



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA DE LA SALUD

Programa de Doctorado en Psicología de la Salud

CARACTERÍSTICAS DE TEST PARA LA VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MUSCULATURA DEL TRONCO

Tesis doctoral

Presentada por

CASTO JUAN RECIO

Elche, 2017



El Dr. D. Juan Carlos Marzo Campos, director del Departamento de Psicología de la Salud de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

AUTORIZA:

Que el trabajo de investigación titulado: “CARACTERÍSTICAS DE TEST PARA LA VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MUSCULATURA DEL TRONCO” realizado por D. Casto Juan Recio bajo la dirección de Dr. D. Francisco José Vera García sea depositado en el departamento y posteriormente defendido como Tesis Doctoral en esta Universidad ante el tribunal correspondiente.

Lo que firmo para los efectos oportunos en

Elche a 18 de Febrero de 2017

Fdo.: Juan Carlos Marzo Campos

Director del Departamento de Psicología de la Salud

Universidad Miguel Hernández de Elche

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Departamento: Psicología de la Salud

Programa de Doctorado: Psicología de la Salud

Título de la Tesis

**CARACTERÍSTICAS DE TEST PARA LA VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA
DE LA MUSCULATURA DEL TRONCO**

Tesis Doctoral presentada por:

D. Casto Juan Recio

Dirigida por el Dr. D. Francisco José Vera García

El Director

El Doctorando

Elche, febrero de 2017

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA DE LA SALUD

Programa de Doctorado en Psicología de la Salud

**Características de test para
la valoración de la
resistencia de la
musculatura del tronco**

Tesis doctoral

Presentada por

CASTO JUAN RECIO

Director:

Dr. D. Francisco José Vera García

Elche, 2017



*A mis padres, por su apoyo incondicional
durante todo mis estudios.*

AGRADECIMIENTOS

Si tuviera que definirme como deportista, no diría que soy triatleta, maratoniano, ni siquiera corredor de montaña; yo soy montañero... Es por ello, que para escribir este apartado de agradecimientos me van a permitir hacer una analogía entre lo que supone escribir una Tesis y realizar una *expedición* a una montaña de 8000 m, incluyendo a todos sus protagonistas. Ambas cosas, pueden suponer un sueño y un gran desafío en un momento de la vida.

Para ascender una montaña de 8000 m se necesita un campamento base (CB) donde prepararte antes de alcanzar la cima. Así mismo, para escribir una Tesis, se necesita un centro donde poder formarte y trabajar para ir desarrollando las investigaciones que darán lugar a la Tesis. En este sentido, me siento muy orgulloso de haber desarrollado mi trabajo en el Centro de Investigación del Deporte (CID) de la UMH. La verdad es que me he sentido como en mi casa (aunque esto, en algunas ocasiones, no sabría si calificarlo como bueno o malo). Posteriormente, se necesita ir ascendiendo poco a poco, para conseguir una buena aclimatación, alcanzando e instalando los diferentes campos de altura antes de hacer el ataque a la cima. Igualmente, para realizar una Tesis, es necesario ir desarrollando poco a poco los diferentes estudios que la integrarán, para ir adquiriendo la formación y experiencia necesaria antes de afrontar la lectura y defensa de la Tesis. Ambos desafíos requieren de un gran número de personas a tu alrededor para llevarlos a cabo. Sinceramente, estoy muy agradecido al gran equipo de profesionales que forman el CID. Ellos y la montaña me han enseñado que resulta mucho más sencillo realizar una Tesis o alcanzar la cima en una gran *expedición* si existe un gran compañerismo y se trabaja en equipo. Sin duda alguna, ese famoso “modelo” del CID que me vendieron cuando empecé a trabajar aquí y que no existe en otros centros o universidades, nos hace muy muy fuertes, imparables para alcanzar todos nuestros retos.

Gracias a todos mis compañeros de licenciatura y de *expedición*, especialmente a Tomás, Sarabia, Hector y Alberto. Compartimos muy buenos momentos durante la carrera (y alguna cosa

más en los exámenes), cuando realizar una Tesis o una *expedición* era solo un sueño muy lejano todavía. Con ellos empezó todo...y aquí seguimos algunos, luchando para alcanzar nuestros retos, nuestras cimas personales. Siempre tendréis un lugar especial reservado en mi corazón.

Muchas gracias al trio extremeño, a Rafa Sabido, pues detrás de ese gran profesional se encuentra una gran persona, a Carla, siempre dispuesta a ayudar sin perder esa pedazo de sonrisa... eres la alegría del CID y a David Barbado, el gerente de BIOMECH, siempre trabajando o entrenando, pero siempre dispuesto a echarte una mano. Que habría sido de muchos de los doctorandos sin tus conocimientos y tu ayuda. Compañero de asignatura y amigo, gracias por tus ánimos durante el duro y largo camino a la cima. Ha sido un placer inocular en ti, el veneno por las actividades en la naturaleza. Será un placer compartir contigo en un futuro, tantas *expediciones* como investigaciones aquí en el CID.

Todo centro de investigación o *expedición de montaña* necesita de un buen director, un jefe que sepa coordinar a ese gran número de personas que la integran... Gracias Eduardo por hacer el proyecto del CID una realidad y sobre todo por hacerme participe de él. Sin duda alguna, serías un *gran jefe de expedición*. Quiero agradecer a una persona que resulta de vital importancia, tanto en el CID, como en la *expedición*, el encargado de que todo el material esté en condiciones, de solucionar todos los problemas técnicos, el que te acompañaría a la cima para hacerte la foto y dejar constancia de ese bonito recuerdo. Desgraciadamente, no puedo decir el nombre, porque os tendría que "matar" a todos, pero algunos lo llaman JP.

De la misma forma que un centro de investigación está integrado por diferentes laboratorios donde llevar a cabo las diferentes investigaciones, en el CB de una montaña de 8000 m conviven diferentes grupos de *expedición*.

Gracias a Juan Antonio Moreno, director del *grupo de expedición de comportamiento motor* por confiar en mí sin apenas conocerme, por brindarme la primera oportunidad aquí en el CID, por

enseñarme tanto y sacar lo mejor de mí durante esos 7 meses que duró nuestra *expedición*. Gracias a Celes, compartir mi primer año de docencia contigo fue un placer, que bien me lo pasé!!!. Sin duda, una de las personas más eficientes del CID, algo que despierta toda mi admiración al no ser precisamente una de mis virtudes, a Carlos Montero, un “luchador noble”, a Vicente Beltrán por sus hermosos “marcos teóricos”, a David Gonzalez por mantener viva siempre esa motivación, imprescindible para acometer una Tesis o una ascensión a una montaña de 8000 m.

Gracias a Manolo Moya, director del *grupo de expedición de entrenamiento*, por compartir tu sabiduría con aquellos estudiantes y *montañeros noveles* que aspiraban algún día a realizar una Tesis o subir una gran montaña. Gracias Fito, tu prudencia y sensatez es fundamental en montaña y también tus chistes malos, para esos momentos duros y difíciles que se van sucediendo durante la Tesis o la ascensión. Gracias Raúl López, por compartir conmigo esos largos entrenamientos corriendo y en bici y por aportar esa “energía e hidratación” extra, necesarias para alcanzar el éxito en la *expedición*. Competir a tu lado fue un gran honor y motivación para mí. Gracias Diego Pastor, oír tus risas en la lejanía aporta vitalidad al centro y a la *expedición*. Gracias Jaime... se nos ha ido un gran *expedicionario* del CID. Muchísima suerte en tu camino a la cima por esas montañas que tanto me gustan.

Gracias a Francis Moreno, director del *grupo de expedición de control motor*, gran investigador, mejor persona y un buen *expedicionario* siempre dispuesto a explorar nuevos retos como es la gestión de un vicerrectorado. Lo tienes todo para ser un genio, hasta las excentricidades. Gracias Raúl Reina por darme esa segunda oportunidad en el CID. Y aunque es imposible estar a la altura de tu capacidad de trabajo, me quedé con la sensación que esperabas algo más de mí. Espero poder sacarme esa espinita algún día. Siento que te debo una, amigo... Desde luego, si pusieras todo el empeño y esfuerzo que pones en el trabajo, en subir montañas, formarías parte de ese grupo elitista que han completado los 14 ochomiles del planeta. Gracias Manolo Peláez, tu “don de gentes” es mi envidia, gracias Javi Piñera, siempre dispuesto para echar una mano en lo que sea.

He dejado para el último, mi *grupo de expedición de biomecánica y salud*, con el que he emprendido esta aventura de hacer la Tesis y alcanzar la cima. Agradecer de todo corazón al director de este grupo y mi director de Tesis, el doctor y gran *expedicionario* Fran Vera por su dedicación, por compartir sus conocimientos y hasta su “familia” canadiense. A nivel profesional, como doctorando, no puedo sentirme más orgulloso. He realizado mi Tesis y compartido mi *expedición* con uno de los *alpinistas* más reconocidos a nivel mundial en su área. ¿Qué más se puede pedir a un director de Tesis? Que sea muy buena persona, que sea comprensivo, que sea empático, que tenga paciencia, que confíe en ti, que tenga sentido del humor, que sea respetuoso, que sea honesto...??? Todo eso y mucho más es Fran. Muchas gracias por reconocer mis virtudes en ocasiones, pero sobre todo por respetar mis defectos. Para mí, eres más que un director de tesis, eres un ejemplo a seguir, un maestro. De mayor, me gustaría ser como tu... (ah no, si ya soy igual de mayor que tu... que buena cosecha la del 72!!!). Muchas gracias a Jose Luis López... no he conocido a nadie que sea capaz de decir y aportar tanto, con tan pocas palabras. Tus mensajes y tu sabiduría son muy valiosos en este grupo. Gracias a todos los integrantes de este grupo, Diego, Belen, Pedro, Victor por aportar vuestro *copito de nieve* en esta *expedición*, a Fran Ayala, gran investigador, por compartir tus conocimientos de estadística conmigo y darle ese “puntito extra” de calidad a la Tesis y a la *expedición*. Ser un BIOMECH es un sentimiento. Gracias a Alejandro López, siempre intentando mejorar a nivel personal, un ejemplo de esfuerzo y constancia y a Iñaki, ese vasco que nos llegó con sus rastas, todo un ejemplo en cuanto a valores, eso que tanto nos falta a la sociedad de hoy en día. Y como yo soy un “piratilla”, mi más sincera admiración y respeto. Compañero de asignatura, espero seguir compartiendo investigaciones y *expediciones* contigo durante mucho tiempo. No me he olvidado de ti, Mari Pili, la chica de nuestra *expedición*. Nos acordamos y te queremos mucho más de lo que tú te piensas. Gracias por tu apoyo y tú inestimable ayuda, especialmente en el camino final hacia la cima.

Para finalizar, he dejado a las personas que aunque no participan de forma directa en la Tesis o en la *expedición*, son quizás las más importantes, las que ocupan un lugar muy importante a nivel emocional, las que vienen a verte a la lectura de la Tesis, a despedirte al aeropuerto cuando te vas de *expedición*. Mi más profundo agradecimiento a mis padres, por estar siempre ahí, ayudándome y apoyándome en todo lo que necesitaba, por ofrecerme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria, aunque yo no lo aprovechara en su tiempo. Quien nos iba a decir a los tres, que el “niño”, ese adolescente rebelde, difícil, al que siempre le faltaba noche en las fiestas (bueno... noche, día y fin de semana) iba a aspirar un día a ser doctor o a subir una montaña de 8000 m. Muchas gracias también por inculcarme ese amor por la naturaleza. Gracias a María Eugenia (mi “chiqui”) por quererme y cuidarme tanto durante los años que compartimos juntos. Has sido y serás una de las personas más importantes en mi vida, quien ha sufrido mucho del trabajo que supone hacer una tesis o preparar una *expedición*. Dicen que la vida, te devuelve lo que tú le das... y tú le has dado muchísimo... no te desanimes y paciencia. Espero que pronto puedas disfrutar de eso que tanto deseas, ser madre. Que afortunado será ese niño!!!

Finalmente, en la lectura y defensa de una Tesis, parece que es el doctorando, el único que alcanza la gloria, al igual que pasa a veces en una *expedición*, donde solo se recuerda a los integrantes que consiguen subir la montaña. Pero todos los investigadores y montañeros sabemos que el éxito es de todos, porque sin ese granito de arena de cada uno, sería imposible realizar la Tesis y alcanzar la cima. Así que, esta Tesis y esta cima, también es vuestra.

Dar el paso, significa que por unos instantes perderás el equilibrio.

No darlo, significa asumir que nunca dejarás una huella.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Introducción general	3
1.2 Relación de la resistencia de la musculatura del tronco con el síndrome del dolor lumbar y el rendimiento deportivo	5
1.3 Valoración de la resistencia muscular del tronco	7
1.3.1 Test de campo para la valoración de la resistencia muscular del tronco	8
1.3.2 Test de laboratorio mediante dinamometría isocinética para la valoración de la musculatura del tronco.....	12
1.3.3 Fiabilidad y validez de los test para la valoración de la resistencia de la musculatura del tronco.....	13
1.3.4 Criterios para la selección de los protocolos de la función muscular del tronco	17
1.3.5 La utilización de los test de campo en estudios experimentales para mejorar la resistencia de la musculatura del tronco.....	19
1.4 Especificación de los problemas de investigación y propuestas de intervención	22

CAPÍTULO 2

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	27
2.1 Objetivo general	27
2.2 Objetivos específicos.....	28
2.3 Hipótesis.....	29

CAPÍTULO 3

3. Resumen.....	35
3.1 Método.....	36
3.1.1 Participantes	36
3.1.2 Diseño	36
3.1.3 Descripción de los test de resistencia de la musculatura del tronco	37
3.1.4 Procedimiento	41
3.1.5 Análisis estadístico.....	41
3.2 Resultados.....	44
3.3 Discusión	58

3.3.1 Conclusiones	64
--------------------------	----

CAPÍTULO 4

4. Resumen.....	67
4.1 Método.....	68
4.1.1 Participantes	68
4.1.2 Procedimiento	70
4.1.3 Análisis estadístico.....	70
4.2 Resultados.....	73
4.3 Discusión	75
4.3.1 Conclusiones	79

CAPÍTULO 5

5. Resumen.....	83
5.1 Método.....	84
5.1.1 Participantes	84
5.1.2 Procedimiento	84
5.1.3 Análisis estadístico.....	89
5.2 Resultados.....	91
5.3 Discusión	94
5.3.1 Aplicaciones prácticas.....	99

CAPÍTULO 6

6. Resumen.....	103
6.1 Método.....	104
6.1.1 Participantes	104
6.1.2 Procedimiento	105
6.1.3 Descripción del protocolo para la valoración de la musculatura del tronco	106
6.1.4 Entrenamiento	108
6.1.5 Análisis estadístico.....	109
6.2 Resultados.....	111
6.3 Discusión	114
6.3.1 Conclusiones	117

CAPÍTULO 7

7. EPILOGO.....	121
7.1 Conclusiones.....	121
7.2 Limitaciones y perspectivas de investigación	124
REFERENCIAS.....	129



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estadísticos descriptivos y fiabilidad absoluta y relativa del Ito test (IT), Biering-Sorensen test (BST) y Side Bridge test (SBT) por sexo.

Tabla 2: Estadísticos descriptivos y fiabilidad absoluta y relativa de las variables antropométricas.

Tabla 3: Correlaciones entre las variables antropométricas, el Ito test (IT), el Biering-Sorensen test (BST) y el Side Bridge test (SBT) por sexo.

Tabla 4: Parámetros de los modelos de regresión para el Ito test (IT), el Biering-Sorensen test (BST) y el Side Bridge test (SBT) por sexo.

Tabla 5: Características descriptivas de los participantes por edad y sexo.

