



universidad  
del león



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

Curso Académico 2015/2016

INFLUENCIA DE LA ANGULACIÓN ARTICULAR EN LA  
ASIMETRÍA Y EL DÉFICIT DE FUERZAS BILATERAL DURANTE  
CONTRACCIONES ISOMÉTRICAS MÁXIMAS

Influence of joint angulation in asymmetry and bilateral force deficit  
during maximal isometric contractions

Autor/a: Borja Albalá Gómez

Tutor/a: José Antonio de Paz Fernández

Fecha: 04/07/2016

VºBº TUTOR/A

VºBº AUTOR/A

# Índice

Resumen.....	3
1. Introducción.....	4
1.1. Importancia de la fuerza.....	4
1.2. La fuerza y sus manifestaciones.....	4
1.3. Déficit de fuerzas bilateral.....	7
2. Objetivos.....	10
3. Metodología.....	11
3.1. Participantes.....	11
3.2. Instrumentación.....	11
3.3. Protocolo experimental.....	12
3.4. Análisis estadístico.....	13
4. Resultados.....	14
4.1. Asimetría.....	14
4.2. Déficit bilateral.....	16
5. Discusión.....	18
6. Limitaciones.....	21
7. Estudios futuros.....	22
8. Conclusiones.....	23
9. Bibliografía.....	24

## Resumen

La fuerza es una capacidad física esencial tanto para el rendimiento deportivo como para el mantenimiento o mejora de la salud y la independencia funcional. En el entrenamiento de fuerza la selección de ejercicios realizados de forma unilateral o de forma bilateral es un factor determinante de las adaptaciones obtenidas con el entrenamiento. En este punto nos encontramos con el déficit de fuerzas bilateral. Este fenómeno sugiere que la suma de la fuerza máxima manifestada mediante dos contracciones unilaterales alternas es mayor que la fuerza máxima manifestada mediante una contracción bilateral. El propósito de este estudio fue comprobar la existencia de dicho déficit y la posible influencia de la angulación articular, durante contracciones isométricas máximas de extensión de rodilla y flexión de codo. Para ello, se realizaron mediciones de la fuerza isométrica máxima a los 90°, 110°, 130° y 150° de extensión de rodilla y de codo, tanto de forma bilateral, como de forma unilateral. Los resultados mostraron la existencia del déficit de fuerzas bilateral durante contracciones isométricas máximas, independientemente del ángulo articular, tanto en los miembros superiores como en los miembros inferiores. Además, se encontraron asimetrías entre la fuerza isométrica máxima ejercida por el brazo derecho y el brazo izquierdo.

**Palabras clave** Déficit bilateral · Fuerza · Isométrico · Ángulo articular · Asimetría

## Abstract

Strength is an essential physical capacity for both athletic performance and for the maintenance or improvement of health and functional independence. In strength training exercise selection made unilaterally or bilaterally is a determining factor of the adjustments obtained with training. At this point we find the bilateral deficit forces. This phenomenon suggests that the sum of the maximum force expressed through two alternate unilateral contractions is greater than the maximum force expressed through a bilateral contraction. The purpose of this study was to verify the existence of the deficit and the possible influence of joint angle during maximal isometric contractions of knee extension and elbow flexion. For that, measurements of the maximum isometric strength at 90 °, 110 °, 130 ° and 150 ° of knee and elbow extension, both bilaterally and unilaterally, were performed. The results showed the existence of bilateral deficit forces during maximal isometric contractions, regardless of the joint angle, both upper and lower limbs. In addition, asymmetries between the maximum isometric force exerted by the right arm and left arm were found.

**Keywords** Bilateral deficit · Force · Isometric · Joint angle · Asymmetry

# 1. Introducción

## 1.1. Importancia de la fuerza

La fuerza es esencial para la actividad física, tanto para el rendimiento de la mayoría de los deportes como para el mantenimiento o mejora de la salud y la independencia funcional. Como define Tous (1), “la fuerza es la única cualidad física básica, sólo a partir de la cual pueden expresarse las demás”, por lo tanto las demás cualidades físicas dependen directa o indirectamente de la fuerza, ya que la única manera de generar movimiento es mediante la contracción muscular. Según Badillo et al. (2) “El entrenamiento para la mejora de la fuerza es básicamente el único entrenamiento que puede realizar el ser humano para mejorar su rendimiento físico”. Cuando hablamos de rendimiento deportivo, tanto si hablamos de disciplinas de fuerza, como si hablamos de disciplinas de resistencia o velocidad, el objetivo es siempre el mismo: mejorar la velocidad a la que se desplaza una carga, que puede ser externa o puede ser el propio peso corporal, y esto sólo se puede conseguir mediante la mejora de la fuerza aplicada por unidad de tiempo.

## 1.2. La fuerza y sus manifestaciones

Según la RAE la fuerza se entiende como “Vigor, robustez y capacidad para mover algo o a alguien que tenga peso o haga resistencia; como para levantar una piedra, tirar una barra, etc.”

