significativas ($p=0,06$) y ($p=0,13$) respectivamente.

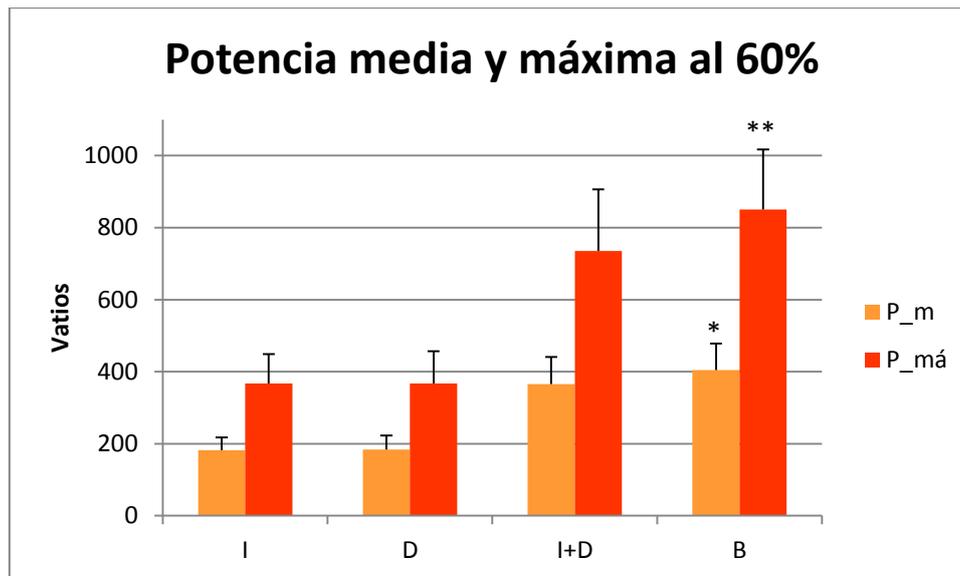


Figura3. Valores del promedio de la potencia media y máxima, al 60% del RM. Significación, * $p < 0,005$, ** $p < 0,001$.

60%	I	D	I+D	B
P_m	182 ± 36	184 ± 39	365 ± 75	405 ± 73
P_má	367 ± 82	368 ± 90	735 ± 172	850 ± 167
p valor de P_m	0,667		0,002*	
p valor de P_má	0,977		0,000**	

Tabla 4. Valores del promedio de la potencia media, máxima, y valores de p al 60% del RM.

En la figura 3 y la tabla 4 aparecen recogidos los datos, en vatios, referentes al promedio de la potencia media y máxima al 60% del RM, en los diferentes protocolos: pierna izquierda (I), pierna derecha (D), suma de las fuerzas de la pierna izquierda y la pierna derecha (I+D) y por último bilateral (B). En la tabla 4 también aparecen los valores significativos al comparar: los valores de la I con los de la D tanto en potencia media como en potencia máxima, no existen diferencias significativas ($p=0,667$) y ($p=0,977$) respectivamente y, al comparar I+D respecto a B, para la potencia media y potencia máxima, si existen diferencias significativas ($p=0,002$) y ($p=0,000$) respectivamente. Estas diferencias son a favor del protocolo (B).