Tabla 6: Medias (\pm desviación estándar) y valores de referencia por percentiles para el Bench Trunk Curl test.

Tabla 7: Datos de fiabilidad absoluta y relativa del Bench Trunk Curl test.

Tabla 8: Estadísticos descriptivos y fiabilidad relativa y absoluta del Flexion-Rotation Trunk test (FRT test) y el Biering-Sorensen test (BST) y las variables de fuerza y resistencia del test isocinético.

Tabla 9: Correlaciones entre los resultados del Biering-Sorensen test (BST) y el Flexion-Rotation Trunk test (FRT test) y las variables de resistencia del test isocinético.

Tabla 10: Correlaciones entre los resultados del Biering-Sorensen test (BST) y el Flexion-Rotation Trunk test (FRT test) y las variables de fuerza del test isocinético.

Tabla 11: Características antropométricas (medias \pm desviación estándar) de los participantes por grupo y sexo.

Tabla 12: Valores descriptivos e inferencia cualitativa de los cambios producidos en la resistencia abdominal tras el programa de ejercicios abdominales.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Participante ejecutando el Biering-Sorensen test. Antes y después del test, los participantes apoyaban la parte superior del cuerpo sobre un banco para evitar la fatiga muscular.

Figura 2: Participante ejecutando el Ito test: A) posición inicial; B) posición de encorvamiento del tronco.

Figura 3: Participante ejecutando el Side-Bridge test.

Figura 4: Relación entre la masa del cuerpo y los resultados del Ito test (IT) en hombres: A) después de la transformación logarítmica; B) después de la normalización alométrica.

Figura 5: Relación entre el diámetro biacromial y los resultados del Ito test (IT) en mujeres: A) después de la transformación logarítmica; B) después de la normalización alométrica.

Figura 6: Relación entre el diámetro biacromial y los resultados del Biering-Sorensen test (BST) en hombres: A) después de la transformación logarítmica; B) después de la normalización alométrica.

Figura 7: Relación entre la masa y diámetro biacromial y los resultados del Side Bridge test (SBT) en hombres: A) después de la transformación logarítmica; B) después de la normalización alométrica.

Figura 8: Relación entre la longitud relativa de las extremidades inferiores (LREI) y los resultados del Side Bridge test (SBT) en mujeres: A) después de la transformación logarítmica; B) después de la normalización alométrica.

Figura 9: Vista lateral de un participante ejecutando el Bench Trunk Curl test: A) posición inicial; B) los antebrazos tocan los muslos tras el encorvamiento del tronco.

Figura 10: Número de repeticiones en el Bench Trunk Curl test por grupos de edad y sexo.
*Significación: $p < .05$.

Figura 11: Participante realizando un esfuerzo máximo de flexión-extensión del tronco en el dinamómetro isocinético. Rango de movimiento de 50°: -30° flexión del tronco; 0° posición inicial o de referencia; 20° extensión del tronco.

Figura 12: Curva fuerza-tiempo de una de las cuatro series (15 repeticiones) del test isocinético de un participante. Las tres primeras repeticiones (sombreadas) no fueron utilizadas en el análisis. Las repeticiones con un círculo rojo indican el máximo momento de fuerza (MM) generado por el participante en extensión y en flexión. Las repeticiones sombreadas con gris indican el trabajo máximo (WM) realizado por el participante en extensión y en flexión.

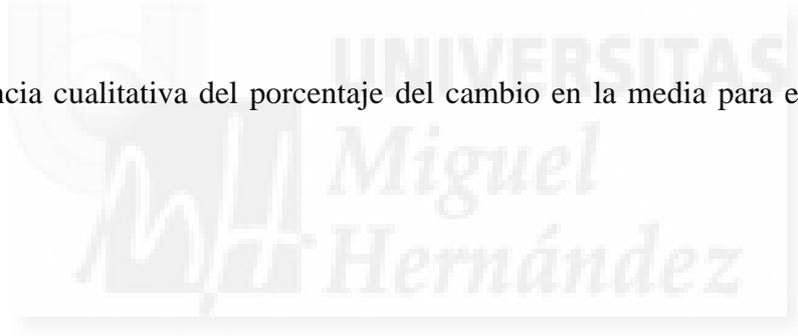
Figura 13: Vista lateral de la posición inicial (A) y la posición de flexo-rotación (B) durante una repetición del Flexion-Rotation Trunk test (B).

Figura 14: Vista lateral de un participante ejecutando el Bench Trunk Curl test: A) posición inicial; B) los antebrazos tocan los muslos durante la elevación del tronco. Como se puede observar en la figura, el participante levanta parte de la región lumbar de la esterilla con el propósito de tocar los muslos.

Figura 15: Vista lateral de un participante ejecutando el Bench Trunk Curl test modificado: A) posición inicial; B) los antebrazos tocan los muslos durante la elevación del tronco. El rango de movimiento fue limitado al rango normal de movimiento de un ejercicio de encorvamiento del tronco.

Figura 16: Cambios en los resultados del Bench Trunk Curl test entre la pre-evaluación (PRE) y la post-evaluación (POST) para todos los grupos. Las barras de error son las desviaciones estándar. Diferencias estadísticas * indica $POST > PRE$ con $p \leq .001$; † indica mayor que grupo control con $p \leq .05$.

Figura 17: Inferencia cualitativa del porcentaje del cambio en la media para el Bench Trunk Curl test.



GLOSARIO DE ABREVIATURAS

ANOVA: Análisis de la varianza

BST: Biering-Sorensen test

BTC: Bench Trunk Curl

CCI: Coeficiente de correlación intraclase

CM: Cambio en la media.

DE: desviación estándar

d/s: día por semana

EEM: Error estándar de medida

ET: Error típico

ET_{EST}: Error típico de la estimación

FRT test: Flexion-Rotation Trunk test

IT: Ito test

LC: Límites de confianza

LREI: Longitud relativa de las extremidades inferiores

MCD: Mínimo cambio detectable

MM: Máximo momento de fuerza

MMR: Máximo momento de fuerza relativo

Reps: Repeticiones

PT: Plank test

SBT: Side Bridge test

SDL: Síndrome del dolor lumbar

W: Trabajo

WM: Trabajo máximo

WMR: Trabajo máximo relativo

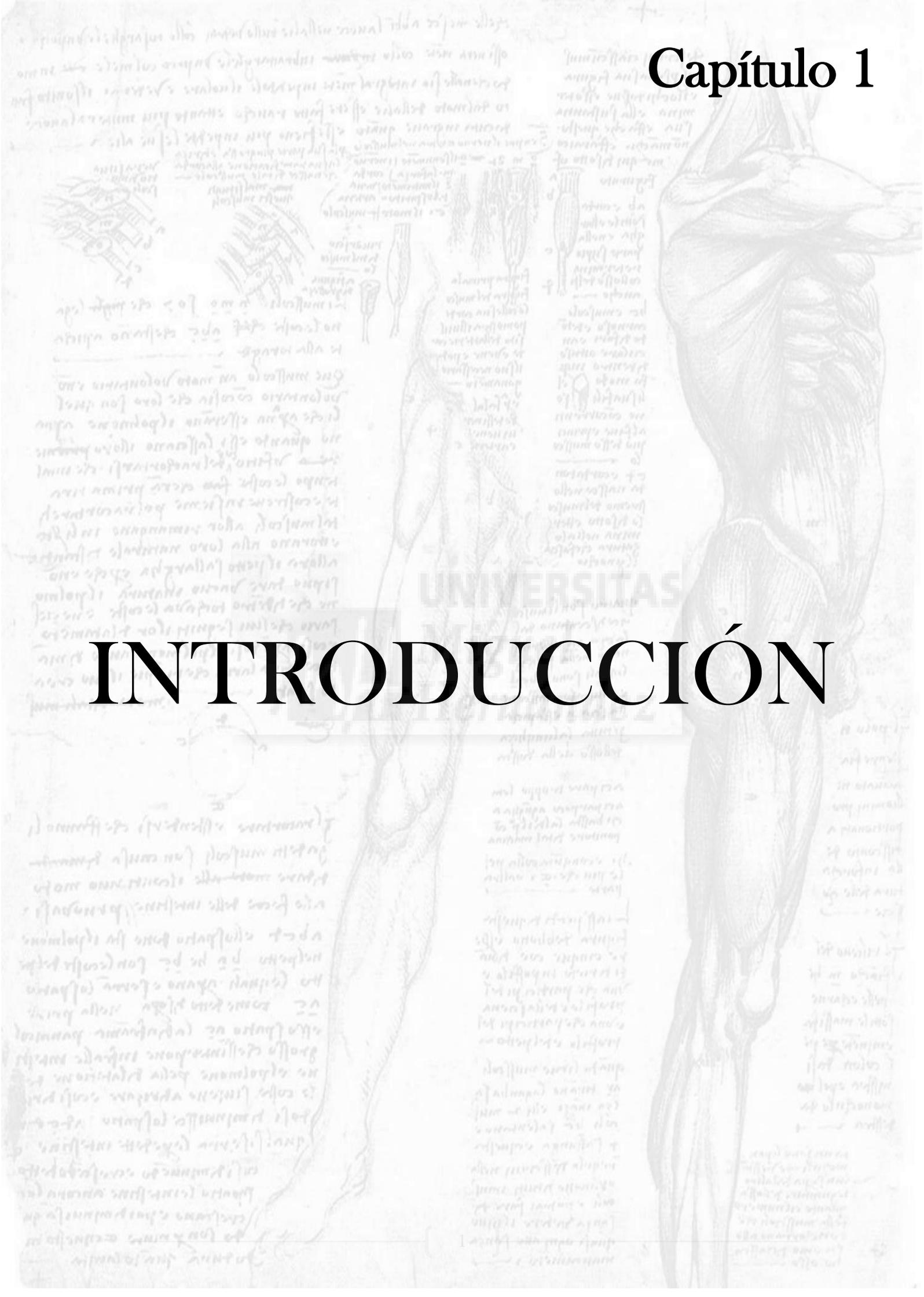
RESUMEN

La resistencia de la musculatura del tronco ha despertado el interés de los profesionales del deporte en los últimos años por su relación con la prevención y tratamiento de lesiones (principalmente del raquis lumbar), la mejora de la capacidad funcional y el rendimiento deportivo. Consecuentemente, se han desarrollado diversos protocolos para su valoración, especialmente test de campo, pero también protocolos basados en la dinamometría isocinética. Aunque son muchos los estudios que han analizado estos protocolos, no existe un conocimiento adecuado de algunas de sus características más relevantes, como por ejemplo: i) su fiabilidad absoluta y relativa; ii) el efecto de la repetición de los test, la edad, la antropometría o el sexo sobre los resultados de las pruebas; y iii) la utilidad de los protocolos para el control e individualización de la carga de entrenamiento en programas de ejercicios de tronco. Por todo ello, el objetivo general de esta Tesis Doctoral fue *analizar y describir diversas características de algunos de los test más representativos para la valoración de la resistencia de la musculatura del tronco*. Para lograr este objetivo se realizaron cuatro estudios, tres de ellos descriptivos y uno experimental. En los estudios descriptivos se analizaron varias de las características más importantes de los siguientes protocolos: *Biering-Sorensen test, Side Bridge test, Ito test, Bench Trunk Curl test, Flexion-Rotation Trunk test e Isokinetic Trunk Flexion-Extension protocol*. Los resultados de estos estudios muestran que los test analizados tienen una buena fiabilidad relativa, es decir, son capaces de discriminar correctamente entre sujetos de características similares (excepto las variables de resistencia isocinética, que presentaron una fiabilidad baja-moderada). Sin embargo, la fiabilidad absoluta de algunos test de campo podría cuestionar su uso en determinados contextos (por ejemplo en el alto rendimiento deportivo), por la dificultad para conocer con certeza si los cambios producidos en un deportista tras una intervención son reales o debidos a errores de la medida. Asimismo, el efecto de aprendizaje que muestran algunos test de campo parece indicar que son necesarios largos periodos de familiarización para eliminar el error sistemático y conseguir resultados más estables. El rendimiento en estos test

está influenciado por diversas características antropométricas, como la masa total y la masa de diferentes partes del cuerpo, así como por el sexo, ya que si bien los hombres mostraron mejores valores en el *Bench Trunk Curl test*, las mujeres obtuvieron mejores valores en el *Biering-Sorensen test*. Por otro lado, la edad no parece tener un efecto importante sobre el rendimiento en el *Bench Trunk Curl test* durante la adolescencia, ya que no se encontraron diferencias significativas entre los 14 y los 18 años. Finalmente, la ausencia de correlaciones significativas entre los resultados de varios de los protocolos de campo y laboratorio indica que éstos miden cualidades de los músculos del tronco que son diferentes entre sí, y por lo tanto, que es necesario prestar atención a la adecuada selección de aquel o aquellos protocolos que mejor se adapten a nuestros objetivos y necesidades. En relación con el estudio experimental, los resultados obtenidos mostraron la utilidad del *Bench Trunk Curl test* para individualizar y controlar la carga de entrenamiento en un programa estructurado de ejercicios de tronco, así como para detectar los cambios producidos en la resistencia abdominal en adolescentes sin experiencia previa en este tipo de programas. Una frecuencia de 1 día de entrenamiento a la semana fue suficiente estímulo para el desarrollo de la resistencia abdominal en esta población. En general, la información presentada en esta Tesis Doctoral puede ayudar a entrenadores, rehabilitadores, preparadores físicos y otros profesionales de la actividad física y el deporte a conocer las ventajas y limitaciones de los test analizados y, de este modo, a evaluar la función de los músculos del tronco de forma más adecuada.

Palabras clave: resistencia muscular, core, test de campo, dinamometría isocinética, fiabilidad, control de la carga.

INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción general.

La musculatura del tronco desempeña funciones muy importantes en el cuerpo humano, entre las que podemos destacar la prensa abdominal, la ventilación pulmonar (Campbell, 1952; Misuri et al., 1997), la excreción del contenido de vísceras abdominales y pelvianas (Ono, 1958), la realización de los movimientos de flexión, extensión, flexión lateral y rotación del tronco (Axler y McGill, 1997; Juker, McGill, Kropf y Steffen, 1998; McGill, 2002; Vera-Garcia, Moreside y McGill, 2011) y la estabilización de las estructuras vertebrales (Cholewicki, Panjabi y Khachatryan, 1997; McGill, Grenier, Kavcic y Cholewicki, 2003; Vera-Garcia, Brown, Gray y McGill, 2006; Vera-Garcia, Elvira, Brown y McGill, 2007).

En función de sus características anatómicas (origen, inserción, dirección de las fibras musculares, etc.) y mecánicas (brazo de la fuerza muscular, dirección y sentido del momento de fuerzas, etc.), la musculatura del tronco se puede agrupar principalmente en cuatro grupos funcionales (Vera-Garcia, Sánchez-Zuriaga y Lisón, 2015):

- I. *Músculos flexores o músculos de la cadena anterior del tronco.* El músculo recto del abdomen es el principal flexor del tronco, debido a la dirección de sus fibras y a su mayor brazo de palanca. El oblicuo externo y el oblicuo interno del abdomen colaboran con el recto del abdomen en las acciones de flexión, sobre todo cuando las demandas de la tarea son elevadas, por ejemplo, ante la movilización de cargas pesadas, durante movimientos muy rápidos o duraderos, etc. El psoas ilíaco también es considerado un músculo flexor del tronco, pero su activación es importante cuando se combinan movimientos de anteversión de la pelvis y flexión de cadera.
- II. *Músculos extensores o músculos de la cadena posterior del tronco.* Atendiendo a su morfología y ubicación, el principal extensor del tronco es el erector o tríceps espinal. Junto

al erector espinal, existen otros músculos de la espalda que colaboran en la extensión del tronco, entre los que destacamos el multifido y el latísimo del dorso.