Desde el punto de vista de la física, la fuerza es toda causa capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo. Y, por lo tanto, para la física la fuerza muscular sería “la capacidad de la musculatura para producir la aceleración o deformación de un cuerpo, mantenerlo inmóvil o frenar su desplazamiento” como señalan Badillo et al. (2).

Para la fisiología la fuerza es la capacidad de los músculos de ejercer tensión (contracción muscular) contra una resistencia que puede ser externa o el propio peso corporal.

Existen diferentes tipos de tensión muscular:

- Tónica: tensión fuerte y prolongada que se produce cuando se trata de vencer una gran resistencia, con una velocidad lenta o nula y, por lo tanto, de manera dinámica o estática. (Elementos de gimnasia, acciones de judo, etc.).

- Tónico-explosiva: tensión que trata de vencer una gran resistencia, aunque menor que la anterior, a gran velocidad. Son contracciones fundamentalmente concéntricas aunque existe un gran componente isométrico al inicio del movimiento y que alcanzan la máxima manifestación de fuerza al final del movimiento. (Lanzamiento de objetos pesados, saltos sin contramovimiento...).
- Elástico-explosiva: tensión producida cuando se trata de vencer una resistencia relativamente pequeña. La máxima fuerza se manifiesta al inicio o a mitad de movimiento y es mayor que en el caso anterior. La fase concéntrica del movimiento viene precedida por un estiramiento previo relativamente prolongado. (Lanzamientos atléticos, golpear un balón, saque de tenis, salto normal).
- Elástico-explosivo-reactiva: se trata de una tensión elástico-explosiva pero precedida de una fase de estiramiento previo muy corta, rápida e intensa y con un cambio más rápido entre la fase excéntrica y la concéntrica. (Salto en profundidad, carrera...).

El resto de tipos de tensión son variantes de las expuestas anteriormente o resultado de la mezcla de varias de ellas:

- Fásica: tensiones producidas durante movimientos cíclicos, con alternancia entre contracción y relajación muscular. (Remo, ciclismo, natación, etc.).
- Acíclicas-veloces: se trata de una variante de las elástico explosivas ante resistencias muy pequeñas o sin carga adicional. (Golpe de boxeo, ataque de esgrima...).
- Cíclicas-veloces: tensiones que se repiten rítmicamente mediante la sucesión de diferentes tipos de tensión. (Carrera, ciclismo, etc.).

Para entender las diferentes manifestaciones de la fuerza es necesario comprender los diferentes tipos de contracción muscular:

- Isométrica: es aquella en la cual no existe movimiento. La longitud del músculo no varía pero el componente contráctil se acorta y el componente elástico se extiende.
- Anisométrica: son aquellas en las cuales varía la longitud del músculo. Dentro de este tipo podemos encontrar las contracciones concéntricas, aquellas en las que el músculo se acorta, es decir, origen e inserción se acercan. Y las contracciones excéntricas, aquellas en las que el músculo se alarga y por lo tanto se separan origen e inserción. También podemos incluir dentro de este grupo las contracciones pliométricas, que son aquellas en las que existe un ciclo de estiramiento-

acortamiento (CEA), en el cual se produce un cambio muy rápido entre la fase excéntrica y la concéntrica.

- Ausotónica: en este caso los tres tipos de contracciones (isométrica, concéntrica y excéntrica) se dan dentro de un mismo movimiento. Es el caso de la mayoría de acciones deportivas.

Una vez comprendidos los diferentes tipos de contracción muscular se puede pasar a analizar los diferentes tipos de manifestaciones de la fuerza. Toda manifestación de fuerza depende de dos factores, la capacidad para generar fuerza y el tiempo necesario para conseguirlo:

- Fuerza isométrica máxima: es aquella que se produce cuando se trata de vencer una resistencia insalvable, mediante una contracción voluntaria máxima. Es específica del ángulo y posición en que se produce.
- Fuerza excéntrica máxima: se manifiesta cuando se realiza una contracción voluntaria máxima en el sentido opuesto al de desplazamiento de la resistencia. La fuerza generada en estos casos depende de la velocidad a la que se produce el estiramiento o contracción excéntrica.
- Fuerza dinámica máxima: se trata de la máxima fuerza que se puede ejercer ante una resistencia que sólo se puede movilizar una vez, con independencia del tiempo empleado para ello.
- Fuerza dinámica máxima relativa: consiste en la máxima fuerza generada ante resistencias inferiores a la correspondiente a la fuerza dinámica máxima.
- Fuerza explosiva: consiste en la capacidad del sistema neuromuscular de imprimir aceleración a una resistencia con la mayor velocidad de contracción posible.
- Fuerza elástico-explosiva: se trata de una manifestación de la fuerza similar a la anterior pero a la que se le añade una fase de estiramiento previo que ayuda a imprimir fuerza en la fase concéntrica posterior, mediante la acumulación de energía elástica.
- Fuerza elástico-explosivo-reactiva: en este caso se le añade al anterior el reflejo miotático (de estiramiento), producido por un ciclo de estiramiento-acortamiento mucho más rápido y con una fase de transición excéntrico-concéntrica mucho más breve.