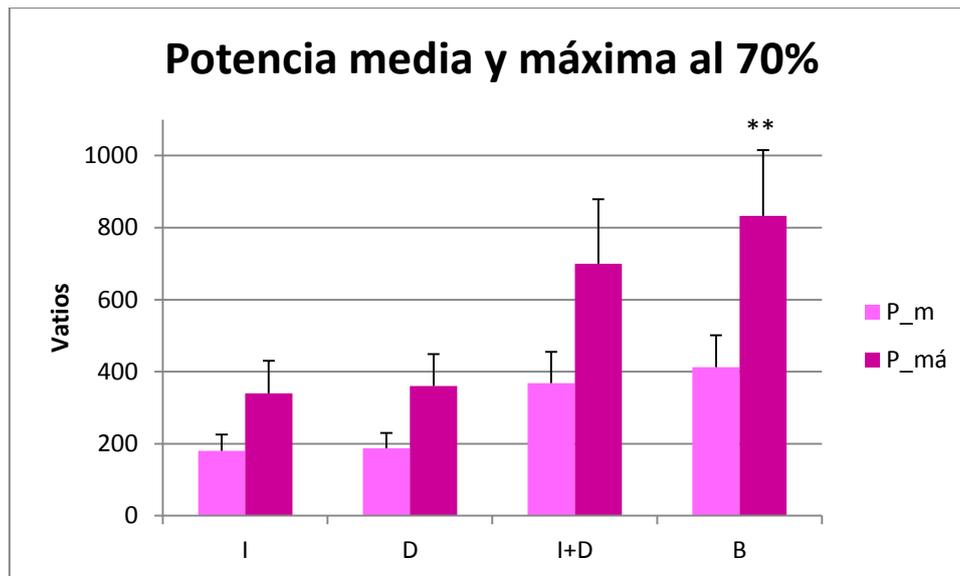


Figura 4. Valores del promedio de la potencia media y máxima, al 70% del RM. Significación, ** $p < 0,001$.

70%	I	D	I+D	B
P_m	182 ± 44	187 ± 43	368 ± 87	413 ± 88
P_má	340 ± 91	360 ± 88	700 ± 179	833 ± 182
p valor de P_m	0,207		0,01	
p valor de P_má	0,3		0,000**	

Tabla 5. Valores del promedio de la potencia media, máxima, y valores de p al 70% del RM.

En la figura 4 y la tabla 5 aparecen recogidos los datos, en vatios, referentes al promedio de la potencia media y máxima al 70% del RM, en los diferentes protocolos: pierna izquierda (I), pierna derecha (D), suma de las fuerzas de la pierna izquierda y la pierna derecha (I+D) y por último bilateral (B). En la tabla 5 también aparecen los valores significativos al comparar: los valores de la I con los de la D tanto en potencia media como en potencia máxima, no existen diferencias significativas ($p=0,207$) y ($p=0,3$) respectivamente y, al comparar I+D respecto a B, para la potencia media y potencia máxima, no existen diferencias significativas para la potencia media ($p=0,01$) y si para la potencia máxima ($p=0,000$). Esta diferencia es a favor del protocolo (B).

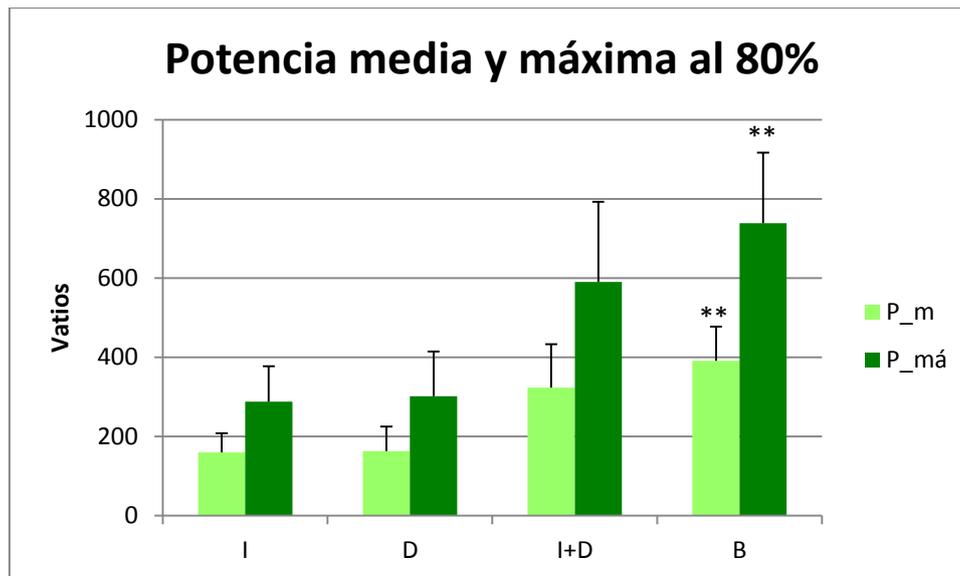


Figura 5. Valores del promedio de la potencia media y máxima, al 80% del RM. Significación, * $p < 0,005$, ** $p < 0,001$.