III. *Músculos inclinadores laterales o músculos de la cadena lateral del tronco.* Destacan principalmente el oblicuo externo, el oblicuo interno y el transverso del abdomen, el cuadrado lumbar, el psoas ilíaco, el multifido y el latísimo del dorso del lado del tronco donde se produce la inclinación.

IV. *Músculos rotadores o músculos de la cadena oblicua del tronco.* Los principales músculos rotadores del tronco son el oblicuo externo y el oblicuo interno del abdomen (que realizan su acción a través de grandes brazos de palanca), junto al multifido y el latísimo del dorso. Estos músculos no se activan bilateralmente, sino que se activan músculos de uno u otro lado del cuerpo en función del sentido del giro y de la parte del tronco que se moviliza, es decir, tórax o pelvis (Vera-García et al., 2011). Así, cuando el tórax rota hacia un lado, se activa el oblicuo interno del abdomen y el latísimo del dorso homolaterales y el oblicuo externo del abdomen y el multifido contralaterales. Por el contrario, cuando es la pelvis la que rota, se activa el oblicuo externo del abdomen y el multifido homolaterales y el oblicuo interno del abdomen y el latísimo del dorso contralaterales.

La importancia funcional de la musculatura del tronco y sobre todo, su posible relación con el síndrome de dolor lumbar (SDL) (Biering-Sørensen, 1984; Lindsay y Horton, 2006; Luoto, Heliövaara, Hurri y Alaranta, 1995; McGill, Childs y Liebenson, 1999), han despertado el interés de entrenadores, preparadores físicos, terapeutas e investigadores por la valoración y desarrollo de las diferentes cualidades de los músculos del tronco. En este sentido, la mayoría de los programas de entrenamiento y rehabilitación de los deportistas profesionales y amateurs incorporan ejercicios diseñados para el acondicionamiento de la musculatura del tronco (Hibbs, Thompson, French, Wrigley y Spears, 2008), es decir, para el desarrollo de la fuerza/potencia muscular, la resistencia muscular y/o la estabilidad del tronco. El objetivo de estos programas puede ser diverso, pero

generalmente se realizan para prevenir o tratar diferentes lesiones, mejorar el rendimiento deportivo y/o facilitar la realización de las tareas de la vida diaria (Borghuis, Hof y Lemmink, 2008; Farley y Koshland, 2000; Hibbs et al., 2008; Reed, Ford, Myer y Hewett, 2012).

La resistencia de la musculatura del tronco, es decir, la habilidad de la musculatura del tronco para producir adecuados niveles de activación muscular durante largos periodos de tiempo, es una de las cualidades de la musculatura del tronco que mayor interés ha despertado, ya que ha sido relacionada con algunas lesiones de la extremidades inferiores (Leetun, Ireland, Willson, Ballantyne y Davis, 2004) y especialmente con la prevención y el tratamiento de lesiones del raquis lumbar (Biering-Sørensen, 1984; Lindsay y Horton, 2006; Luoto et al., 1995; McGill et al., 1999). En este sentido, algunos autores (Lindsay y Horton, 2006; McGill, 2002) han sugerido que a pesar de que el incremento de la fuerza es un objetivo muy popular en los programas de rehabilitación del SDL, la resistencia de los músculos del tronco es más importante que la fuerza máxima para la prevención de lesiones en la columna lumbar. Así mismo, teniendo en cuenta que la fatiga de esta musculatura tiene un efecto negativo sobre la coordinación muscular, el control postural y la estabilidad del raquis (Granata y Gottipati, 2008; Mawston, McNair y Boocock, 2007; Sparto, Parnianpour, Reinsel y Simon, 1997; van Dieen, 1996; van Dieën, Luger y van der Eb, 2012), la resistencia de los músculos del tronco podría tener un papel destacado tanto para la prevención de lesiones como para el rendimiento en algunos deportes, e incluso para la correcta ejecución de tareas de la vida diaria (Mayer, Gatchel, Betancur y Bovasso, 1995; McGill, 2002).

1.2 Relación de la resistencia de la musculatura del tronco con el síndrome del dolor lumbar y el rendimiento deportivo.

El SDL es un problema sociosanitario que está considerado como la primera causa de discapacidad en el mundo (Hoy et al., 2014), con una prevalencia anual en la población adulta que oscila, según diferentes estudios, entre el 22 y el 65% (Walker, 2000), siendo en España del 18.6%

según la Encuesta Nacional de Salud 2011-2012 (2013). Se estima que el 80% de la población de los países occidentales lo padecerá en algún momento de su vida (Group, 2003). Además del sufrimiento individual, tiene como consecuencia la incapacidad, el absentismo laboral y una gran utilización de los recursos asistenciales (Breivik, Eisenberg y O'Brien, 2013). En los países industrializados esta patología tiene un impacto económico importante, consumiendo entre un 0.8% (Finlandia) y un 2% (EEUU) del producto interior bruto (Frymoyer y Cats-Baril, 1991). En España, el impacto económico debido a la inactividad por la lumbalgia inespecífica supone unos costes aproximados para la Seguridad Social de unos 66 millones de euros (Avila-Arriaza y Palomo-Gómez, 2010).

Aunque la etiología del SDL es diversa, desde un punto de vista científico son muchos los esfuerzos que se han realizado para conocer los distintos factores (mecánicos, genéticos, físicos, psicológicos, etc.) que pueden desencadenar o agravar este síndrome (Marras et al., 1993). Por lo que respecta a las diferentes capacidades físicas del tronco, en general, los déficits o desequilibrios en la resistencia muscular parecen tener relación con la salud de la zona lumbar, como así lo demuestran algunos estudios encontrados en la literatura. En este sentido, algunos estudios trasversales de cohortes (Alaranta, Hurri, Heliovaara, Soukka y Harju, 1994; Emmanuel y Ayanniyi, 2010; Moffroid, Reid, Henry, Haugh y Ricamato, 1994; Nicolaisen y Jørgensen, 1984) encontraron menor resistencia en la musculatura extensora del tronco en personas con SDL que en personas asintomáticas. En esta misma línea, varios estudios prospectivos (Biering-Sørensen, 1984; Luoto et al., 1995) revelaron una mayor probabilidad de sufrir SDL en el año siguiente a la valoración, para aquellos individuos que mostraron una baja resistencia isométrica en los extensores del tronco. Por último, McGill et al. (1999; 2002) sugirió que tener un historial de problemas en la zona lumbar puede estar asociado a desequilibrios en la resistencia muscular entre diferentes grupos musculares del tronco, como por ejemplo menor resistencia de los extensores en comparación con los flexores del tronco, así como a desequilibrios bilaterales (> 5%) entre la resistencia de la musculatura del lado derecho e izquierdo del tronco.

Con relación al rendimiento deportivo, aunque desde un punto de vista teórico, la mejora de las funciones y capacidades de los músculos del tronco puede tener un efecto positivo sobre el rendimiento de los deportistas, los estudios descriptivos y/o experimentales que han examinado la posible contribución de la resistencia del tronco en el rendimiento deportivo son relativamente pocos y sus resultados son contradictorios (Durall et al., 2009; Nesser, Huxel, Tincher y Okada, 2008; Okada, Huxel y Nesser, 2011; Tse, McManus y Masters, 2005). Además, en nuestra opinión, muchos de estos estudios presentan limitaciones metodológicas importantes, lo que dificulta el análisis y comparación de sus resultados. Entre las limitaciones más importantes podemos desatacar las siguientes: i) los ejercicios utilizados en los estudios experimentales no son lo suficientemente funcionales y/o específicos para mejorar significativamente el rendimiento deportivo (Hibbs et al., 2008); ii) no se ha tenido en cuenta si la resistencia del tronco juega un papel importante en los deportes analizados (Hibbs et al., 2008); iii) los test utilizados tanto para medir la resistencia muscular del tronco como el rendimiento deportivo son protocolos genéricos que no han sido diseñados en función de las características específicas del deporte analizado (Nesser et al., 2008; Tse et al., 2005); iv) los ejercicios de resistencia del tronco no han sido los únicos componentes de los programas de entrenamiento, por lo que es difícil aislar los efectos de este tipo de intervención (Durall, Greene y Kernozek, 2012; Nesser et al., 2008; Tse et al., 2005).

1.3 Valoración de la resistencia muscular del tronco.

Partiendo de la importancia funcional de los músculos del tronco y de los posibles beneficios del desarrollo de la resistencia muscular tanto en la salud de la región lumbar, como en la mejora de la capacidad funcional y el rendimiento en el deporte, se han desarrollado diversos test de campo y de laboratorio para evaluar la resistencia de los músculos del tronco. Estos protocolos son usados en numerosos ámbitos profesionales (rehabilitación, rendimiento deportivo, fitness, educación, etc.), en función de sus características, como por ejemplo la fiabilidad, la precisión, el coste y la facilidad de uso, entre otras.

1.3.1 Test de campo para la valoración de la resistencia muscular del tronco.

Los test de campo para valorar la condición física de los músculos del tronco se caracterizan por su sencillez y brevedad, así como por no requerir de un material costoso o de un tratamiento de datos sofisticado, lo que ha facilitado su uso en diversos ámbitos (clínico, deportivo, fitness, educación física, etc.). Al contrario de los protocolos basados en la dinamometría isocinética (utilizados en laboratorios e instalaciones hospitalarias para medir principalmente la fuerza muscular), éstos se han utilizado principalmente para evaluar la resistencia de la musculatura del tronco (ver por ejemplo: Biering-Sørensen, 1984; Brotons-Gil, Garcia-Vaquero, Peco-Gonzalez y Vera-Garcia, 2013; Burns, Hannon, Saint-Maurice y Welk, 2014; Glenn, Galey, Edwards, Rickert y Washington, 2014; Juan-Recio, Barbado, López-Valenciano y Vera-Garcia, 2014; Knudson y Johnston, 1995; Luoto et al., 1995; McGill et al., 1999); con la excepción de unos pocos test de campo usados como medidas de fuerza/potencia (*Double Leg Lowering test, Front Abdominal Power test, Side Abdominal Power test, etc.*) (Cowley y Swensen, 2008; Glenn et al., 2014; Krause, Youdas, Hollman y Smith, 2005; Leetun et al., 2004). Dentro de los test de campo más utilizados para la evaluación de la resistencia de la musculatura del tronco podemos encontrar dos tipos principales:

- I. *Test dinámicos de resistencia muscular del tronco* (ver por ejemplo: Brotons-Gil et al., 2013; Burns et al., 2014; Faulkner, Sprigings, McQuarrie y Bell, 1989; Knudson, 2001; Knudson y Johnston, 1995), entre los que podemos destacar *test contra el crono (timed test)*, que consisten en la realización del máximo número posible de movimientos de flexión, extensión o flexo-rotación del tronco (ver por ejemplo: Brotons-Gil et al., 2013; Knudson y Johnston, 1995; Moreland, Finch, Stratford, Balsor y Gill, 1997) en un tiempo determinado (60-120 s), y *test de cadencia (cadence test)*, que consisten en la realización del máximo número posible de movimientos de flexión (Burns et al., 2014; Faulkner et al., 1989; Moreland et al., 1997) o

extensión (Allen, Hannon, Burns y Williams, 2014; Hannibal, Plowman, Looney y Brandenburg, 2006) de la parte superior del tronco, manteniendo una cadencia determinada.

- II. *Test isométricos de fuerza/resistencia de los músculos flexores, extensores e inclinadores del tronco*, que principalmente consisten en el mantenimiento de una determinada postura (en decúbito prono, supino o lateral) el mayor tiempo posible (ver por ejemplo: Allen et al., 2014; Biering-Sørensen, 1984; Burns et al., 2014; Chen et al., 2010; Evans, Refshauge y Adams, 2007; Hannibal et al., 2006; Ito et al., 1996; McGill et al., 1999; Schellenberg, Lang, Chan y Burnham, 2007), o en la ejecución de una contracción isométrica contra un transductor de fuerza (Glenn et al., 2014).

Una de las características principales de los test de campo de resistencia de los músculos del tronco es que utilizan el propio cuerpo como instrumento para realizar la medida, por lo que las características antropométricas de los participantes podrían tener una influencia importante en los resultados de los test. Algunos estudios han encontrado correlaciones significativas entre la masa del cuerpo de individuos adultos y los resultados de algunos test isométricos, como el *Biering-Sorensen test* (Kankaanpää et al., 1998; Latikka, Battie, Videman y Gibbons, 1995; Mbada et al., 2010; Nuzzo y Mayer, 2013), el *Plank test* (Nuzzo y Mayer, 2013), el *60° Flexion test* y el *Right and Left Side Bridge test* (Clayton et al., 2011) o algunos test de fuerza/potencia (por ejemplo el *Front Abdominal Power test*) (Cowley, Fitzgerald, Sottung y Swensen, 2009). Además, los datos obtenidos por Nuzzo y Mayer (2013) parecen indicar que el rendimiento en estas pruebas no solo está afectado por la masa total del cuerpo de los participantes, sino principalmente por la masa de las estructuras no apoyadas en la camilla o en el suelo durante su ejecución. En relación con esta idea, Dejanovic et al. (2012) también encontraron leves correlaciones significativas entre diferentes medidas antropométricas y algunos test isométricos de resistencia (*Biering-Sorensen test*, *60° Flexion test*, *Right and Left Side Bridge test*) en niños entre 7 y 14 años, aunque concluyeron que las

características antropométricas tenían poca influencia en los resultados de las pruebas de resistencia del tronco.

Partiendo de la relación entre la resistencia de la musculatura del tronco y la salud de la zona lumbar (Biering-Sørensen, 1984; Luoto et al., 1995; McGill, 2002; McGill et al., 1999; Plowman, 1992), la mayoría de las baterías internacionales de test de condición física y salud para jóvenes incluyen test dinámicos de flexores del tronco (*Curl-Up tests* o *Sit-Up tests*) para medir la fuerza y/o resistencia abdominal. Estas baterías (ACSM, 2000; Franks, 1989; Heyward, 2006; Mcardle, 2000; Meredith y Welk, 2005), así como algunos libros sobre la valoración de la condición física (López y Girela, 2003; Manso, Caballero y Navarro, 1996), muestran datos normativos por edad y percentiles para ambos sexos que normalmente se utilizan para evaluar y comparar la condición física del tronco en relación con la salud. Aunque esto podría proporcionar información importante para que entrenadores, educadores físicos y profesionales de la salud pudieran prescribir programas de ejercicios de acondicionamiento de los músculos del abdomen según la edad de los participantes, no existen evidencias científicas que apoyen la relación entre los resultados de los test de flexores del tronco, el estado de salud de los participantes y su edad (CFMHO, 2012). En adolescentes, la mayoría de estudios que han aplicado este tipo de baterías (ver por ejemplo: Brito Ojeda y Navarro García, 1995; Girela, 1992; Prat y Riera, 1993) son meramente descriptivos, sin ningún tipo de análisis estadístico de los datos. Únicamente se encontró el estudio de Dejanovic et al. (2013), donde se comparó la resistencia isométrica de los flexores del tronco en una muestra de adolescentes divididos por grupos de edad y sexo. Es de resaltar que no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes grupos de edad, ni tampoco entre hombres y mujeres, ni en la interacción *sexo*grupos de edad*, lo que no apoya la división de los resultados de los test de flexores del tronco por edad y sexo en las baterías internacionales de condición física para jóvenes. Por otro lado, según los datos obtenidos en estudios realizados con niños de edades entre 7-14 años (Dejanovic, 2012) y entre 3-7 años (Lefkof, 1986), los resultados en los test de flexores del tronco mejoraron de forma

significativa con la edad de los niños, lo que debe ser tenido en cuenta cuando se realicen trabajos descriptivos o de intervención en estas poblaciones.