No podemos entender la fuerza-resistencia como una manifestación de la fuerza puesto que se trata de la capacidad para mantener una o varias manifestaciones de fuerza durante el mayor tiempo posible.

### 1.3. Déficit de fuerzas bilateral

Cuando se trabaja la fuerza, en cualquiera de sus manifestaciones, ya sea para la búsqueda de rendimiento deportivo como para la mejora o mantenimiento de la salud y la independencia funcional, una de las variables más importantes en la planificación del entrenamiento es la elección de los ejercicios con los que se va a trabajar (3). En este sentido, la elección entre ejercicios realizados bilateralmente (BIL) y ejercicios realizados unilateralmente (UNI) puede resultar de vital importancia.

Los ejercicios seleccionados en la mayoría de prescripciones de entrenamiento de fuerza suelen realizarse de forma BIL. Sin embargo, esto quizás no sea lo más acertado, debido a la existencia de un déficit de fuerzas bilateral (DFBL) (4-7). Este fenómeno sugiere que la suma de la fuerza máxima manifestada mediante dos contracciones UNI alternas es mayor que la fuerza máxima manifestada mediante una contracción BIL. Por lo tanto, si nuestro objetivo es la producción de la mayor fuerza absoluta posible, los ejercicios UNI parecen una mejor opción. Sin embargo, diversos autores no han encontrado evidencias de la existencia de dicho déficit (8,9).

Las causas del DFBL han sido estudiadas en numerosas ocasiones (9,10,11,12), sin embargo, sigue habiendo mucha controversia al respecto, aunque parece que la hipótesis más extendida se basa en un origen neural del DFBL. Una de las hipótesis que se barajan consiste en una menor activación de las unidades motoras de contracción rápida durante los movimientos BIL. Pain et al. (12) estudiaron el DFBL en el salto en profundidad (drop jump) con ambas piernas y con una sola pierna. Además, se comparó a dos grupos de sujetos, por un lado atletas de potencia y por otro lado atletas de resistencia. Los atletas de potencia presentaron un DFBL en altura de salto y potencia máxima significativamente mayor que los atletas de resistencia, posiblemente debido a una mayor cantidad de fibras musculares de contracción rápida.

El DFBL ha sido estudiado en diversas manifestaciones de la fuerza (5,6,12,13). La mayor parte de los estudios realizados al respecto se han centrado, sobre todo, en la fuerza dinámica explosiva (6,7,11,13) y en la fuerza isométrica (4,9,10,14,15). Existe bastante evidencia de la existencia del DFBL durante contracciones explosivas (5,6,13). El déficit se manifiesta, además, durante dichas contracciones, frente a cualquier resistencia (6,13). En el caso de las contracciones isométricas las evidencias no son tan claras. Kuruganti et al. (9) estudiaron el DFBL durante contracciones isométricas a diferentes grados de extensión de rodilla (180°, 135° y 90°) y sólo apreciaron existencia de DFBL a los 45°. Buckthorpe et al.

(5) estudiaron el DFBL durante contracciones isométricas explosivas y encontraron resultados significativos en el DFBL a los 100 ms. del inicio de la contracción.

Conrwell et al. (10) estudiaron la relevancia de la dominancia lateral durante esfuerzos isométricos de flexión de mano. Los resultados que obtuvieron mostraban una reducción significativa de la fuerza aplicada por la mano dominante durante las contracciones BIL. Esto podría explicar uno de los posibles mecanismos del DFBL. En este mismo estudio se observó que los sujetos zurdos tenían un mayor DFBL que los sujetos diestros, aunque ambos mostraban un DFBL significativo.

También ha sido objeto de estudio la influencia de los estiramientos en el DFBL. Cengiz et al. (15) comprobaron que la realización de estiramientos estáticos previos a una contracción isométrica máxima, disminuye significativamente la fuerza de contracción y a la vez que aumenta el DFBL.

Aune et al. (4) compararon el DFBL de la flexión de hombro con el de la flexión de los dedos de la mano, con el fin de determinar si éste es mayor en las articulaciones proximales o en las distales. Los resultados que obtuvieron mostraron un mayor DFBL en la flexión de hombro que en la flexión de los dedos de la mano, por lo que parece ser que el DFBL afecta en mayor medida a las articulaciones proximales que a las distales en el tren superior.

Otro punto de estudio ha sido la influencia de la edad en el DFBL (14,16). Para ello, Vieluf et al. (16) compararon el DFBL de tres grupos diferentes de edad y comprobaron que éste era más pronunciado cuanto mayor era la edad de los sujetos.