80%	I	D	I+D	B
P_m	160 ± 48	163 ± 62	323 ± 110	391 ± 86
P_má	288 ± 89	302 ± 113	590 ± 202	739 ± 178
p valor de P_m	0,752		0,001**	
p valor de P_má	0,431		0,000**	

Tabla 6. Valores del promedio de la potencia media, máxima, y valores de p al 80% del RM.

En la figura 5 y la tabla 6 aparecen recogidos los datos, en vatios, referentes al promedio de la potencia media y máxima al 80% del RM, en los diferentes protocolos: pierna izquierda (I), pierna derecha (D), suma de las fuerzas de la pierna izquierda y la pierna derecha (I+D) y por último bilateral (B). En la tabla 6 también aparecen los valores significativos al comparar: los valores de la I con los de la D tanto en potencia media como en potencia máxima, no existen diferencias significativas ($p=0,752$) y ($p=0,431$) respectivamente y, al comparar I+D respecto a B, para la potencia media y potencia máxima, si existen diferencias significativas ($p=0,001$) y ($p=0,000$) respectivamente. Estas diferencias son a favor del protocolo (B).

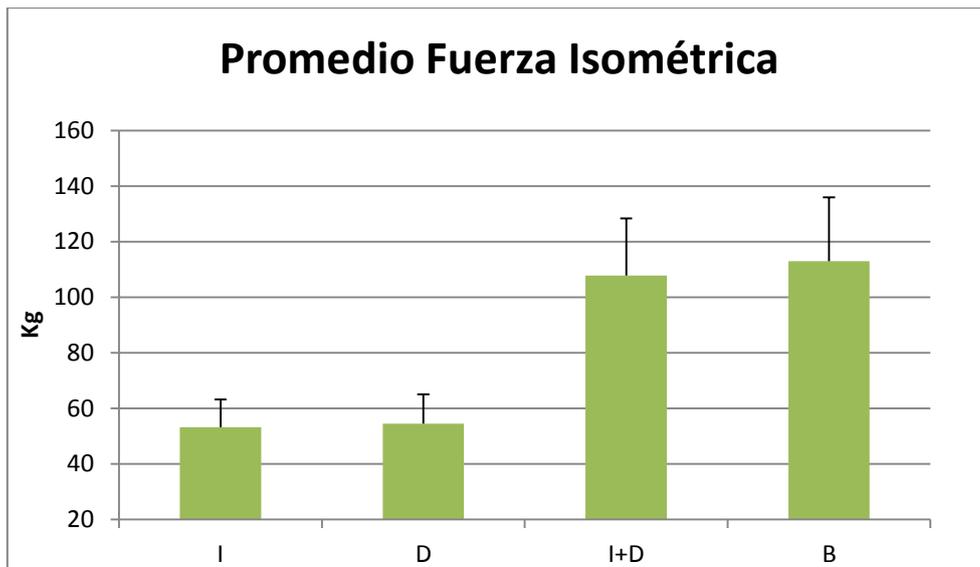


Figura 6. Valores del promedio de fuerza máxima isométrica.

	I	D	I+D	B
F_Iso	53 ± 10	55 ± 11	108 ± 21	113 ± 23
p de valor de F_má	0,281		0,094	

Tabla 7. Valores del promedio de fuerza máxima isométrica y valores de p para dichos valores.

En la figura 6 y la tabla 7 aparecen registrados los datos en Kg del promedio de fuerza máxima isométrica en diferentes protocolos: pierna izquierda (I), pierna derecha (D), suma de las fuerzas de la pierna izquierda y la pierna derecha (I+D) y por último bilateral (B). En la tabla 7 también aparecen los valores significativos al comparar: los datos de la pierna izquierda con los de la pierna derecha, vemos su similitud por lo que no existen diferencias significativas ($p=0,281$), y, al comparar los valores de la suma de las piernas con los valores bilaterales tampoco encontramos diferencias significativas ($p=0,094$).