En cuanto a la comparación por sexo, los hombres obtienen generalmente mejores resultados que las mujeres en los test de campo dinámicos para valorar la musculatura abdominal (*Curl-Up tests* o *Sit-Up tests*) (Brotons-Gil et al., 2013; Faulkner et al., 1989; Sidney, 1990; Vera-Garcia, 2009). Igualmente, cuando se valora la resistencia isométrica de la musculatura del tronco, los hombres suelen obtener mayores puntuaciones que las mujeres (i.e. *Ito test*, *60° Flexor Endurance test* y *Side Bridge test*) (Evans et al., 2007; Ito, 1996; Leetun et al., 2004; McGill et al., 1999) excepto en el *Biering-Sorensen test* (Biering-Sørensen, 1984; Dederling, Nemeth & Harms-Ringdahl, 1999; Kankaanpää et al., 1998; Mannion, Connolly, Wood & Dolan, 1997; Mannion & Dolan, 1994; McGill et al., 1999; Umezu, Kawazu, Tajima & Ogata, 1998). Varias hipótesis se han propuesto para explicar esta diferencia relacionada con el género en el *Biering-Sorensen test*: i) Generalmente, el peso de la parte superior del cuerpo de las mujeres es menor y el centro de gravedad del tronco más bajo respecto a los hombres (Biering-Sørensen, 1984; Jorgensen, 1997), lo que supone un menor esfuerzo para las mujeres. Sin embargo, algunos estudios mostraron mejores resultados aun cuando a las mujeres se les añadió peso en la parte superior del tronco (Clark, Manini, The, Doldo, & Ploutz-Snyder, 2003) o durante la realización de pruebas de resistencia isométrica del tronco en bipedestación (Jorgensen, 1997); ii) El mayor grado de lordosis lumbar en las mujeres puede permitir una ventaja mecánica al alargar el brazo de palanca de la musculatura erectora espinal (Macintosh, Bogduk, & Percy, 1993; Tveit, Daggfeldt, Hetland, & Thorstensson, 1994); iii) La diferencia en las hormonas sexuales (Jorgensen, 1997; Mannion & Dolan, 1994); iv) Según Mannion et al. (1997) los músculos de la columna vertebral pueden mostrar una mejor adaptación al ejercicio aeróbico en las mujeres como resultado de una mayor proporción de fibras lentas Tipo I en la sección transversal del área del músculo.

Atendiendo a los resultados de los estudios presentados en los párrafos anteriores, parece necesario realizar nuevos trabajos que nos permitan obtener un mayor conocimiento sobre la influencia de la antropometría, la edad y el sexo de los participantes en el rendimiento en los test de campo de resistencia muscular del tronco. Esta información nos podría ayudar a comparar adecuadamente los resultados de deportistas con diferentes características antropométricas, o incluso, los resultados de deportistas que han sufrido cambios morfológicos durante un estudio longitudinal. Además, nos permitiría clarificar si la resistencia de los músculos del tronco cambia a lo largo de las diferentes etapas de la vida en hombres y/o en mujeres y desarrollar una base de datos normativa para ayudar a los entrenadores, preparadores físicos, educadores físicos, etc., a comprender e interpretar mejor los resultados de los test y por tanto, a establecer correctamente los objetivos de los programas de entrenamiento.

1.3.2 Test de laboratorio mediante dinamometría isocinética para la valoración de la musculatura del tronco.

La dinamometría isocinética está considerada el “gold standard” para medir la fuerza de la musculatura del tronco. Esto se debe principalmente a tres factores: a) ofrece una gran precisión para evaluar la fuerza muscular (Delitto, Rose, Crandell y Strube, 1991; Dvir y Keating, 2001; García-Vaquero, Barbado, Juan-Recio, Lopez-Valenciano y Vera-Garcia, en prensa; Laughlin, Lee, Loehr y Amonette, 2009; Wessel, Ford y van Driesum, 1992); b) permite evaluar la fuerza de forma controlada (tipo de contracción, rango de movimiento, velocidad, posición, número de repeticiones y series, etc.), generalmente mediante el uso de un módulo o estructura a modo de asiento articulado que se acopla al eje del dinamómetro (ver por ejemplo: Delitto et al., 1991; Dvir y Keating, 2001; García-Vaquero et al., en prensa; Keller, Hellesnes y Brox, 2001; Mayer et al., 1995; Mayer, Smith, Keeley y Mooney, 1985); c) el cálculo del momento de fuerza reduce las posibles variaciones en el rendimiento debido a las diferentes características individuales.

A pesar de estas características, los altos requerimientos económicos y tecnológicos de esta metodología han limitado su uso, el cual se reduce principalmente al alto rendimiento deportivo, al tratamiento y la rehabilitación de patologías del tronco en centros hospitalarios y a estudios científicos. En este sentido, los test isocinéticos del tronco existentes en la literatura se han utilizado fundamentalmente para analizar la diferencia entre pacientes con dolor lumbar y personas asintomáticas (Gruther et al., 2009; Ripamonti, Mariot, Colin y Rahmani, 2008), establecer valores normativos de fuerza muscular del tronco (Ridao, Sánchez, Chaler y Müller, 2009) e identificar variables dinamométricas de riesgo de lesión (Hamberg-van Reenen et al., 2006; Lindsay y Horton, 2006; Mayer et al., 1985; Ripamonti et al., 2008).

La mayoría de los protocolos isocinéticos del tronco se han centrado principalmente en la evaluación de parámetros de fuerza (Delitto et al., 1991; Dvir y Keating, 2001; Karatas, Gogus y Meray, 2002; Mayer et al., 1985; Newton y Waddell, 1993; Wessel et al., 1992). En este sentido, a pesar de la posible relación de la resistencia muscular del tronco con el SDL (Biering-Sørensen, 1984; Hamberg-van Reenen et al., 2006; Lindsay y Horton, 2006; Luoto et al., 1995; McGill et al., 1999) y el rendimiento deportivo (Granata y Gottipati, 2008; Hodges y Richardson, 1997; Mawston et al., 2007; McGill, 2006; van Dieen et al., 2012), aspectos comentados en el apartado 1.2 de esta introducción, son escasos los protocolos isocinéticos de tronco desarrollados para medir variables de resistencia (Barbado et al., 2016; García-Vaquero et al., en prensa; Hager et al., 2006; Juan-Recio et al., 2013; Lindsay y Horton, 2006; Mayer et al., 1995; Smidt et al., 1983).

1.3.3 Fiabilidad y validez de los test para la valoración de la resistencia de la musculatura del tronco.

Para que un test, instrumento o protocolo sea de utilidad para medir la condición física de un individuo o de un grupo muscular, debe tener tres características fundamentales: validez, fiabilidad y sensibilidad. Aunque estas características no son independientes entre sí, sino que están relacionadas

unas con otras (Currell y Jeukendrup, 2008), en las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte generalmente solo se ha analizado la validez y la fiabilidad de los instrumentos de medida y normalmente de forma independiente (Atkinson y Nevill, 1998; Hopkins, 2000a). En este sentido, únicamente se ha encontrado un estudio que haya analizado la sensibilidad en algunos test de campo de resistencia del tronco para detectar el SDL (Arab, Salavati, Ebrahimi y Mousavi, 2007).

La validez de los test de campo de resistencia del tronco ha sido examinada principalmente mediante la realización de tres tipos de estudios:

- I. *Estudios de validez electromiográfica* (Coorevits, Danneels, Cambier, Ramon y Vanderstraeten, 2008; Gilleard y Brown, 1994; Hagberg, 1981; Kankaanpää et al., 1998; Moffroid et al., 1994; Müller, Strässle y Wirth, 2010; Saint-Maurice et al., 2015), los cuales han analizado la fatiga muscular y la intensidad y coordinación de los músculos del tronco en estos protocolos mediante el tratamiento de la señal electromiográfica en el dominio de la frecuencia y el tiempo, respectivamente. La mayoría de los estudios han mostrado la validez de los test de campo analizados (Coorevits et al., 2008; Gilleard y Brown, 1994; Hagberg, 1981; Müller et al., 2010; Saint-Maurice et al., 2015), excepto Kankaanpää et al. (1998) y Moffroid et al. (1994) que a diferencia de otros estudios (Coorevits et al., 2008), cuestionaron la validez del *Biering-Sorensen test* para evaluar la resistencia de la musculatura extensora del tronco.
- II. *Estudios de validez discriminativa*, los cuales han examinado la habilidad de los test para discriminar entre participantes asintomáticos y pacientes con dolor de espalda crónico, obteniendo resultados satisfactorios en el *Biering-Sorensen test*, *Ito test*, *60° Flexion test*, *Right and Left Side Bridge test*, *Prone Plank test* y *FITNESSGRAM Dynamic Curl-Up test*, (Biering-Sørensen, 1984; Correia, Oliveira, Vaz, Silva y Pezarat-Correia, 2016; Ito et al., 1996; Latimer, Maher, Refshauge y Colaco, 1999; Mousavi, Arab y Salavati, 2004; Saint-

Maurice et al., 2015; Swain y Redding, 2014), pero no en el *FITNESSGRAM Trunk Extension test* (Saint-Maurice et al., 2015).

III. *Estudios de validez concurrente o de criterio* (Burns et al., 2014; Clayton et al., 2011; Greene, Durall y Kernozek, 2012; Hall, Hetzler, Perrin y Weltman, 1992; Hannibal et al., 2006; Knudson, 2001; Knudson y Johnston, 1995; Latikka et al., 1995; Mayer et al., 1995). Este tipo de validez se refiere al grado de eficacia con que se puede predecir o pronosticar una variable de interés, generalmente, un test desarrollado en laboratorio mediante dinamometría isocinética (medida criterio o “gold standard”), a partir de las puntuaciones en un test de campo. En general, la mayoría de estos estudios han obtenido nulas o pequeñas relaciones entre los test de campo analizados y las medidas criterio (Clayton et al., 2011; Hall et al., 1992; Hannibal et al., 2006; Knudson, 2001; Knudson y Johnston, 1995; Latikka et al., 1995; Mayer et al., 1995).

Como se desprende de los párrafos anteriores y a pesar de algunos datos controvertidos, los resultados de los estudios científicos muestran la validez de la mayoría de los test de campo utilizados habitualmente para la valoración de la resistencia muscular del tronco.

La fiabilidad por su parte, hace referencia a la reproducibilidad o consistencia de los valores de un test o medida después de repetidos ensayos (Atkinson y Nevill, 1998; Hopkins, 2000a; Weir, 2005). En ocasiones, la fiabilidad de los test de campo puede estar comprometida por la dificultad para estandarizar protocolos sencillos que no utilizan materiales costosos o un gran número de personas para hacer la medición. Es por ello, que estos protocolos deben ser sometidos a análisis exhaustivos de fiabilidad a través de las principales medidas de consistencia (la variabilidad intra-sujeto, el cambio sistemático en la media y la correlación test-retest), para determinar si presentan niveles adecuados de fiabilidad relativa y absoluta (Hopkins, 2000a; Weir, 2005). La fiabilidad absoluta refleja la variabilidad intra-sujeto, es decir, la consistencia test-retest de los resultados obtenidos por cada individuo, y es evaluada habitualmente mediante el error estándar de medida

(EEM) o error típico (ET) (Hopkins, 2000a) y los límites de acuerdo (Bland y Altman, 1986). Una adecuada fiabilidad absoluta en los test de tronco indica que estos protocolos permiten determinar la magnitud del cambio necesario para que las diferencias entre dos medidas de resistencia o fuerza no sean atribuibles a errores en la medida, lo que es de gran utilidad en estudios experimentales donde no se pueden utilizar grupos control (Hopkins, 2000a). Por su parte, la fiabilidad relativa indica la consistencia test-retest de la posición que ocupan los resultados obtenidos por cada participante con relación al total de la muestra, siendo evaluada habitualmente a través del coeficiente de correlación intraclase (CCI). En este caso, los protocolos con buena fiabilidad relativa permiten entre otras cosas la comparación entre individuos de similares características (Hopkins, 2000a; Weir, 2005). El CCI es sensible a la heterogeneidad de los valores entre los participantes, por lo que bajos niveles de variabilidad entre-sujetos (muestra homogénea), tendrán como consecuencia un CCI bajo, incluso si las diferencias entre los resultados de los diferentes ensayos son pequeñas. Por tanto, teniendo en cuenta las características de las diferentes medidas de fiabilidad, un estudio exhaustivo de la consistencia de los test de tronco implica un análisis conjunto del CCI, el EEM y el cambio en la media (Hopkins, 2000a; Weir, 2005).

Con respecto a la fiabilidad de los protocolos isocinéticos de tronco existentes en la literatura, la mayoría de ellos mostraron un alta o excelente fiabilidad relativa para las variables de fuerza (con valores de CCI por encima de 0.80) (Delitto et al., 1991; Dvir y Keating, 2001; García-Vaquero et al., en prensa; Karatas et al., 2002; Keller et al., 2001; Laughlin et al., 2009; Mayer et al., 1985; Newton y Waddell, 1993; Wessel et al., 1992). Sin embargo, los pocos estudios que analizaron las variables de resistencia mostraron valores de fiabilidad relativa de bajos a moderados ($CCI \leq 0.69$) (García-Vaquero et al., en prensa; Mayer et al., 1995). Las medidas de fiabilidad absoluta de las variables isocinéticas de fuerza han mostrado valores de EEM que oscilan entre el 3% y el 29% (Delitto et al., 1991; Dvir y Keating, 2001; Laughlin et al., 2009; Wessel et al., 1992). Por el contrario, el único estudio del que tenemos constancia que ha analizado la fiabilidad absoluta de

variables de resistencia isocinética mostró unos valores de ET de entre 5.0 y 11.5% (García-Vaquero et al., en prensa).

Con relación a los test de campo de resistencia muscular del tronco, son escasos los trabajos que han analizado conjuntamente la fiabilidad absoluta y relativa. La mayoría de los estudios han analizado la fiabilidad relativa y han encontrado valores de CCI por encima de 0.75 (Brotons-Gil et al., 2013; Chan, 2005; del Pozo-Cruz et al., 2014; Demoulin, Vanderthommen, Duysens y Crielaard, 2006; Durall et al., 2012; Evans et al., 2007; Greene et al., 2012; McGill et al., 1999; Udermann, Mayer, Graves y Murray, 2003). Por otro lado, solo tenemos constancia de tres estudios que han analizado la fiabilidad absoluta de este tipo de pruebas (Brotons et al., 2013; Evans et al., 2007; Moreland et al., 1997). En estos estudios los valores del EEM oscilaron entre el 4.3% y el 114.3% para el *Flexion-Rotation Trunk test* (Brotons et al., 2013) y el *Abdominal Dynamic Endurance Test* (Moreland et al., 1997), respectivamente.

Teniendo en cuenta la información presentada en los párrafos anteriores, aunque existen test de campo y de laboratorio válidos para medir la resistencia de los músculos del tronco, es necesario realizar nuevos estudios que analicen de forma exhaustiva la fiabilidad relativa y absoluta de los protocolos. En este sentido, una adecuada caracterización de la fiabilidad de los test de resistencia del tronco nos ayudaría a conocer y mejorar sus características, aportando información relevante para (Hopkins, 2000a): i) la toma de decisiones relacionada con la condición física real de los sujetos; ii) la comparación entre protocolos; iii) la estimación del tamaño de la muestra en estudios experimentales; iv) la estimación de la magnitud de las diferencias en respuesta a un tratamiento; v) etc.