Parece lógico pensar que el DFBL pudiera afectar al rendimiento deportivo al verse afectado el desempeño durante los movimientos BIL, aunque estos no sean realmente abundantes en la mayoría de disciplinas deportivas. Sin embargo, no existe una evidencia clara de que el DFBL afecte negativa o positivamente al rendimiento deportivo. A pesar de ello, numerosos estudios han tratado de discernir si el entrenamiento aumenta o reduce dicho déficit (7,14,16). Existe gran controversia sobre si el entrenamiento UNI, así como el entrenamiento BIL, contribuyen al aumento o la reducción del DFBL. Beurskens et al. (14) compararon el efecto de un programa de entrenamiento de fuerza de trece semanas, en el cual se utilizaron ejercicios BIL principalmente, con un programa de entrenamiento de equilibrio de la misma duración, en el cual se utilizaron principalmente ejercicios UNI en medios más o menos inestables. Los resultados muestran un aumento de la fuerza isométrica máxima en ambos grupos, tanto en las contracciones UNI como en las BIL, así como una reducción del DFBL también en ambos grupos. Otro estudio (7) comparó dos



programas de entrenamiento de fuerza. En uno de ellos se realizaron exclusivamente contracciones UNI, mientras que en el otro sólo se realizaron contracciones BIL. El grupo que entrenó exclusivamente de forma UNI aumentó significativamente su DFBL, mientras que el grupo que llevó a cabo el entrenamiento BIL lo redujo sustancialmente. Estos resultados sugieren que el entrenamiento de fuerza realizado de forma BIL puede reducir el DFBL.

Dado que el entrenamiento tiene la capacidad de reducir el DFBL, parece lógico pensar que un estado de desentrenamiento crónico pudiera tener el efecto contrario, aumentando dicho déficit. Sin embargo, Rejc et al. (11) estudiaron el efecto de un periodo de inactividad prolongado, manteniendo a los sujetos en una cama durante 35 días y comprobaron que no hubo cambios significativos, ni positivos ni negativos, en el DFBL durante contracciones explosivas. Por lo tanto, parece que el entrenamiento tiene una influencia más importante que la inactividad en el DFBL.

La mayoría de estudios que se pueden encontrar sobre el DFBL se centran principalmente en los miembros superiores (4,10,13,15) y muy pocos comparan éste déficit en miembros superiores e inferiores. Por otra parte, aquellos que miden el DFBL durante contracciones isométricas, lo hacen únicamente en una angulación concreta, lo cual puede suponer un problema ya que, como hemos mencionado anteriormente, la fuerza ejercida es específica del ángulo en el que se mide. Además, la mayoría utilizan medios isocinéticos o ergométricos.

## **2. Objetivos**

A la vista de lo expuesto anteriormente, los principales objetivos de nuestro estudio son los siguientes: comprobar la influencia que puede tener la angulación articular en el DFBL durante contracciones isométricas máximas. Estudiar el DFBL tanto en los miembros inferiores como en los superiores, comparando las principales articulaciones de cada uno (codo y rodilla). Realizar un estudio de la simetría, en fuerza isométrica máxima, entre el hemicuerpo izquierdo y el hemicuerpo derecho, en los miembros superiores e inferiores.

### 3. Metodología

#### 3.1. Participantes

Dieciséis hombres jóvenes, sanos y activos participaron en el estudio (edad media de  $23,5 \pm 6,5$  años). Los participantes practicaban deporte de forma recreacional o de forma federada a un nivel amateur, en ningún caso practicaban deporte a un alto nivel.

#### 3.2. Instrumentación

Para la fase experimental se utilizaron una máquina de extensión de cuádriceps (BH Fitness), para tomar las medidas del tren inferior, y una máquina de flexión de codo (Gerva-Sport) para las medidas del tren superior. Las mediciones de la fuerza isométrica máxima se realizaron mediante la utilización de una galga extensiométrica (Omega, M285291 500 kg), tal y como se muestra en la Figura 1, y un adquisidor de datos (Datalogger Omega, OM\_DAQPRO-5300). La medición de los ángulos articulares se llevó a cabo mediante la utilización de un goniómetro manual. Además se utilizaron una bicicleta estática (Tunturi) y unas mancuernas de 4 kg para el calentamiento de miembros inferiores y miembros superiores respectivamente.



**Figura 1.** Galga extensiométrica en el ejercicio de extensión de rodilla

### 3.3. Protocolo experimental

Los participantes tuvieron que acudir al laboratorio en dos ocasiones, cada una de las cuales tuvo una duración de cuarenta y cinco minutos. En la primera se realizó la parte de la evaluación correspondiente a los miembros inferiores y en la segunda ocasión se evaluaron los miembros superiores.