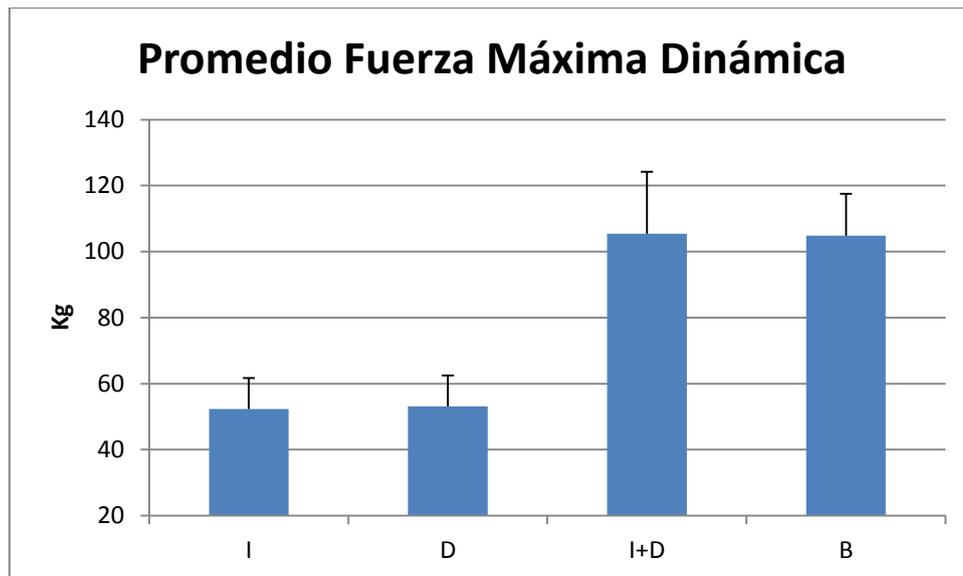


Figura 7. Valores del promedio de fuerza máxima dinámica.

	I	D	I+D	B
F_má	52 ± 9	53 ± 9	105 ± 19	105 ± 13
p de valor de F_má	0,159		0,871	

Tabla 8. Valores del promedio de fuerza máxima dinámica y valores de p para dichos valores.

En la figura 7 y la tabla 8 aparecen registrados los datos en Kg del promedio de fuerza dinámica máxima en diferentes protocolos: pierna izquierda (I), pierna derecha (D), suma de las fuerzas de la pierna izquierda y la pierna derecha (I+D) y por último bilateral (B). En la tabla 8 también aparecen los valores significativos al comparar: los valores de la pierna izquierda con los de la pierna derecha se observa que son muy similares y no existen diferencias significativas ($p=0,159$), y, al comparar los valores de la suma de las piernas con los valores bilaterales se observa que son valores muy similares y por lo tanto no existen diferencias significativas ($p=0,871$).

6. Discusión

Asimetría bilateral en fuerza máxima isométrica

Como hemos podido comprobar en el apartado de resultados, no existen diferencias significativas ($p=0,281$) en referencia a la fuerza máxima isométrica entre el tren inferior derecho con respecto al tren inferior izquierdo; la diferencia entre ambas es 2,3% favorable al lado dominante, porcentaje inferior al 10% propuesto por (Lanshmmar y Ribom, 2011).

Asimetría bilateral en fuerza máxima dinámica

Haciendo referencia a los valores propuesto en el apartado de resultados y del mismo modo que durante la fuerza máxima isométrica, en la fuerza máxima dinámica tampoco hay asimetría, no existen diferencias significativas ($p=0,159$), en este caso el lado dominante es 1,38% superior al no dominante, porcentaje muy inferior al dado por (Lanshmmar y Ribom, 2011). Este resultado es prácticamente idéntico al obtenido por McCurdy y Langford, (2005) los cuales obtuvieron una diferencia de entorno al 1% de diferencia entre ambas piernas.