1.3.4 Criterios para la selección de test para valorar la función muscular del tronco.

Como se ha comentado durante esta introducción, para valorar la función muscular del tronco generalmente se utilizan tanto test de campo como protocolos basados en la dinamometría

isocinética. Teniendo en cuenta las características de estos protocolos (fiabilidad, validez, relación con la antropometría, coste, complejidad/sencillez, etc.) y la gran cantidad de parámetros de rendimiento, grupos musculares y capacidades que pueden ser evaluadas, no existe un único protocolo que podamos calificar como el mejor o el más adecuado para medir la función de la musculatura del tronco en todas las situaciones posibles. Cada test tiene ventajas y limitaciones y la elección de los protocolos depende de muchos factores, como por ejemplo del contexto en el que van a ser aplicados, de las características y necesidades de los participantes, etc. Sin embargo, tanto en el ámbito científico como práctico, hay muchos ejemplos de protocolos que se han utilizado sin tener en cuenta estos factores. Por ejemplo, aunque la batería estandarizada de McGill (basada en la valoración de la resistencia isométrica de los extensores, inclinadores y flexores del tronco mediante el mantenimiento de una determinada postura contra gravedad) (McGill, 2002; McGill et al., 1999) no es específica para medir acciones dinámicas (Clayton et al., 2011), muchos investigadores y entrenadores usan frecuentemente esta batería de pruebas isométricas para medir la fuerza o la resistencia del tronco en deportes con altas demandas dinámicas (Clayton et al., 2011; Chan, 2005; Evans et al., 2007) e incluso como medidas de estabilidad del tronco (Leetun et al., 2004; Nesser et al., 2008). Además, a pesar de que el déficit en la resistencia isométrica de los extensores del tronco y los desequilibrios en la resistencia isométrica entre distintos grupos musculares del tronco están relacionados con el SDL (McGill, 2002; McGill et al., 1999), la mayoría de las baterías de valoración de la condición física para la salud únicamente incluyen *Sit-Up* o *Curl-Up tests*, es decir, medidas de resistencia dinámica de los flexores del tronco [Europe, 1988; Franks, 1989; PCFSN (President's Council on Fitness), 2010].

Como muestran estos ejemplos, parece que en muchos casos la selección de los test de tronco no se realiza en función de criterios de fiabilidad, validez, sensibilidad y especificidad, sino más bien en base a criterios de sencillez y bajo coste, o simplemente debido a modas o a la imitación de otros profesionales. Sin embargo, elegir el test o los test adecuados para medir la función de los músculos

del tronco no debe ser algo arbitrario, sino una decisión importante que nos puede ayudar a mejorar el rendimiento y/o la salud de los participantes en los programas de ejercicios de tronco. En este sentido, estudios correlacionales han encontrado relaciones nulas o bajas entre diferentes test de campo y de laboratorio para medir la función de los músculos del tronco (Burns et al., 2014; Clayton et al., 2011; Greene et al., 2012; Hall et al., 1992; Hannibal et al., 2006; Knudson, 2001; Knudson y Johnston, 1995; Latikka et al., 1995; Mayer et al., 1995), lo que indica que cada uno de estos test mide cualidades diferentes, lo que debe ser tenido en cuenta para la selección del protocolo que sea más adecuado para cada situación concreta.

Nuevos estudios deberían profundizar en el análisis de las características de los diferentes protocolos de tronco, así como en la relación entre los resultados obtenidos en las diferentes pruebas. Esta información facilitaría el proceso de selección de los protocolos y su adecuación a las características y necesidades de los participantes.

1.3.5 La utilización de los test de campo en estudios experimentales para mejorar la resistencia del tronco.

Si atendemos a la literatura científica, la utilización de los test de campo de tronco se ha limitado principalmente a estudios descriptivos, que se han desarrollado con tres objetivos principales: i) examinar algunas de las características de las pruebas, como fiabilidad, validez, efecto de aprendizaje, etc. (ver por ejemplo: Alaranta et al., 1994; Brotons-Gil et al., 2013; Burns et al., 2014; Coorevits et al., 2008; Dejanovic, 2012; Delitto et al., 1991; Evans et al., 2007; Faulkner et al., 1989; Hannibal et al., 2006; Keller et al., 2001; Knudson, 2001; Knudson y Johnston, 1995, 1998; Moreland et al., 1997; Müller et al., 2010); ii) establecer valores normativos de resistencia del tronco para diferentes poblaciones, edades y sexos (Chan, 2005; Dejanovic et al., 2013; Dejanovic et al., 2012; Mbada et al., 2010; McGill, 2002; McGill et al., 1999; Strand, Hjelm, Shoepe y Fajardo, 2014); y iii) analizar las diferencias en resistencia entre pacientes o deportistas con SDL y personas

asintomáticas e identificar parámetros de riesgo de lesión (Arab et al., 2007; Biering-Sørensen, 1984; Evans, Refshauge, Adams y Aliprandi, 2005; Lindsay y Horton, 2006; Luoto et al., 1995; McGill, 2002; McGill et al., 1999; Swain y Redding, 2014).

Por el contrario, los estudios experimentales o de intervención que han utilizado los test de campo para valorar la resistencia de los músculos del tronco son relativamente pocos (Allen et al., 2014; Childs et al., 2009; Distefano, Distefano, Frank, Clark y Padua, 2013; Durall et al., 2009; Kibele y Behm, 2009; Kumar, Rao y Thakur, 2015; Learman, Pintar y Ellis, 2015; Moffroid, Haugh, Haig, Henry y Pope, 1993; Oliver, Adams-Blair y Dougherty, 2010; Tse et al., 2005; Vera-Garcia, 2003; Verna et al., 2002) y presentan limitaciones metodológicas importantes que cuestionan o dificultan la correcta interpretación de sus resultados. Entre las limitaciones más importantes destacan algunas relacionadas con la aplicación de los test de campo:

- Falta de especificidad de los test de campo o de los ejercicios utilizados para mejorar la resistencia del tronco (Childs et al., 2009; Distefano et al., 2013; Kibele y Behm, 2009; Kumar et al., 2015; Learman et al., 2015; Oliver et al., 2010).
- No tener en cuenta los valores de fiabilidad absoluta de los test (Allen et al., 2014; Childs et al., 2009; Distefano et al., 2013; Durall et al., 2009; Kibele y Behm, 2009; Kumar et al., 2015; Learman et al., 2015; Moffroid et al., 1993; Oliver et al., 2010; Tse et al., 2005; Vera-Garcia, 2003). En este sentido, como se ha comentado en el apartado 1.3.3, no tener en cuenta el EEM de las medidas en estudios sin grupo control podría cuestionar si algunas de las mejoras mostradas han sido debidas al efecto del entrenamiento o a errores en la medida.
- No tener en cuenta el efecto de aprendizaje de los test (Childs et al., 2009; Distefano et al., 2013; Durall et al., 2009; Kibele y Behm, 2009; Kumar et al., 2015; Learman et al., 2015; Moffroid et al., 1993; Oliver et al., 2010; Tse et al., 2005; Vera-Garcia, 2003). Así, aunque algunos test de campo precisan de un largo periodo de familiarización (por ejemplo para aprender la técnica o la cadencia de ejecución) (Brotons et al., 2013), únicamente uno de los

estudios referidos (Allen et al., 2014) indicó en el procedimiento la utilización de un periodo de familiarización de los test previo a las medidas iniciales.

- No utilizar los resultados de los test de campo para individualizar y establecer los criterios de progresión de la carga de entrenamiento; ignorando principios básicos del entrenamiento (Ratamess et al., 2009) y por tanto, esenciales para el éxito de cualquier intervención.

Además, los estudios referidos presentan también limitaciones importantes relacionadas con el diseño y control de los programas de entrenamiento. En este sentido, aunque el éxito de estos programas depende de la correcta cuantificación de las diferentes características de la carga de entrenamiento (frecuencia, intensidad, duración, tipo de ejercicios, periodos de descanso, velocidad de ejecución, número de repeticiones y series, etc.) (Cissik, 2002; Kraemer y Ratamess, 2004; Vera-García, Pañego y Martínez, 2005), muchos de estos estudios se han centrado principalmente en la repetición de varios ejercicios de acondicionamiento muscular del tronco, sin prestar especial atención a otras características de la carga de entrenamiento, las cuales en ocasiones se han ignorado y en otras se han planteado de forma arbitraria (Allen et al., 2014; Childs et al., 2009; Distefano et al., 2013; Durall et al., 2009; Kibele y Behm, 2009; Kumar et al., 2015; Learman et al., 2015; Moffroid et al., 1993; Oliver et al., 2010; Tse et al., 2005; Vera-García, 2003).

Posiblemente, una de las razones principales de la existencia de las limitaciones presentadas en el párrafo anterior es la falta de información existente en la literatura científica sobre las diferentes características de la carga de entrenamiento en ejercicios de tronco. Así, la mayoría de estudios previos relacionados con el acondicionamiento de los músculos del tronco son trabajos electromiográficos y/o mecánicos que se han centrado principalmente en describir la activación muscular y el estrés al que se somete a la columna vertebral durante la ejecución de diferentes ejercicios de tronco (Axler y McGill, 1997; Garcia-Vaquero, Moreside, Brontons-Gil, Peco-Gonzalez y Vera-García, 2012; Kavcic, Grenier y McGill, 2004; Vera-García, Grenier y McGill, 2000). Sin embargo, son escasos los estudios que han analizado otras características de los

programas de ejercicios de tronco, como por ejemplo la frecuencia de entrenamiento más adecuada para producir mejoras en la resistencia (Vera-Garcia, 2003) o en la fuerza muscular del tronco (Carpenter, 1991; DeMichele et al., 1997; Graves et al., 1990; Tucci, Carpenter, Pollock, Graves y Leggett, 1992). La mayoría de los expertos recomiendan generalmente frecuencias de 2 ó 3 días por semana para aumentar el rendimiento muscular en individuos noveles (ACSM, 2000; Ratamess et al., 2009), sin embargo es necesario realizar estudios específicos en programas de entrenamiento de tronco que nos permitan conocer cuál es la frecuencia más adecuada en función de las características de los participantes y de los objetivos del programa de entrenamiento.

En general, de los párrafos anteriores se desprende la necesidad de realizar estudios experimentales que profundicen en los principales factores que influyen en el diseño, prescripción y control de los programas de entrenamiento para la mejora de la resistencia de los músculos del tronco. Para ello, se deben tener en cuenta las características de los test utilizados (es decir, EEM, efecto de aprendizaje, influencia de la antropometría sobre los resultados de los test, etc.) y establecer diseños que favorezcan la individualización y control de la carga de entrenamiento en función de los resultados obtenidos en los test.

1.4 Especificación de los problemas de investigación y propuestas de intervención

Según se ha comentado a lo largo de la introducción de esta Tesis Doctoral, los ejercicios de tronco son un elemento importante de los programas de acondicionamiento muscular para la prevención de lesiones de la zona lumbar, desarrollo de la capacidad funcional y/o mejora del rendimiento deportivo. Aunque los test de campo y los protocolos de dinamometría isocinética han sido usados con frecuencia para evaluar la resistencia y la fuerza de la musculatura del tronco, no se conocen en profundidad algunas características importantes de las pruebas más utilizadas, dificultando su correcta aplicación y la interpretación de los resultados. Además, la selección de los test en muchas ocasiones ha sido arbitraria o ha obedecido principalmente a criterios económicos y/o la disponibilidad de material, en vez de a criterios de fiabilidad, validez, sensibilidad y especificidad.

Así mismo, los pocos estudios experimentales que han utilizado los test de campo de resistencia del tronco presentan limitaciones metodológicas que dificultan la interpretación de sus resultados. En esta Tesis Doctoral analizaremos diversas características de algunos de los protocolos más utilizados para evaluar la condición física del tronco, abordando para ello algunas de las limitaciones más importantes encontradas en la literatura científica:

- Una de las limitaciones más destacadas es la falta de estudios que analicen conjuntamente la fiabilidad absoluta y relativa de los test para evaluar la condición física del tronco. Por tanto, en esta Tesis Doctoral se pretende realizar un análisis exhaustivo de la fiabilidad de algunos de los protocolos de tronco más utilizados en el deporte, la rehabilitación, el fitness y la educación física.
- Otra de las limitaciones de la literatura es la escasez de estudios que han analizado la relación entre los resultados de los distintos protocolos para la valoración de la condición física del tronco. Por ello, en esta Tesis Doctoral se analizarán las relaciones entre las variables obtenidas en tres test representativos de los protocolos más comunes para la valoración de la resistencia y fuerza del tronco. Determinar si existe o no relación entre estas variables nos ayudará a determinar si la realización de una sola medida (cómo es habitual en la práctica profesional de entrenadores, rehabilitadores, monitores de fitness, etc.) permite caracterizar adecuadamente la condición física de los músculos del tronco o si al contrario, es necesaria una batería de test o la elección de varias pruebas en función del contexto en el que se apliquen.
- Asimismo, debido a que se desconoce en profundidad el efecto de la antropometría, la edad y el sexo sobre el rendimiento en los test de tronco, analizaremos la influencia de estas variables en los resultados de algunos de los test de campo más utilizados para valorar la resistencia muscular del tronco. Esta información nos permitirá profundizar en el

conocimiento de las características de los test, lo que facilitará la interpretación y el uso de sus resultados.

- Por último, se llevará a cabo un estudio experimental que intentará dar respuesta a algunas de las limitaciones en la aplicación de los protocolos de medida y en el diseño y control de los programas de entrenamiento de los escasos estudios experimentales o de intervención realizados con test de tronco. En este estudio, se utilizará el *Bench Trunk Curl test* (Knudson y Johnston, 1995) para valorar el efecto de diferentes frecuencias de entrenamiento (1, 2 y 3 días/semana) sobre la resistencia abdominal de una muestra de adolescentes sin experiencia previa en programas de ejercicios de tronco. Considerando la importancia del control de la carga en cualquier programa de entrenamiento, el resultado de los participantes al realizar el test antes de la intervención (medida de resistencia abdominal pre-entrenamiento) se utilizará para establecer de forma individualizada el número de repeticiones realizadas en cada sesión a lo largo del programa de entrenamiento. Los datos de este estudio aportarán información valiosa sobre las características del *Bench Trunk Curl test*, así como sobre la frecuencia o dosis de entrenamiento más adecuada para mejorar la resistencia de los músculos flexores del tronco en adolescentes.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo general.

Basándonos en las limitaciones de la literatura expuestas en el capítulo anterior, el objetivo general de esta Tesis Doctoral fue *analizar y describir diversas características de algunos de los test más representativos para la valoración de la resistencia de la musculatura del tronco.*

Para llevar a cabo este objetivo se diseñaron tres estudios descriptivos y un estudio experimental. En los estudios descriptivos se analizaron varias de las características más importantes de los test de tronco: fiabilidad absoluta y relativa; efecto del sexo, la edad y la antropometría sobre el rendimiento en las pruebas; y relación entre varios de los protocolos. Por otro lado, en el estudio experimental se utilizó uno de los test analizados en los estudios anteriores (el *Bench Trunk Curl test*) dentro del contexto real de un programa de entrenamiento de la musculatura del tronco, lo que permitió profundizar en el conocimiento de las ventajas y limitaciones de esta prueba, así como conocer los efectos de diferentes frecuencias de entrenamiento sobre la resistencia de la musculatura abdominal. A continuación, se presentan los títulos de los cuatro estudios referidos:

- Estudio 1: Fiabilidad de test de campo para valorar la resistencia de la musculatura del tronco: Efecto de la antropometría y el sexo.
- Estudio 2: Resistencia de los músculos flexores del tronco en adolescentes de entre 14 y 18 años: Efecto de la edad, el sexo y la antropometría.
- Estudio 3: Fiabilidad y relación entre un test isocinético y dos test de campo para la valoración de la resistencia de los músculos del tronco.
- Estudio 4: Valoración y desarrollo de la resistencia de la musculatura flexora del tronco: Individualización de la carga y frecuencia de entrenamiento.

2.2 Objetivos específicos.

Los objetivos específicos han sido estructurados según los diferentes estudios que se han llevado a cabo:

Estudio 1

- I. Analizar la fiabilidad absoluta y relativa de tres de los test de campo más utilizados para valorar la resistencia isométrica de la musculatura del tronco (*Biering-Sorensen test*, *Side Bridge test* e *Ito test*) en jóvenes universitarios.
- II. Examinar el efecto de la antropometría y el sexo en los resultados de los test de campo.