En la primera sesión se les administró un cuestionario sobre los antecedentes deportivos y de lesiones de cada uno, para asegurar así la homogeneidad de la muestra. Tras el cuestionario, los sujetos, realizaron en primer lugar un calentamiento de cinco minutos en bicicleta estática, de forma libre. Posteriormente, se les seleccionó aleatoriamente para el grupo que realizó, en cada ángulo medido, las contracciones BIL en primer lugar o para el grupo que realizó primero las contracciones UNI en cada uno de los ángulos. También se asignó aleatoriamente la pierna en la que se medirían en primer lugar las contracciones UNI en cada uno de los ángulos. Tras lo cual, realizaron el test propiamente dicho. Dicho test consistió en la realización de esfuerzos isométricos máximos de 4 segundos aproximadamente, en el ejercicio de extensión de rodilla. Se tomaron medidas de cuatro ángulos diferentes ( $90^\circ$ ,  $110^\circ$ ,  $130^\circ$  y  $150^\circ$  de extensión de rodilla), en cada uno de los cuales se realizaron seis mediciones, dos BIL, dos con la pierna izquierda y dos con la derecha (Figura 2), con un minuto de descanso entre ellas. Por lo tanto, se realizó un total de veinticuatro repeticiones. Los sujetos estaban fijados al asiento mediante una correa a la altura de la pelvis, con el fin de que no pudieran despegarse del asiento durante la aplicación de la fuerza, lo cual modificaría el ángulo de la rodilla.



**Figura 2.** Ejecución del ejercicio de extensión de rodilla de forma bilateral y de forma unilateral

La segunda sesión transcurrió de forma similar a la primera. Los sujetos realizaron primeramente un calentamiento específico del gesto que se iba a medir a continuación, realizando dos series de diez repeticiones del ejercicio de flexión de codo con dos mancuernas de 4 kg cada una. Tras el calentamiento, fueron asignados nuevamente de forma aleatoria al grupo que comenzó realizando las contracciones BIL en primer lugar en cada uno de los ángulos o para el grupo que realizó primeramente las contracciones UNI en cada ángulo, así como el brazo con el que realizarían primero las contracciones UNI en cada ángulo. Una vez realizado el calentamiento y asignados a uno de los dos grupos, realizaron el test, el cual consistió nuevamente en la realización de veinticuatro contracciones isométricas máximas, esta vez en el ejercicio de flexión de codo en máquina (Figura 3). Realizaron también en esta ocasión seis repeticiones por ángulo (90°, 110°, 130° y 150° de extensión de codo), dos de ellas BIL, dos con el brazo izquierdo exclusivamente y dos con el derecho, separadas por un minuto de descanso entre ellas.



**Figura 3.** Ejercicio de flexión de codo

### **3.4. Análisis estadístico**

Todos los resultados fueron expresados como media y desviación estándar (DE). Para la comparación de los pares de datos para la simetría y para el DFBL, se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon, estableciéndose la significación estadística para una  $p < 0,05$ . El análisis de los datos se llevó a cabo mediante la utilización del programa estadístico SPSS.

## 4. Resultados

### 4.1. Asimetría

La primera cuestión considerada fue la posible asimetría entre el hemicuerpo derecho y el izquierdo. La media de los valores de fuerza isométrica máxima obtenidos en cada uno de los ángulos, con el brazo izquierdo y con el derecho, se muestran en la Tabla 1. Se encontraron diferencias significativas entre los dos brazos para los 90°, 110° y 130° de extensión de codo. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los dos brazos a los 150° de extensión.

El coeficiente de variación (CV) también fue estudiado realizando una comparativa entre el brazo izquierdo y el brazo derecho, como se muestra en la Tabla 2, en la cual aparecen los valores medios para dicho coeficiente en cada uno de los ángulos estudiados (90°, 110°, 130°, 150°). No se observaron diferencias significativas entre ambos brazos para el CV para ninguno de los ángulos.

**Tabla 1.** Asimetría de los miembros superiores

Angulación	Flexores de codo	
	Derecho	izquierdo
	X ± DE (kg <sub>fz</sub> )	X ± DE (kg <sub>fz</sub> )
90°	49,8 ± 10,6	46,7 ± 10,4 *
110°	32,8 ± 8,0	30,1 ± 6,8 *
130°	22,4 ± 5,5	20,2 ± 4,0 *
150°	16,8 ± 4,6	15,3 ± 3,6

**Tabla 2.** Coeficiente de variación en los miembros superiores

Angulación	Flexores de codo	
	Derecho	izquierdo
	X ± DE (%)	X ± DE (%)
90°	4,8 ± 3,8	5,2 ± 3,7
110°	3,8 ± 3,9	6,1 ± 5,1
130°	3,3 ± 2,5	4,6 ± 3,2
150°	5,6 ± 3,7	5,9 ± 5,1

El mismo análisis se realizó para los miembros inferiores, comparando la fuerza máxima isométrica ejercida con la pierna derecha y con la pierna izquierda en cada uno de los ángulos. En la Tabla 3 se muestran los valores de la media en cada uno de los ángulos para los miembros inferiores. No se encontraron diferencias significativas en ninguno de los ángulos (90°, 110°,130°, 150°), para la fuerza máxima isométrica entre los hemicuerpos izquierdo y derecho del tren inferior.