Asimetría bilateral en potencia media y potencia máxima en los porcentajes: 40%,50%,60%,70% y 80% del RM

Al igual que como sucede en los valores de fuerza máxima dinámica y de fuerza isométrica máxima, los valores dados durante este estudio tanto en la potencia media como en la potencia máxima, no se observan asimetrías en ninguno de los dos parámetros a ningún porcentaje del RM, todos los valores son de $p>0,005$. No hay tienen diferencias significativas.

En relación a la potencia media, los valores que se muestran en este estudio, no demuestran asimetría bilateral, ya que en ningún porcentaje del RM la diferencia en los dos miembros era mayor al 10% propuesto por Lanshmmar & Ribom (2011).

Los valores obtenidos de potencia máxima, al igual que lo sucedido en la potencia media, no sobrepasan el 10% propuesto por Lanshmmar & Ribom (2011) en el RM, estos datos contrastan con los resultados obtenidos por Almeida et al., (2012), ya que ellos obtuvieron mayores diferencias, un 12% de diferencia entre la dominante y la no dominante, esta diferencia si demuestra una asimetría bilateral, esto puede deberse a que no son idénticos protocolos, ellos usaron máquinas isocinéticas.

Déficit bilateral de fuerza máxima isométrica

Como vimos en el apartado de resultados, no aparecen diferencias significativas en los valores de déficit bilateral relacionándolo con la máxima fuerza isométrica ($p=0,094$), la diferencia entre la fuerza máxima isométrica bilateral y la suma de las fuerzas máximas isométricas de los dos lados del tren inferior es de un 4,6% de mayor fuerza isométrica máxima a favor del protocolo bilateral, este resultado es opuesto al resultado que obtuvieron Kuruganti & Seaman (2006), y sigue la línea de otros autores como Contreras, Laguado & Hermoso (2013) que tampoco obtienen diferencias significativas, aunque no lleven a cabo el mismo protocolo.

Déficit bilateral de fuerza máxima dinámica

Al igual que como sucede con el déficit bilateral de fuerza máxima isométrica, con los valores de déficit bilateral de fuerza máxima dinámica, no aparecen diferencias significativas ($p=0,871$), la diferencia entre la fuerza máxima dinámica bilateral y la suma de las fuerzas máximas dinámicas de los dos lados del tren inferior es de un 0,5% de mayor fuerza dinámica máxima a favor de la suma de dichas fuerzas de ambos lados del cuerpo. Estos resultados son opuestos al igual que en el apartado anterior a los autores Kuruganti & Seaman (2006) y como hemos visto previamente corroboran el estudio de Contreras, Laguado & Hermoso (2013).

Déficit bilateral de potencia media y potencia máxima en los porcentajes: 40%,50%,60%,70% y 80% del RM

Hemos obtenido diez datos en referencia a la potencia, uno por cada porcentaje y tipo de potencia medida.

Potencia media:

- Potencia media al 40% del RM: con este porcentaje de RM no se vieron diferencias significativas ($p=0,7$) al comparar la suma de las potencias de ambos miembros con la potencia bilateral.

- Potencia media al 50% del RM: con este porcentaje de RM no se vieron diferencias significativas ($p=0,06$) al comparar la suma de las potencias de ambos miembros con la potencia bilateral.
- Potencia media al 60% del RM: con este porcentaje de RM se vieron diferencias significativas ($p=0,002$) al comparar la suma de las potencias de ambos miembros con la potencia bilateral. Estas diferencias significativas son a favor de la potencia bilateral, en ningún caso podríamos hablar de déficit bilateral de potencia a este porcentaje.
- Potencia media al 70% del RM: con este porcentaje de RM no se vieron diferencias significativas ($p=0,01$) al comparar la suma de las potencias de ambos miembros con la potencia bilateral. En este porcentaje es donde encontramos los valores más altos en cuanto a potencia media.
- Potencia media al 80% del RM: con este porcentaje de RM se vieron diferencias significativas ($p=0,001$) al comparar la suma de las potencias de ambos miembros con la potencia bilateral. Estas diferencias significativas son a favor de la potencia bilateral, en ningún caso podríamos hablar de déficit bilateral de potencia a este porcentaje.