Estudio 2

- III. Analizar la fiabilidad absoluta y relativa de un test de campo de resistencia dinámica de los músculos flexores del tronco (*Bench Trunk Curl test*) en adolescentes.
- IV. Conocer el efecto de la edad, el sexo y la antropometría en los resultados del test.

Estudio 3

- V. Analizar la fiabilidad absoluta y relativa de un protocolo isocinético de flexo-extensión del tronco (*Isokinetic Trunk Flexion-Extension protocol*), un test de campo para medir la resistencia dinámica de la musculatura flexo-rotadora del tronco (*Flexion-Rotation Trunk test*) y un test de campo para medir la resistencia isométrica de la musculatura extensora del tronco (*Biering-Sorensen test*).
- VI. Describir la relación entre los resultados obtenidos en los diferentes protocolos.

Estudio 4

- VII. Valorar la eficacia de un test de campo de resistencia dinámica de los músculos flexores del tronco (*Bench Trunk Curl test*) para individualizar la carga de entrenamiento y evaluar el efecto de un programa estructurado de ejercicios de tronco en adolescentes.

VIII. Determinar la frecuencia de entrenamiento más adecuada para desarrollar la resistencia de los músculos flexores del tronco en esta población.

2.3 Hipótesis.

- I. Atendiendo a estudios previos con diferentes poblaciones (estudiantes universitarios, deportistas, etc.), los test de campo para medir la resistencia de los músculos del tronco de los **Estudios 1, 2 y 3** presentarán una buena fiabilidad relativa, con valores de CCI por encima de 0.75 (Brotons-Gil et al., 2013; Chan, 2005; Demoulin et al., 2006; Evans et al., 2007; Knudson y Johnston, 1995; McGill et al., 1999; Moffroid et al., 1993; Udermann et al., 2003). Por otra parte, aunque solo tenemos constancia de tres estudios que han analizado la fiabilidad absoluta de test de campo (Brotons-Gil et al., 2013; Moreland et al., 1997; Evans et al., 2007), según sus resultados, el ET de los test de campo analizados en esta Tesis Doctoral será de moderado a alto (10-20%).
- II. Considerando las correlaciones significativas entre la masa corporal y los resultados de algunos test isométricos, como el *Biering-Sorensen test* (Dejanovic et al., 2012; Latikka et al., 1995; Mbada et al., 2010, Nuzzo y Mayer, 2013), el *Plank test* (Nuzzo y Mayer, 2013) y el *60° Flexor Endurance test* (Dejanovic et al., 2012), y las leves correlaciones significativas entre diferentes medidas antropométricas (altura, diámetros, perímetros, etc.) y los resultados de la batería de test isométricos de McGill (1999) en niños entre 7 y 14 años (Dejanovic et al., 2012), el rendimiento en los test de campo analizados en los **Estudios 1 y 2**, estará influenciado por la antropometría de los participantes.
- III. Atendiendo a los resultados de los estudios que han utilizado los test isométricos de resistencia en ambos sexos (Biering-Sorensen, 1984; Evans et al., 2007; Ito, 1996; Leetun et al., 2004; McGill et al., 1999), los hombres tendrán mejores resultados que las mujeres en el *Ito test* y el *Side Bridge test* pero no en el *Biering-Sorensen test* (**Estudio 1**). Igualmente, según los estudios que han utilizado los test dinámicos de flexores del tronco (*Curl-Up tests*

o *Sit-Up tests*) para evaluar la resistencia abdominal en ambos sexos (Brotons-Gil et al., 2013; Faulkner et al., 1989; Sidney, 1990; Vera-Garcia, 2009), los hombres mostrarán mejores puntuaciones que las mujeres en el *Bench Trunk Curl test* (**Estudio 2**).

IV. Considerando el estudio de Dejanovic et al. (2013) sobre el efecto de la edad en el rendimiento de adolescentes en test de resistencia isométrica del tronco, no se encontrarán diferencias en los resultados del *Bench Trunk Curl test* entre diferentes grupos de edad (14, 15, 16, 17 y 18 años) (**Estudio 2**).

V. Las variables de fuerza isocinética analizadas en el **Estudio 3** mostrarán una buena fiabilidad relativa, con valores de CCI que posiblemente se encontrarán por encima de 0.80 (Delitto et al., 1991; Dvir y Keating, 2001; Karatas et al., 2002; Keller et al., 2001; Laughlin et al., 2009; Mayer et al., 1985; Newton y Waddell, 1993; Wessel et al., 1992). Por otro lado, según los resultados de los pocos estudios que han analizado la fiabilidad relativa de variables de resistencia isocinética ($CCI \leq 0.69$) (García-Vaquero et al., en prensa; Mayer et al., 1995), los valores de fiabilidad relativa en este tipo de variables serán moderados-bajos.

VI. Con respecto a la fiabilidad absoluta del test isocinético analizado en el **Estudio 3**, las variables de fuerza mostrarán valores bajos o moderados de ET (Delitto et al., 1991; Dvir y Keating, 2001; Laughlin et al., 2009; Wessel et al., 1992). Igualmente, atendiendo al único estudio que ha analizado la fiabilidad absoluta en las variables de resistencia isocinética (García-Vaquero et al., en prensa), el ET en dichas variables será bajo o moderado.

VII. Atendiendo a los estudios que han valorado la relación entre el rendimiento en test isocinéticos y test de campo (Clayton et al., 2011; Hall et al., 1992; Knudson, 2001; Knudson y Johnston, 1995; Mayer et al., 1995), las correlaciones analizadas en el **Estudio 3** serán nulas o bajas.

VIII. Basándonos en los principios básicos del entrenamiento (Enoka, 2008; Gonzáles y Gorostiaga, 1995; Zintl, 1991), la individualización del número de repeticiones realizadas

por cada participante en función de los resultados pre-entrenamiento obtenidos en el *Bench Trunk Curl test*, permitirá una mejora significativa de la resistencia de los músculos flexores del tronco en adolescentes sin experiencia previa en programas estructurados de ejercicios para el acondicionamiento de los músculos del tronco (**Estudio 4**).

IX. Teniendo en cuenta los resultados de estudios previos que han analizado el efecto de diversas frecuencias de entrenamiento sobre la condición física de músculos flexores (Vera-García, 2003) y rotadores del tronco (DeMichele et al., 1997), frecuencias de 2 y 3 días/semana serán más efectivas que una frecuencia de 1 día/semana para mejorar la resistencia abdominal (**Estudio 4**).



ESTUDIO 1. Fiabilidad de test de campo para valorar la resistencia de la musculatura del tronco: Efecto de la antropometría y el sexo.

Casto Juan-Recio

David Barbado Murillo

Alejandro López-Valenciano

Francisco Ayala Rodríguez

Francisco J. Vera-García



Basado en:

Test de campo para valorar la resistencia de la musculatura del tronco.

Juan-Recio, C., Barbado, D., López-Valenciano, A. y Vera-Garcia, F. J.

Apunts. Educación Física y Deportes. Abril 2014, 117(3); páginas 59-68.

[http://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2014/3\).117.06](http://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2014/3).117.06)

3. Resumen

El *Biering-Sorensen test* (BST), el *Side Bridge test* (SBT) y el *Ito test* (IT) son tres de los test de campo más utilizados para medir la resistencia isométrica de los músculos del tronco. El objetivo de este estudio fue analizar la fiabilidad absoluta y relativa de los test referidos, así como valorar el efecto de la antropometría y el sexo de los participantes en el rendimiento de las pruebas. En el estudio participaron 45 jóvenes universitarios físicamente activos (27 hombres y 18 mujeres). Los participantes realizaron dos sesiones de registro en las que se ejecutaron los tres test y se midieron diversas variables antropométricas. Posteriormente, se realizaron otras tres sesiones de registro, realizando cada uno de los test en una de estas sesiones. La fiabilidad relativa fue muy buena, con coeficientes de correlación intraclase mayores de 0.75 en todos los test, mientras que la fiabilidad absoluta mostró valores altos de error típico (13.36% <hombres< 19.89%; 10.17% <mujeres< 29.99%). El análisis de la varianza mostró diferencias significativas entre sesiones para el BST y el SBT y entre sexos en el BST, mostrando las mujeres mejores resultados que los hombres (hombres= 161.93 ± 52.24 s; mujeres: 193.72 ± 53.16 s). Los resultados del IT mostraron una correlación negativa con la masa en ambos sexos (hombres: $r = -.436$; $p = .026$; mujeres: $r = -.562$; $p = .019$) y con el diámetro bileocrestal ($r = -.735$; $p = .001$) y el diámetro biacromial ($r = -.745$; $p = .001$) en mujeres. Los resultados del BST correlacionaron negativamente con el diámetro biacromial en hombres ($r = -.379$; $p = .050$), mientras que los resultados del SBT mostraron una correlación negativa con la masa ($r = -.703$; $p < .001$), el diámetro bileocrestal ($r = -.672$; $p < .001$), el diámetro biacromial ($r = -.601$; $p = .001$) y el índice acromio-iliaco ($r = -.493$; $p = .010$) en hombres y con la longitud relativa de las extremidades inferiores ($r = -.493$; $p = .038$) en mujeres. En conclusión, los tres test mostraron una buena fiabilidad en hombres y mujeres, si bien los valores altos de error típico recomiendan su uso en ámbitos donde los participantes tengan amplios márgenes de mejora, como por ejemplo el deporte recreativo, la educación física, el fitness y la salud. Asimismo, el BST y SBT requieren periodos de familiarización extensos para eliminar el efecto de aprendizaje. Finalmente, atendiendo a los

resultados del análisis de regresión lineal y del análisis de la varianza, si se realizan comparaciones entre sujetos en el SBT y el IT, es importante tener en cuenta sus diferencias antropométricas; por otro lado, si las comparaciones se realizan en el BST, es necesario considerar tanto las diferencias antropométricas como el sexo de los participantes.

Palabras clave: evaluación, core, función muscular, masa, consistencia.

3.1 Método.

3.1.1 Participantes.

Un total de 45 estudiantes universitarios (27 hombres: 23.5 ± 4.0 años, 75.7 ± 10.3 kg, 177.4 ± 7.2 cm; 18 mujeres: 25.0 ± 6.7 años, 62.7 ± 6.4 kg, 166.1 ± 3.1 cm) y físicamente activos (1-3 h de actividad física moderada, 3-4 veces a la semana) participaron voluntariamente en el estudio. Los participantes rellenaron un cuestionario sobre su historial médico y físico-deportivo para evaluar el estado de salud y la práctica habitual de actividad física. Los criterios de exclusión para este estudio fueron: tener problemas médicos conocidos o episodios de dolor de espalda en los seis meses previos a la investigación o que en el momento del estudio participaran en programas estructurados de ejercicios de tronco. Los participantes fueron advertidos de que no debían modificar su nivel de actividad física durante el tiempo que durase el estudio (especialmente en relación con los ejercicios de acondicionamiento de la musculatura del tronco), ni realizar actividad física vigorosa durante las 24 h previas a la realización de los test. Antes de iniciar la investigación, los participantes fueron informados de los riesgos del estudio y firmaron un consentimiento informado de acuerdo con la Declaración de Helsinki de 2013. Todos los procedimientos fueron aprobados por el Comité de Ética de Investigación de la Universidad.

3.1.2 Diseño.

Se utilizó el IT, el BST y el SBT para medir la resistencia isométrica de los flexores, extensores e inclinadores o flexores laterales del tronco, respectivamente. Siguiendo un calendario de registro,

cada uno de los participantes realizaron cinco sesiones de registro (separadas por periodos de 7 días), donde ejecutaron el IT, el BST y el SBT tres veces. En cada una de las dos primeras sesiones de registro se realizaron los tres test de forma contrabalanceada y con una recuperación de 8 min entre ellos, lo que permitió realizar un análisis de fiabilidad test-retest de cada una de las pruebas. Con el objeto de evitar que la ejecución de un test afectara sobre el resultado de otro test, en la tercera, cuarta y quinta sesión de registro, los test se realizaron por separado, es decir, se ejecutó un test en cada sesión. Los datos obtenidos en estas sesiones se utilizaron para analizar la relación entre los resultados de los test y las variables antropométricas.

Los participantes no realizaron ninguna sesión de familiarización previa a las sesiones de registro, lo que permitió evaluar el efecto de aprendizaje de los test.

3.1.3 Descripción de los test de resistencia de la musculatura del tronco.

▪ *Biering-Sorensen test* (Biering-Sørensen, 1984)

Para la evaluación de la resistencia de los músculos extensores del tronco, los participantes se colocaron en decúbito prono con la parte inferior del cuerpo apoyada en una camilla y la parte superior suspendida horizontalmente, con los brazos cruzados y las manos en contacto con los hombros (figura 1). Se hizo coincidir el borde de la camilla con las espinas iliacas antero-superiores y se fijaron las piernas a la camilla mediante unas cintas de Velcro® inextensibles situadas a la altura de los tobillos, rodillas y caderas. La prueba consistió en mantener el tronco en posición horizontal el mayor tiempo posible.



Figura 1: Participante ejecutando el Biering-Sorensen test. Antes y después del test, los participantes apoyaban la parte superior del cuerpo sobre un banco para evitar la fatiga muscular.

▪ *Ito test* (Ito et al., 1996)

Para la evaluación de la resistencia los músculos flexores del tronco, los participantes se colocaron en decúbito supino con las caderas y rodillas flexionadas a 90° (figura 2). Los brazos se colocaron entrelazados, con un ángulo de flexión de codo de aproximadamente 90°, de forma que cada mano agarraba la parte inferior del brazo contrario. A partir de esta posición, los participantes flexionaban la parte superior del tronco hasta tocar los muslos con los codos, manteniendo la columna cervical en posición neutra. Para normalizar el rango de movimiento a las características individuales de los participantes se realizó una modificación del test original (Ito, 1996), que consistió en limitar la subida del tronco hasta la posición de máxima flexión del tronco, sin despegar la zona lumbar de la esterilla (posición conocida como *Crunch* o *Curl-Up*). Para ello, antes de iniciar la prueba los participantes realizaron una flexión del tronco sin despegar la zona lumbar de la esterilla, al mismo tiempo que desplazaron sus codos y hombros hacia delante lo máximo posible. En esa posición, uno de los evaluadores acercó las piernas del participante hacia sus codos, hasta que ambas estructuras entraron en contacto. El evaluador fijó las piernas en dicha posición mientras el

participante volvió a la posición inicial antes de comenzar el test (figura 2A). Tras 1 min de recuperación, el sujeto flexionó el tronco para tocar los muslos con los codos (figura 2B) y comenzó la prueba. El test consistió en mantener la posición de flexión del tronco el mayor tiempo posible. Con el objeto de controlar la correcta posición del participante, otro evaluador colocó su puño cerrado entre la espalda del participante y la esterilla.