Así mismo, también se llevó a cabo el análisis del CV para los miembros inferiores, comparando en cada uno de los ángulos las diferencias entre la pierna izquierda y la pierna derecha. La Tabla 4 muestra la media de los valores del CV para los diferentes ángulos de extensión de rodilla (90°, 110°,130°, 150°). Como se puede observar en la tabla, existen diferencias significativas entre los valores obtenidos con la pierna izquierda y la pierna derecha para los 130° de extensión.

**Tabla 3.** Asimetría de los miembros inferiores

	Extensores de rodilla	
	Derecha	izquierda
Angulación	X ± DE (kg <sub>fz</sub> )	X ± DE (kg <sub>fz</sub> )
90°	91,4 ± 14,1	91,7 ± 19,4
110°	82,7 ± 14,0	80,4 ± 17,0
130°	68,5 ± 11,8	68,2 ± 13,8
150°	54,6 ± 10,9	54,2 ± 12,8

**Tabla 4.** Coeficiente de variación en los miembros inferiores

	Extensores de rodilla	
	Derecho	izquierdo
Angulación	X ± DE (%)	X ± DE (%)
90°	2,5 ± 2,0	2,8 ± 2,0
110°	4,2 ± 3,9	5,2 ± 4,8
130°	4,9 ± 2,5	3,4 ± 1,4 *
150°	6,2 ± 4,0	5,0 ± 3,3

## 4.2. Déficit bilateral

Otra de las principales cuestiones consideradas como objeto de estudio fue la existencia o no de un DFBL y si éste dependía de la angulación articular en la cual se ejerce la fuerza. La Tabla 5 muestra la media de los valores obtenidos de forma BIL en cada uno de los ángulos, comparándolos con los valores resultantes de la suma de las contracciones UNI realizadas con el brazo izquierdo y con el brazo derecho. Como se puede observar, los valores medios correspondientes a la suma de las contracciones UNI de ambas extremidades por separado son significativamente mayores que los valores obtenidos de forma BIL para todos los ángulos. Por lo tanto, existe un DFBL en el tren superior durante contracciones isométricas máximas de flexión de codo, independientemente del ángulo en el que se realice la medición.

**Tabla 5.** Déficit de fuerzas bilateral de los miembros superiores

Angulación	Flexores de codo	
	Bilateral	lzd + dch
	X ± DE (kg <sub>fz</sub> )	X ± DE (kg <sub>fz</sub> )
90°	81,6 ± 23,8	96,5 ± 20,1 *
110°	54,8 ± 13,3	62,9 ± 14,6 *
130°	38,9 ± 8,5	42,5 ± 9,2 *
150°	29,3 ± 7,0	32,1 ± 7,4 *

En cuanto a los miembros inferiores, los resultados, mostrados en la Tabla 6, son similares a los miembros superiores. La suma de las contracciones UNI realizadas con la pierna izquierda y con la pierna derecha por separado, son significativamente superiores a los valores de las contracciones realizadas de forma BIL para todos los ángulos. Por lo tanto, existe DFBL durante contracciones isométricas máximas de extensión de rodilla para todos los ángulos medidos.



**Tabla 6.** Déficit de fuerzas bilateral de los miembros inferiores

Angulación	Extensores de rodilla	
	Bilateral	lzd + dch
	X ± DE (kg <sub>fz</sub> )	X ± DE (kg <sub>fz</sub> )
90°	172,6 ± 32,7	183,1 ± 32,3 *
110°	148,9 ± 29,9	163,1 ± 30,4 *
130°	121,6 ± 24,3	136,6 ± 25,1 *
150°	96,1 ± 19,8	108,7 ± 23,0 *

## 5. Discusión

El objetivo principal del presente estudio fue comprobar la existencia o no del DFBL y su relación con la angulación articular durante contracciones isométricas máximas. A pesar de que dicho déficit ya se había estudiado en la fuerza isométrica, pocos artículos lo hacen en diferentes posiciones de una misma articulación. La mayoría de ellos estudian la fuerza isométrica en una sola angulación articular (4,5,14). Aunque la mayor parte de estos estudios concuerdan con nuestros resultados, ya que evidencian la existencia del DFBL, en nuestro caso dicha evidencia es más representativa de todo el rango articular, tanto en la flexión de codo como en la extensión de rodilla.

Kuruganti et al. (9) estudiaron la fuerza isométrica máxima en el ejercicio de extensión de cuádriceps, comparando tres angulaciones distintas (180°, 135° y 90° de flexión de rodilla) y tan sólo encontraron evidencias de la existencia del DFBL a los 45° de flexión. Estos resultados contrastan con los obtenidos en nuestro estudio, ya que nosotros hemos observado que el DFBL aparece en todos los ángulos medidos (90°, 110°, 130°, 150° de extensión de rodilla) para ese mismo ejercicio, incluidos los 90°. Si bien, es cierto que en nuestro estudio no se miden los 180° de extensión.