Potencia máxima:

- Potencia máxima al 40% del RM: con este porcentaje de RM no se vieron diferencias significativas ($p=0,453$) al comparar la suma de las potencias de ambos miembros con la potencia bilateral. . En este porcentaje es donde encontramos los valores más altos en cuanto a potencia máxima en los protocolos unilaterales.

- Potencia máxima al 50% del RM: con este porcentaje de RM no se vieron diferencias significativas ($p=0,13$) al comparar la suma de las potencias de ambos miembros con la potencia bilateral.
- Potencia máxima al 60% del RM: con este porcentaje de RM se vieron diferencias significativas ($p=0,000$) al comparar la suma de las potencias de ambos miembros con la potencia bilateral. Estas diferencias significativas son a favor de la potencia bilateral, en ningún caso podríamos hablar de déficit bilateral de potencia a este porcentaje. En este porcentaje es donde encontramos los valores más altos en cuanto a potencia máxima con el protocolo bilateral.
- Potencia máxima al 70% del RM: con este porcentaje de RM no se vieron diferencias significativas ($p=0,000$) al comparar la suma de las potencias de ambos miembros con la potencia bilateral. Estas diferencias significativas son a favor de la potencia bilateral, en ningún caso podríamos hablar de déficit bilateral de potencia a este porcentaje.
- Potencia máxima al 80% del RM: con este porcentaje de RM no se vieron diferencias significativas ($p=0,000$) al comparar la suma de las potencias de ambos miembros con la potencia bilateral. Estas diferencias significativas son a favor de la potencia bilateral, en ningún caso podríamos hablar de déficit bilateral de potencia a este porcentaje.

7. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en este estudio, se puede concluir que realizando tres pruebas diferentes de los miembros inferiores, con la misma máquina multiestación:

- 1) No existe asimetría bilateral al relacionarse con la máxima fuerza isométrica.
- 2) No existe asimetría bilateral relacionada con la máxima fuerza dinámica.
- 3) No existe asimetría bilateral en correlación con la potencia media ni con la potencia máxima, a ningún porcentaje del RM
- 4) No existe déficit bilateral en la fuerza máxima isométrica.
- 5) No existe déficit bilateral en la fuerza máxima dinámica.
- 6) No existe déficit bilateral en la potencia media ni en la potencia máxima, a ningún porcentaje del RM.

La conclusión general de este trabajo, es que en ninguna de las manifestaciones de la fuerza estudiadas hemos hallado asimetría, ni déficit bilateral, cabe destacar que en algunos porcentajes elevados de la potencia, ya sea potencia máxima o media, existen diferencias significativas en contra de lo descrito en la bibliografía, es decir en contra de la definición de déficit bilateral, también llama la atención, que dependiendo que tipo de potencia ya sea máxima o media no se lleva a cabo su máxima expresión en el mismo porcentaje, es decir la potencia máxima obtiene sus mayores valores entorno al 40% o 50% mientras que la media los obtiene entorno al 70%, por lo tanto a la hora de la enseñanza se debería matizar bien qué tipo de potencia y sus respectivos porcentajes son los adecuados para entrenar la misma.

Limitaciones

La principal limitación de este estudio fue la escasa muestra, se necesitarían mayor número de participación para poder contrastar los resultados obtenidos.

Otra limitación fue que durante los protocolos unilaterales debido a la fuerza que aplicaban se levantaban unos centímetros del asiento así como separaban unos centímetros la espalda del respaldo, aun habiendo contemplado este problema y usar una especie de cinturón para impedir esto, no lo pudimos controlar del todo.

Por último queda mencionar la limitación de la maquina usada, esta tenia numerosas poleas, lo que pudo haber ayudado a igualar los datos.

Futuras investigaciones

Futuras investigaciones sobre este tema podrían venir relacionadas con la realización de los mismos protocolos o similares con distintos grupos musculares, así como cambios en el tipo de muestra, comparando por ejemplo poblaciones de deportistas en cuyas modalidades haya una intervención principal de las extremidades inferiores con otra muestra de deportistas en cuyas modalidades las extremidades inferiores no sean determinantes, con el objetivo de analizar si un mayor grado de adaptaciones al entrenamiento puede modificar los resultados de las variables estudiadas.