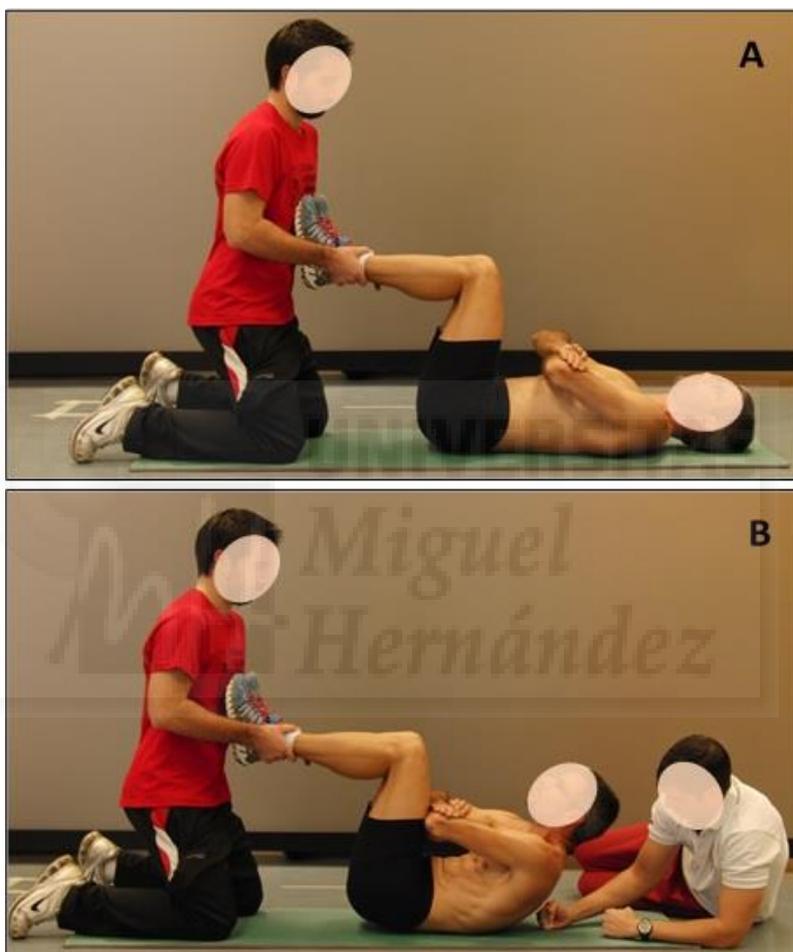


Figura 2: Participante ejecutando el Ito test: A) posición inicial; B) posición de encorvamiento del tronco.

▪ *Side-Bridge test* (McGill et al., 1999).

Para la evaluación de la resistencia los músculos inclinadores o flexores laterales del tronco, los participantes se colocaron en decúbito lateral sobre su lado dominante en una colchoneta (figura 3). El pie de la pierna del lado no dominante se colocó por delante del pie de la pierna del lado dominante, ambos en contacto y apoyados en la colchoneta, y la mano del brazo no dominante se

Características de test para la valoración de la resistencia de la musculatura del tronco

colocó sobre el hombro del lado contrario. En dicha posición, los participantes se apoyaron con el codo y el antebrazo de su lado dominante (codo en flexión de 90° y brazo perpendicular al suelo) y elevaron la pelvis hasta situar el tronco alineado con las extremidades inferiores (figura 3). La prueba consistió en mantener la posición referida el mayor tiempo posible.



Figura 3: Participante ejecutando el Side-Bridge test.

▪ Valoración antropométrica

Antes de cada sesión de registro, se realizaron varias medidas antropométricas a los participantes para analizar su posible influencia en los resultados de cada uno de los test: i) masa; ii) altura; iii) altura sentado, definida como la distancia entre el vértex y la superficie del asiento donde se sienta el sujeto; iv) diámetro bileocrestal (anchura de la parte inferior del tronco), definido como la distancia entre la espina iliaca antero-superior derecha e izquierda; v) diámetro biacromial (anchura de la parte superior del tronco), definido como la distancia entre los puntos acromiales derecho e izquierdo; vi) índice acromio-iliaco, es decir, la ratio entre los diámetros bileocrestal y biacromial; y vii) longitud relativa de las extremidades inferiores, definida como el cociente entre la altura ileoespinal y la altura corporal multiplicado por 100. Para la medición de estas variables se utilizaron los protocolos descritos por Cabañas et al. (2009).

3.1.4 Procedimiento

Los participantes recibieron feedback verbal durante la ejecución de las pruebas, siendo animados a mantener la postura el mayor tiempo posible cada vez que perdían la posición requerida o mostraban signos de fatiga. Los test finalizaron cuando los participantes no podían mantener la posición requerida, registrándose la duración de las pruebas (cronómetro digital CASIO HS-30W-N1V) como resultado de los test.

Cada participante realizó los test en una sala climatizada y a la misma hora del día. Todos ellos fueron informados de que no debían realizar actividad física vigorosa en las 24 h previas a las sesiones de evaluación, así como no ingerir en exceso comida y/o bebida antes de la prueba.

3.1.5 Análisis estadístico

La prueba de Kolmogorov-Smirnov confirmó la distribución normal de todas las series de datos ($p > .05$). Posteriormente, se calcularon los estadísticos descriptivos (media y desviación estándar) para cada una de las variables: duración del IT, duración del BST, duración del SBT, masa, altura, altura sentado, diámetro bileocrestal, diámetro biacromial, índice acromio-iliaco y longitud relativa de las extremidades inferiores.

Se llevaron a cabo dos análisis de la varianza (ANOVA): 3 (IT, BST, SBT) x 2 (sesión 1, sesión 2) x 2 (hombres, mujeres) y 7 (masa, altura, altura sentado, diámetro bileocrestal, diámetro biacromial, índice acromio-iliaco, longitud relativa de las extremidades inferiores) x 2 (sesión 1, sesión 2) para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en los resultados obtenidos por los participantes en cada una de las medidas y sesiones de valoración. En el caso de identificar diferencias significativas, se aplicó la prueba post hoc de Bonferroni para las comparaciones por pares.

Se analizó la posible existencia de heterocedasticidad en cada una de las variables. Los datos fueron logarítmicamente transformados para reducir el sesgo derivado de la no-uniformidad del error.

Fiabilidad.

La fiabilidad relativa de las diferentes medidas fue analizada mediante el $CCI_{2,1}$, calculando sus límites de confianza (LC) al 90%. La interpretación cualitativa de los valores del estadístico $CCI_{2,1}$ se basó en la propuesta establecida por Hopkins: < 0.30, bajo; 0.30-0.49, moderado; 0.50-0.69, grande; 0.70-0.90; muy grande; > 0.90, casi perfecta (Hopkins, Marshall, Batterham y Hanin, 2009).

La fiabilidad absoluta inter-sesión de cada uno de los test de resistencia y de las variables antropométricas se determinó a través de los estadísticos: cambio en la medida (CM), ET (% variabilidad intrasujeto) y mínimo cambio detectable (MCD) (Hopkins, 2000a).

Para interpretar el CM de forma cualitativa, se realizó un análisis de inferencia basado en la magnitud de los test (IT, SBT, BST) y el sexo, utilizando una hoja de cálculo diseñada por Hopkins (2007), a través de una prueba t de Student, calculada para examinar el cambio de las puntuaciones en cada variable entre sesiones de evaluación pareadas (sesión 2 – sesión 1). Este análisis determina la probabilidad de que los verdaderos efectos sean sustanciales o triviales cuando se introduce un valor para el cambio sustancial más pequeño. Partiendo del concepto del tamaño del efecto de Cohen (Cohen, 1992), algunos autores han sugerido como cambio sustancial más pequeño 0.20 unidades estandarizadas (que es una fracción de la desviación estándar entre sujetos) (Hopkins, 2009). El valor de 0.20 indica las probabilidades de que el verdadero efecto sea al menos pequeño. Para la realización de inferencia sobre el valor real del efecto, la incertidumbre del efecto se expresó a través de su intervalo de confianza al 90% y como probabilidad de que el verdadero valor del efecto representara un cambio sustancial (negativo, positivo o trivial). La probabilidad de que el CM fuese positivo, negativo o trivial, se interpretó de acuerdo a la siguiente escala: < 1%, seguramente trivial; 1-5%, muy probablemente trivial; 6-25%, probablemente trivial; 26-75%, posiblemente positivo o

negativo; 76-95%, probablemente positivo o negativo; 95-99%, muy probablemente positivo o negativo; > 99% seguramente positivo o negativo. La inferencia fue calificada como “no clara” cuando el intervalo al 90% del CM coincidió con ambos niveles (beneficioso y perjudicial) (Batterham y Hopkins, 2006; Hopkins et al., 2009).

El porcentaje del ET fue establecido usando los datos transformados logarítmicamente mediante la siguiente fórmula: $100(e^s - 1)$, donde ‘s’ es el ET (desviación estándar de la diferencia entre la sesión 1 y la sesión 2 dividido entre $\sqrt{2}$). Por último el MCD fue calculado multiplicando el ET por 1.5 con un intervalo de confianza del 75% (MCD_{75}) (Hopkins, 2000a).

Análisis de regresión lineal.

Se utilizó un análisis de regresión múltiple, mediante el método “hacia delante” para evaluar la relación entre las variables antropométricas y los resultados obtenidos en cada uno de los test de resistencia. Para ello se calculó la ecuación de estimación, el ET de la estimación (ET_{EST}) y un análisis de correlación (coeficiente de Pearson), empleando para ello la metodología descrita por Hopkins et al (2009). Así, la ecuación de estimación fue calculada como la ecuación generada tras representar gráficamente y establecer una línea recta con los valores de las diferentes pruebas transformados logarítmicamente ($y = \text{pendiente} * X + \text{intersección}$). A partir de esta fórmula, se calcularon los parámetros alométricos, con los que se normalizaron los resultados obtenidos en las diferentes pruebas, mediante la siguiente fórmula: T/X^y , donde “T” es el resultado en el test, “X” el valor de la variable antropométrica e “y” la pendiente de la recta o parámetro alométrico. El ET_{EST} fue calculado como la media del ET de la diferencia entre los valores obtenidos en cada una de las pruebas para cada uno de los participantes, y fue expresado como desviación estándar. Para interpretar los valores de ET_{EST} , Hopkins (2000b, 2000c) sugiere calcular el ET_{EST} estandarizado ($ET_{EST} / \text{desviación estándar}$) de la medida criterio y posteriormente aplicar la siguiente escala de valores: <0.2 trivial; ≥ 0.2 pequeño; ≥ 0.6 moderado; ≥ 1.2 largo y ≥ 2.0 muy largo.

La hipótesis nula fue rechazada al nivel de significación del 95% ($p \leq .05$). El análisis estadístico se realizó con el programa PASW statistics (versión 18.0 para Windows 7; SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

3.2 Resultados.

La tabla 1 muestra los estadísticos descriptivos (media + desviación estándar) y los estadísticos de fiabilidad (%CM, %ET, %MCD y CCI) de los diferentes test de tronco separados por sesión y sexo. El ANOVA mostró un efecto significativo en el factor intra-sujeto *sesión* en el BST ($p \leq .001$; $F = 15.743$) y el SBT ($p = .038$; $F = 4.58$), pero no en la interacción *sesión*sexo* en ninguno de los test ($p > .050$). Así mismo, el ANOVA encontró diferencias significativas en el factor inter-sujeto *sexo* para el BST ($p = .021$; $F = 5.741$), mostrando las mujeres mayores valores que los hombres.

Fiabilidad inter-sesión.

El %ET osciló entre el 13.36% del BST y el 18.14% del IT en hombres ($20.04 < \%MCD < 29.83$) y entre el 9.69% del BST y el 26.23% del IT en mujeres ($15.25 < \%MCD < 44.98$). Por su parte, el CCI fue mayor de 0.80 en hombres y de 0.71 en mujeres en todos los test. El estadístico CM mostró que las diferencias entre sesiones en los resultados del BST fueron “probablemente positivas” mientras que para el IT y el SBT fueron “probablemente triviales”. Por último, la diferencia entre hombres y mujeres fue “muy probablemente positiva” para el BST, mientras que para el IT y el SBT las diferencias se mostraron “no claras”, requiriendo más datos para su estimación.

Tabla 1: Estadísticos descriptivos y fiabilidad absoluta y relativa del Ito test (IT), Biering-Sorensen test (BST) y Side Bridge test (SBT) por sexo.

Variables		Sesión 1 (media±DE)	Sesión 2 (media±DE)	%CM (media - 90% LC) ^a	%Error típico (media - 90% LC)	%MCD ₈₀	CCI _(2,1) (media - 90% LC)
IT (s)	Hombres	90.85±33.93	90.63±43.57	-2.54 (-10.41-6.02)	19.89 (15.99-26.60)	29.83	0.80 (0.65-0.89)
	Mujeres	100.11±60.68	105.22±66.94	5.11 (-9.72-22.38)	29.99 (22.87-44.38)	44.98	0.71 (0.44-0.86)
	Total	94.55±46.08	96.46±53.90	0.45 (-6.96-8.44) ¥	24.13 (20.25-30.05)	36.19	0.75 (0.61-0.84)
BST (s)	Hombres	143.41±42.53	161.93±52.24 †	12.44 (6.08-19.18) *	13.36 (10.80-17.71)	20.04	0.84 (0.72-0.91)
	Mujeres	178.28±42.53	193.72±53.16 †	7.80 (1.91-14.03) *	10.17 (7.90-14.53)	15.25	0.89 (0.76-0.95)
	Total	157.35±45.45	174.64±54.34*	10.56 (6.16-15.14) §	12.14 (10.27-14.95)	18.21	0.87 (0.79-0.92)
SBT (s)	Hombres	117.74±36.52	122.48±43.88	2.38 (-3.89-9.06)	14.59 (11.78-19.37)	20.43	0.87 (0.76-0.93)
	Mujeres	100.50±38.35	109.61±43.29	8.22 (-0.74-17.98)	16.06 (12.40-23.19)	22.35	0.87 (0.73-0.94)
	Total	110.84±37.81	117.33±43.61*	4.67 (-0.43-10.04) ¥	15.15 (12.79-18.70)	22.72	0.86 (0.79-0.92)

s: segundos; DE: desviación estándar; LC: límites de confianza; CM: Cambio en la media; ¥: cambio probablemente trivial; §: cambio probablemente positivo o negativo; * cambio muy probablemente positivo o negativo; MCD: mínimo cambio detectable; CCI: coeficiente de correlación intraclase; * Diferencias significativas entre sesiones ($p \leq .05$); † Diferencias significativas entre sexos ($p \leq .05$).

Características de test para la valoración de la resistencia de la musculatura del tronco

La tabla 2 muestra los estadísticos descriptivos y de fiabilidad absoluta y relativa entre sesiones para cada una de las variables antropométricas. En general, todas las variables antropométricas mostraron buenos valores de fiabilidad absoluta y relativa (hombres: 3.40% >ET> 0.27%, 1.00 >CCI> 0.70; mujeres: 4.67% >ET> 0.22%, 1.00 >CCI> 0.48). Por otro lado, el ANOVA mostró un ligero descenso significativo en la masa de los hombres ($p = .015$; $F = 6.92$), representando un cambio “seguramente trivial”.



Tabla 2: Estadísticos descriptivos y fiabilidad absoluta y relativa de las variables antropométricas.