Algunos de los estudios realizados con anterioridad, no encuentran evidencias de la existencia del DFBL (8,9). Esto contrasta notablemente con nuestros resultados, ya que hemos encontrado diferencias significativas entre la fuerza ejercida de forma BIL y la fuerza total ejercida de forma UNI, es decir, sumando las contracciones UNI de ambos brazos o ambas piernas por separado, siendo esta última notablemente superior a la primera.

Existen multitud de estudios que, por el contrario, si evidencian la existencia del DFBL (4-7). Buckthorpe et al. (5) estudiaron el DFBL durante contracciones isométricas explosivas de los extensores de rodilla y encontraron evidencia de dicho déficit a los 100 ms. del inicio de la contracción. Sin embargo, no observaron existencia del DFBL para tiempos de aplicación de la fuerza menores o mayores (50 ms y 150 ms). En nuestro estudio realizamos mediciones de fuerza máxima isométrica en los extensores de rodilla, al igual que en el estudio mencionado, con tiempos de aplicación de la fuerza de cuatro segundos, obteniendo evidencias claras de la existencia del DFBL. Quizás esto contraste con el estudio de Buckthorpe et al. (5) debido a la gran diferencia entre los tiempos de aplicación de la fuerza, los cuales son muy superiores en nuestro estudio.

Además de la existencia de un DFBL durante contracciones isométricas máximas observada en nuestro estudio, numerosos trabajos han evidenciado la existencia de dicho déficit en otras manifestaciones de fuerza (5-7,11-13).

Otro punto de interés puede ser si el DFBL se manifiesta de igual manera en todas las articulaciones, en todos los movimientos, o si aparece de igual manera en los miembros superiores que en los inferiores. Aune et al. (4) compararon el DFBL en las articulaciones proximales y distales de los miembros superiores. Los resultados que obtuvieron mostraron un mayor DFBL en las articulaciones proximales en comparación con las distales, aunque tan sólo realizaron esta comparación en los miembros superiores. En nuestro caso pudimos comprobar que el DFBL aparece tanto en los miembros superiores como en los inferiores, lo cual presenta gran interés ya que no existen apenas estudios que hayan comparado miembros superiores con miembros inferiores.

Otro estudio muestra como el DFBL aparece también en acciones de salto, como puede ser un salto en profundidad (drop jump) (12), sobre todo en deportistas de potencia. Por lo tanto, parece ser que el DFBL aparece tanto en acciones con grandes tiempos de aplicación de la fuerza, como es el caso de nuestro estudio, como en acciones con tiempos muy reducidos de aplicación de la fuerza como es el caso de un salto en profundidad (acción pliométrica). Esto puede ser de gran interés, ya que parece que el DFBL puede tener implicaciones en diferentes tipos de disciplinas deportivas, pudiendo condicionar la elección de los medios y métodos de entrenamiento.

Por otro lado, Cornwell et al. (10) estudiaron la influencia de la dominancia lateral en el DFBL. Encontraron que, aunque el déficit aparecía tanto en personas diestras como en personas zurdas, éste se manifestaba en mayor medida en las personas zurdas. En nuestro estudio hemos realizado una comparativa de la fuerza máxima de las extremidades del hemicuerpo izquierdo y del hemicuerpo derecho, encontrando diferencias significativas, en los miembros superiores, entre la fuerza de ambos hemicuerpos, siendo la fuerza del brazo izquierdo significativamente menor. El motivo de estas diferencias seguramente se deba a una mayor proporción de sujetos diestros en comparación con los zurdos. Es posible que los sujetos zurdos muestren menos diferencias entre la fuerza UNI de ambos brazos y, por lo tanto, mayor DFBL.

Algunos estudios han estudiado la influencia de la edad en el DFBL (14,16), evidenciando que dicho déficit es más pronunciado cuanto mayor es la edad de los sujetos. Sin embargo, también han observado como el DFBL aparece en todos los rangos de edad.

Esto concuerda con nuestro estudio ya que, nuestros sujetos, a pesar de ser jóvenes, presentan niveles significativos de DFBL.

Parece ser que el entrenamiento, sobre todo el entrenamiento de fuerza bilateral, tiende a reducir los niveles de DFBL (7,14). Sin embargo, nuestros sujetos, a pesar de ser físicamente activos, presentan niveles significativos de DFBL. Por otro lado, Rejc et al. (11) observaron como un periodo de inactividad prolongada no parece afectar al DFBL ni positiva ni negativamente. Con lo cual, podemos interpretar que las reducciones del DFBL obtenidas con el entrenamiento no se pierden una vez que cesa éste.

## **6. Limitaciones**

Una de las posibles limitaciones de nuestro estudio es el tamaño reducido de la muestra, siendo necesaria mucha homogeneidad entre los participantes y, por lo tanto, no siendo extrapolables los resultados a diferentes tipos de población.