8. Valoración personal

Quiero llamar la atención sobre la razón que me llevó a elegir mi TFG: después de superar el primer curso de grado, en el que se imparte la asignatura de “fisiología del ejercicio”, otro compañero y yo, decidimos seguir formándonos en este ámbito, acudimos al tutor de este trabajo que accedió a que siguiésemos aprendiendo con él y con su equipo. Todo lo vivenciado y aprendido desde entonces, ha hecho que, sin ninguna duda, me haya inclinado a realizar el TFG en el ámbito de la fisiología del ejercicio.

Este trabajo no guarda muchas similitudes con los realizados durante el grado, ya que es un trabajo de investigación. Mencionar algunos de los pasos más significativos y de interés para mí: uno de ellos fue el periodo de recogida de datos, nunca antes lo había hecho, me resultó muy interesante realizar esta fase con sujetos reales. Hay que destacar también, que el TFG puso a prueba la capacidad organizativa; por ejemplo, planificar bien los horarios para realizar la parte experimental, el momento idóneo para realizar las pruebas pertinentes a los sujetos.

Con respecto a los conocimientos obtenidos durante el proceso de elaboración del trabajo, en términos generales, cabe resaltar la autonomía en el manejo de bases de datos a la hora de recoger información, así como el dominio de: la galga de fuerza y el encoder (transductor de posición lineal) y de otros programas informáticos, como el Excel.

No quiero dejar pasar, lo que supuso como aprendizaje cara a futuras investigaciones, de toda la construcción del trabajo: búsqueda de bibliografía, realización de las pruebas a pasar, elección de la muestra, cuidado de todos los detalles para la realización lo menos contaminada posible de las diferentes pruebas, el uso de la estadística para conseguir estudiar una serie de objetivos experimentales, la obtención de unas conclusiones y su comparación con la bibliografía consultada.

En resumen, este trabajo puede suponer el principio de un camino de futuros trabajos, me ha provocado el interés por la investigación

Mi valoración general ha sido más que positiva, ha sido muy agradable poder ponerme en el lugar del investigador y “experimentar” prácticamente parte de los conocimientos teóricos estudiados durante el grado, y creo sin lugar a duda que, es el tipo de aprendizaje más óptimo que se puede llevar a cabo.

9. Referencias bibliográficas

- Acero, M., & Ibarguen, P. (2002). El fenómeno del déficit bilateral en el deportista: Progresos 1 y 2. In *Memorias Congreso Internacional de Medicina Deportiva y Ciencias Aplicadas. Bogotá*.
- Almeida, G. P. L., Carneiro, K. K. A., Morais, H. C. R. D., & Oliveira, J. B. B. D. (2012). Effects of unilateral dominance of the lower limbs on flexibility and isokinetic performance in healthy females. *Fisioterapia em Movimento*, 25(3), 551-559.
- Archontides, C., & Fazey, J. A. (1993). Inter-limb interactions and constraints in the expression of maximum force: A review, some implications and suggested underlying mechanisms. *Journal of sports sciences*, 11(2), 145-158.
- Badillo, J. J. G., & Ayestarán, E. G. (2002). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: Aplicación al alto rendimiento deportivo* (Vol. 302). Barcelona: Inde.
- Brooks, G. A., Thomas, D. F & Kenneth, M. B. 2004. Exercise Physiology. Human bioenergetics and its applications. New York: McGraw Hill.
- Contreras, M., Laguado, M. J., & Hermoso, V. S. (2013). Evaluación de la asimetría bilateral en el salto vertical con contramovimiento en sujetos con actividad física federada, aficionada y sedentaria. *Cuidado y Ocupación Humana*, 1(1), 70-91.
- Dorado, C., Moysi, J. S., Vicente, G., Serrano, J. A., Rodriguez, L. P., & Calbet, J. A. L. (2002). Bone mass, bone mineral density and muscle mass in professional golfers. *Journal of sports sciences*, 20(8), 591-597.
- Duchateau, J., & Hainaut, K. (1984). Isometric or dynamic training: differential effects on mechanical properties of a human muscle. *Journal of applied physiology*, 56(2), 296-301.
- Gollnick, P. D., & Bayly, W. M. (1986). Biochemical training adaptations and maximal power. *Human muscle power. Champaign (IL): Human Kinetics*, 255-67.
- Haskell, W. L., Lee, I. M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A.,...Bauman, A. (2007). Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation*, 116(9), 1081.
- Hay, D., de Souza, V. A., & Fukashiro, S. (2006). Human bilateral deficit during a dynamic multi-joint leg press movement. *Human movement science*, 25(2), 181-191.