Por otra parte, en el ejercicio de flexión de codo, al realizarse de forma UNI, existe una rotación de hombro que provoca un desplazamiento del segmento del antebrazo en el plano transversal, lo cual podría afectar al ángulo articular y, por lo tanto, a los resultados.

## **7. Estudios futuros**

Posibles estudios futuros podrían contemplar la medición del DFBL en contracciones isométricas máximas con una muestra mayor, realizando el estudio con mujeres u otros grupos de edad. Otra posibilidad sería realizar una comparativa de dicho déficit entre personas deportistas y personas sedentarias. También podría realizarse con diferentes manifestaciones de la fuerza, como la fuerza dinámica o la fuerza explosiva.

## 8. Conclusiones

La existencia del DFBL durante contracciones isométricas máximas de extensión de rodilla y de flexión de codo fue examinada en hombres jóvenes, sanos y activos. A la luz de los resultados, podemos concluir la existencia de este déficit durante contracciones isométricas máximas en ambos hemisferios corporales, independientemente de la angulación articular de codo y rodilla. Se estudió también la asimetría en la fuerza isométrica máxima entre las extremidades del hemicuerpo derecho y el hemicuerpo izquierdo tanto del tren superior como del tren inferior. Existen diferencias significativas entre la fuerza isométrica máxima del brazo derecho y del brazo izquierdo para todos los ángulos de extensión de codo hasta los 130°, siendo mayor la fuerza del brazo derecho. A partir de los 130° no existe asimetría. No existe, en cambio, asimetría en la fuerza máxima isométrica entre ambos hemicuerpos del tren inferior.

## 9. Bibliografía

1. **Tous J.** Entrenamiento de la fuerza en los deportes colectivos. Máster profesional en alto rendimiento en deportes de equipo. Ed. Mastercede. Barcelona. 2007.
2. **Badillo JJ, Gorostiaga E.** Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo. Ed. Inde. Madrid. 2002.
3. **Kraemer WJ, Ratamess NA.** Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2004; 36(4): 674-688.
4. **Aune TK, Aune MA, Ettema G, Vereijken B.** Comparison of bilateral force deficit in proximal and distal joints in upper extremities. *Human Movement Science* 2013; 32(3): 436-444.
5. **Buckthorpe MW, Pain MT, Folland JP.** Bilateral deficit in explosive force production is not caused by changes in agonist neural drive. *Plos One* 2013; 8(3): e57549.
6. **Rejc E, Lazzer S, Antonutto G, Isola M, Di Prampero PE.** Bilateral deficit and EMG activity during explosive lower limb contractions against different overloads. *European Journal of Applied Physiology* 2010; 108(1): 157-165.
7. **Taniguchi Y.** Relationship between the modifications of bilateral deficit in upper and lower limbs by resistance training in humans. *European Journal of Applied Physiology* 1998; 78(3): 226-230.
8. **Häkkinen K, Kraemer WJ, Newton RU.** Muscle activation and force production during bilateral and unilateral concentric and isometric contractions of the knee extensors in men and women at different ages. *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 1996; 37(3): 131-142.
9. **Kuruganti U, Murphy T, Pardy T.** Bilateral deficit phenomenon and the role of antagonist muscle activity during maximal isometric knee extensions in young, athletic men. *European Journal of Applied Physiology* 2011; 111(7): 1533-1539.
10. **Cornwell A, Khodiguian N, Yoo EJ.** Relevance of hand dominance to the bilateral deficit phenomenon. *European Journal of Applied Physiology* 2012; 112(12): 4163-4172.
11. **Rejc E, Di Prampero PE, Lazzer S, Grassi B, Simunic B, Pisot R, Antonutto G, Narici M.** A 35-day bed rest does not alter the bilateral deficit of the lower limbs during explosive efforts. *European Journal of Applied Physiology* 2015; 115(6): 1323-1330.
12. **Pain MT.** Considerations for single and double leg drop jumps: bilateral deficit, standardizing drop height, and equalizing training load. *Journal of Applied Biomechanics* 2014; 30: 722-727.



13. **Samozino P, Rejc E, Di Prampero PE, Belli A, Morin JB.** Force–velocity properties' contribution to bilateral deficit during ballistic push-off. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2014; 46(1): 107-114.
14. **Beurskens R, Gollhofer A, Muehlbauer T, Cardinale M, Granacher U.** Effects of heavy-resistance strength and balance training on unilateral and bilateral leg strength performance in old adults. *Plos One* 2015; 10(2): e0118535.
15. **Cengiz A.** EMG and peak force responses to PNF stretching and the relationship between stretching-induced force deficits and bilateral deficits. *Journal of Physical Therapy Science* 2015; 27(3): 631-634.
16. **Vieluf S, Godde B, Reuter EM, Voelcker-Rehage C.** Effects of age and fine motor expertise on the bilateral deficit in force initiation. *Experimental Brain Research* 2013; 231(1): 107-116.