- Henry, F. M., & Smith, L. E. (1961). Simultaneous vs. separate bilateral muscular contractions in relation to neural overflow theory and neuromoter specificity. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 32(1), 42-46.
- Howard, J. D., & Enoka, R. M. (1991). Maximum bilateral contractions are modified by neurally mediated interlimb effects. *Journal of Applied Physiology*, 70(1), 306-316.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Maffiuletti, N., & Marcora, S. M. (2007). A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(11), 2044.
- Jakobi, J. M., & Chilibeck, P. D. (2001). Bilateral and unilateral contractions: possible differences in maximal voluntary force. *Canadian journal of applied physiology*, 26(1), 12-33.
- Krzykała, M. (2010). Dual energy X-ray absorptiometry in morphological asymmetry assessment among field hockey players. *Journal of Human Kinetics*, 25, 77-84.
- Kuruganti, U., & Seaman, K. (2006). The bilateral leg strength deficit is present in old, young and adolescent females during isokinetic knee extension and flexion. *European journal of applied physiology*, 97(3), 322-326.
- Lanshammar, K., & Ribom, E. L. (2011). Differences in muscle strength in dominant and non-dominant leg in females aged 20–39 years—A population-based study. *Physical Therapy in Sport*, 12(2), 76-79.
- McCurdy, K., Langford, G. A., Cline, A. L., Doscher, M., & Hoff, R. (2004). The reliability of 1- and 3RM tests of unilateral strength in trained and untrained men and women. *Journal of sports science & medicine*, 3(3), 190.
- Naclerio, F. J., Jiménez, A., Alvar, B. A., & Peterson, M. D. (2009). Assessing strength and power in resistance training. *Journal of Human Sport and Exercise*, 4(2), 110-113.
- Ohtsuki, T. (1983). Decrease in human voluntary isometric arm strength induced by simultaneous bilateral exertion. *Behavioural brain research*, 7(2), 165-178.
- Ohtsuki, T. (1994). Changes in strength, speed, and reaction time induced by simultaneous bilateral muscular activity. *Interlimb Coordination*, 259-274.
- Sánchez Pérez, J. M. (2012). *Desarrollo de la fuerza en las disciplinas atléticas de carreras lisas de velocidad y medio fondo* (Tesis doctoral). Universidad de León, León, España.

Secher, N. H., Rorsgaard, S., & Secher, O. (1976). Contralateral influence on recruitment of type-1 muscle-fibers during maximum voluntary extension of legs. In *Acta physiologica scandinavica* , 96(3), 20-21.

Van Soest, A. J., Roebroek, M. E., Bobbert, M. F., Huijing, P. A., & Van Ingen Schenau, G. J. (1985). A comparison of one-legged and two-legged countermovement jumps. *Med Sci Sports Exerc*, 17(6), 635-639.

Vandervoort, A. A., Sale, D. G., & Moroz, J. (1984). Comparison of motor unit activation during unilateral and bilateral leg extension. *Journal of Applied Physiology*, 56(1), 46-51.

Vint, P., & Hinrichs, R. (1997). Decoupling the bilateral deficit: the effect of task initiation time on the expression of maximum muscular force. In *Conference Proceedings, Am Soc Biomech*, 21,194-195.

Wiest, M. J., Dagnese, F., & Carpes, F. P. (2010). Strength symmetry and imprecise sense of effort in knee extension. *Kinesiology*, 42(2), 164-168.