Variables		Sesión 1	Sesión 2	%CM	%Error típico	CCI _(2,1)
		(media±DE)	(media±DE)	(media - 90% LC)	(media - 90% LC)	(media - 90% LC)
Masa (kg)	Hombres	75.84±10.22	75.52±10.53*	-0.54 (-0.87- -0.20) ⌘	0.69 (0.56-0.91)	1.00 (1.00-1.00)
	Mujeres	60.90±7.42	61.06±7.67	0.05 (-0.39-0.49)	0.74 (0.57-1.04)	1.00 (0.99-1.00)
Altura (cm)	Hombres	177.45±7.14	177.49±7.52	-0.05 (-0.21-0.10)	0.27 (0.21-0.37)	1.00 (0.99-1.00)
	Mujeres	165.87±3.39	166.06±3.39	0.00 (-0.13-0.13)	0.22 (0.17-0.32)	0.99 (0.98-1.00)
Altura sentado (cm)	Hombres	146.59±3.38	146.70±3.27	0.18 (-0.16-0.52)	0.60 (0.48-0.84)	0.93 (0.86-0.97)
	Mujeres	141.82±2.56	141±2.09	-0.32 (-0.61-0.15)	0.89 (0.69-1.27)	0.74 (0.48-0.88)
D. Bileocrestal (cm)	Hombres	28.94±2.15	28.48±2.41	-0.82 (-1.90-0.28)	1.98 (1.56-2.75)	0.94 (0.87-0.97)
	Mujeres	27.94±1.86	27.49±1.52	-2.03 (-4.67-0.69)	4.67 (3.63-6.69)	0.48 (0.09-0.74)
D. Biacromial (cm)	Hombres	41.94±1.40	41.79±1.68	-0.38 (-1.52-0.77)	2.07 (1.63-2.88)	0.70 (0.42-0.86)
	Mujeres	37.91±1.52	37.54±1.37	-1.14 (-2.43-0.17)	2.15 (1.66-3.10)	0.73 (0.45-0.88)
Índice Acromio-iliaco	Hombres	69.00±4.38	68.13±4.78	-1.06 (-2.68- 0.59)	3.40 (2.74-4.53)	0.75 (0.56-0.87)
	Mujeres	73.09±3.13	74.26±2.96	1.33 (-0.29-2.97)	2.63 (2.03-3.80)	0.63 (0.30-0.83)
LREI (cm)	Hombres	55.38±2.80	55.03±2.06	-0.21 (-1.22-0.81)	1.82 (1.44-2.53)	0.85 (0.69-0.93)
	Mujeres	55.14±1.36	54.77±1.64	-0.67 (-1.38-0.04)	1.21 (0.94-1.72)	0.83 (0.65-0.92)

kg: kilogramos; cm: centímetros; DE: desviación estándar; CM: cambio en la media; LREI: longitud relativa de las extremidades inferiores; ⌘: cambio seguramente trivial; LC: límites de confianza; CCI: índice de correlación intraclase; * Significación: $p < .05$.

Regresión lineal.

Por su parte, la tabla 3 muestra las correlaciones entre las variables antropométricas y los resultados de los test. El IT mostró una correlación negativa con la masa en hombres ($r = -.436$; $p = .026$) y en mujeres ($r = -.562$; $p = .019$) y con el diámetro bileocrestal ($r = -.735$; $p = .001$) y el diámetro biacromial ($r = -.745$; $p = .001$) en mujeres. El BST correlacionó negativamente con el diámetro biacromial ($r = -.379$; $p = .050$) en hombres, mientras que el SBT mostró una correlación negativa con la masa ($r = -.703$; $p < .001$), el diámetro bileocrestal ($r = -.672$; $p < .001$), el diámetro biacromial ($r = -.601$; $p = .001$) y el índice acromio-iliaco ($r = -.493$; $p = .010$) en hombres y con la longitud relativa de las extremidades inferiores ($r = -.493$; $p = .038$) en mujeres.



Tabla 3: Correlaciones entre las variables antropométricas, el Ito test (IT), el Biering-Sorensen test (BST) y el Side Bridge test (SBT) por sexo.

		IT	BST	SBT	Masa	Altura	Altura sentado	LREI	Diámetro Bileocrestal	Diámetro Biacromial	Índice Acromio-iliaco
IT	Hombres	-	.118	.356 †	-.436*	-.171	-.191	-.161	-.275	-.303	-.170
	Mujeres	-	.246	.233	-.562*	-.296	-.460 †	-.110	-.735**	-.747**	-.217
BST	Hombres	-	-	.195	-.227	-.125	-.223	.058	-.369 †	-.379*	-.243
	Mujeres	-	-	.430 †	-.252	-.136	-.136	.002	-.096	.265	-.291
SBT	Hombres	-	-	-	-.703**	-.326	-.140	-.222	-.672**	-.601**	-.493*
	Mujeres	-	-	-	-.302	-.193	.033	-.493*	-.204	-.420 †	.201

LREI: longitud relativa de las extremidades inferiores; * Significación: $p \leq .05$; ** Significación: $p \leq .001$; † Significación: $.05 < p < .10$.

Tras el análisis de regresión lineal, la ecuación del modelo para el IT en hombres fue:

$$Y = -1.479 * Masa + 11.006 \quad (1)$$

La pendiente de la línea de regresión (parámetro alométrico) entre la masa y los resultados del IT fue de -1.479 con una $R^2 = 0.19$ (figura 4A). Estos parámetros indican que si se quiere corregir el efecto de la masa en los resultados del IT en hombres, se debería dividir el tiempo obtenido en el test (T) entre la masa (M) elevada al parámetro $a = -1.479$ ($T/M^{-1.479}$).

Por su parte, la ecuación del modelo para el IT en mujeres fue:

$$Y = -9.642 * Diametro\ Biacromial + 39.588 \quad (2)$$

El parámetro alométrico fue -9.642 para el diámetro biacromial, con una $R^2 = 0.687$ (figura 5A). Como en el caso de los hombres, estos parámetros indican que si se quiere corregir el efecto de la masa en los resultados del IT en mujeres, se debería dividir el tiempo obtenido en el test (T) entre el diámetro biacromial elevada al parámetro $a = -9.642$ ($T/M^{-9.642}$).

La normalización mediante los parámetros alométricos permitió calcular los valores del IT para hombres y mujeres independientes del efecto de las variables antropométricas (figuras 4B y 5B): hombres: $r = -.065$; $p = .754$; mujeres: $r = -.072$; $p = .783$.

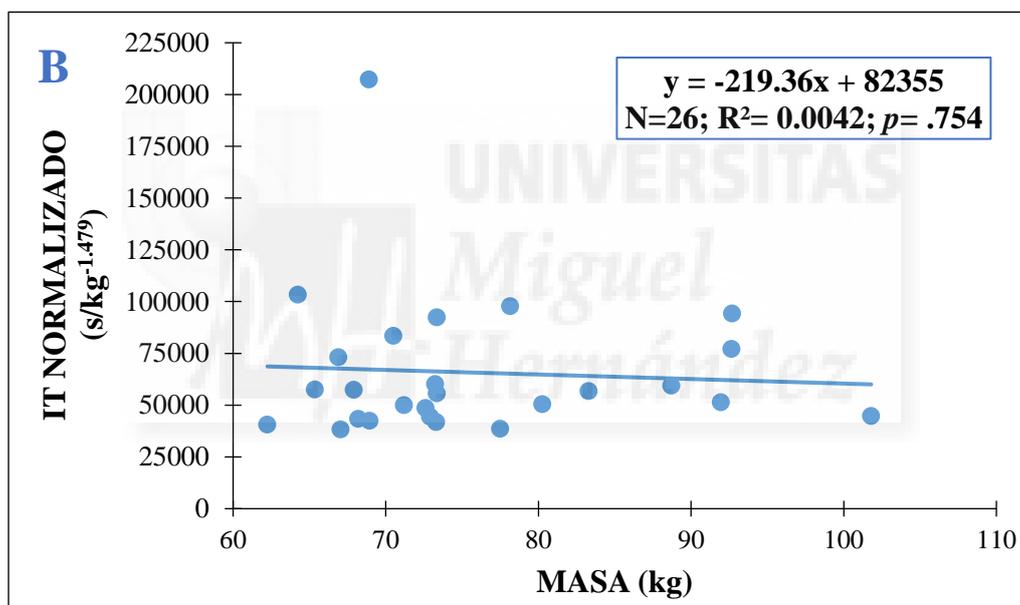
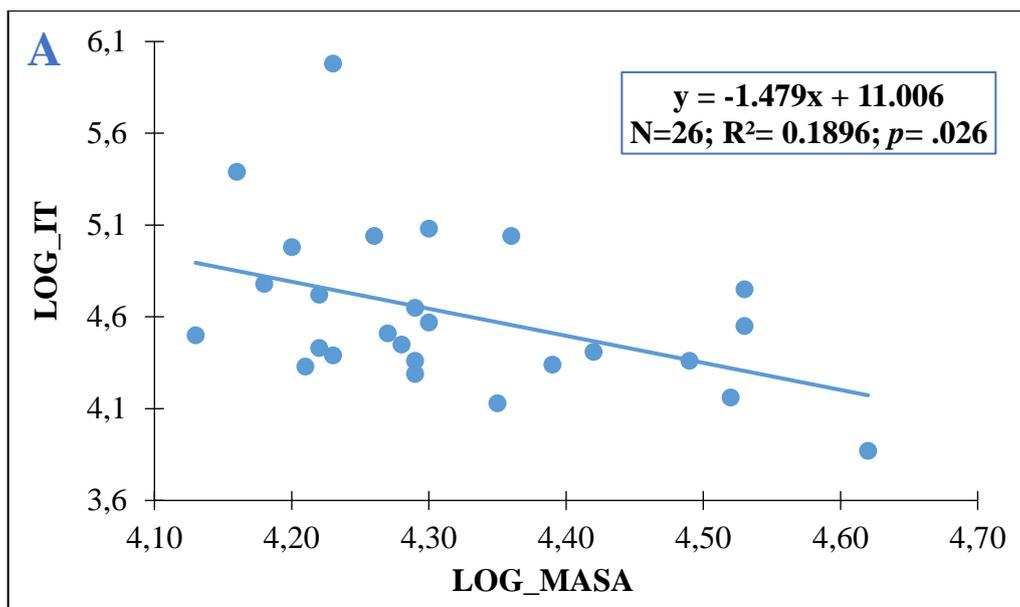


Figura 4: Relación entre la masa del cuerpo y los resultados del Ito test (IT) en hombres: A) después de la transformación logarítmica; B) después de la normalización alométrica.

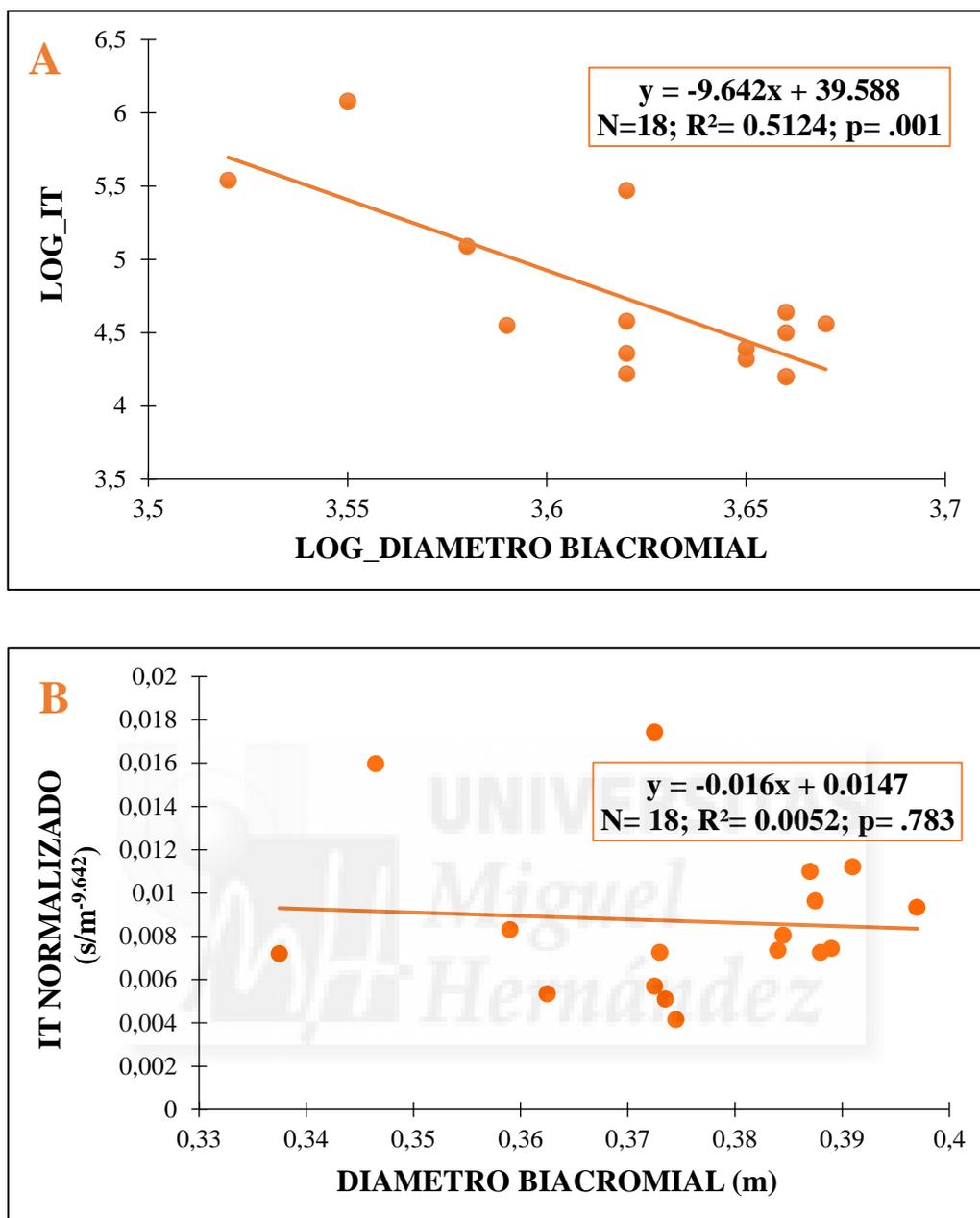


Figura 5: Relación entre el diámetro biacromial y los resultados del Ito test (IT) en mujeres: A) después de la transformación logarítmica; B) después de la normalización alométrica.

Por su parte, la ecuación del modelo para el BST en hombres fue:

$$Y = -3.289 * \text{Diámetro Biacromial} + 19.407 \quad (3)$$

La pendiente de la línea de regresión (parámetro alométrico) para el diámetro biacromial y los resultados del BST fue de -3.289, con una $R^2 = 0.14$ (figura 6A). La normalización permitió eliminar el efecto del diámetro biacromial de los valores del BST en hombres ($r = -.021$; $p = .918$) (figura 6B). El análisis de regresión lineal no encontró ningún modelo significativo para las mujeres.



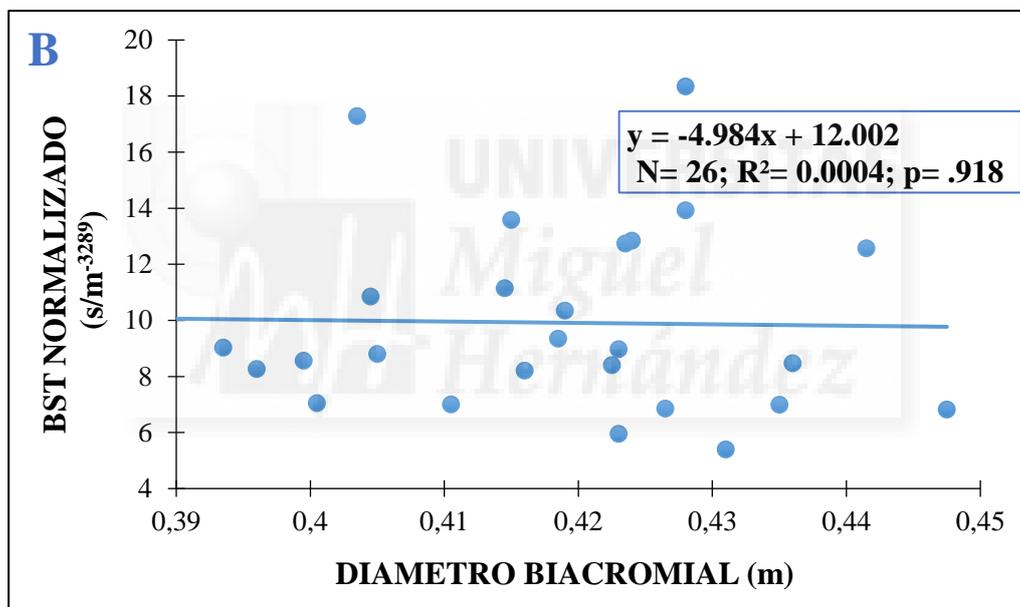
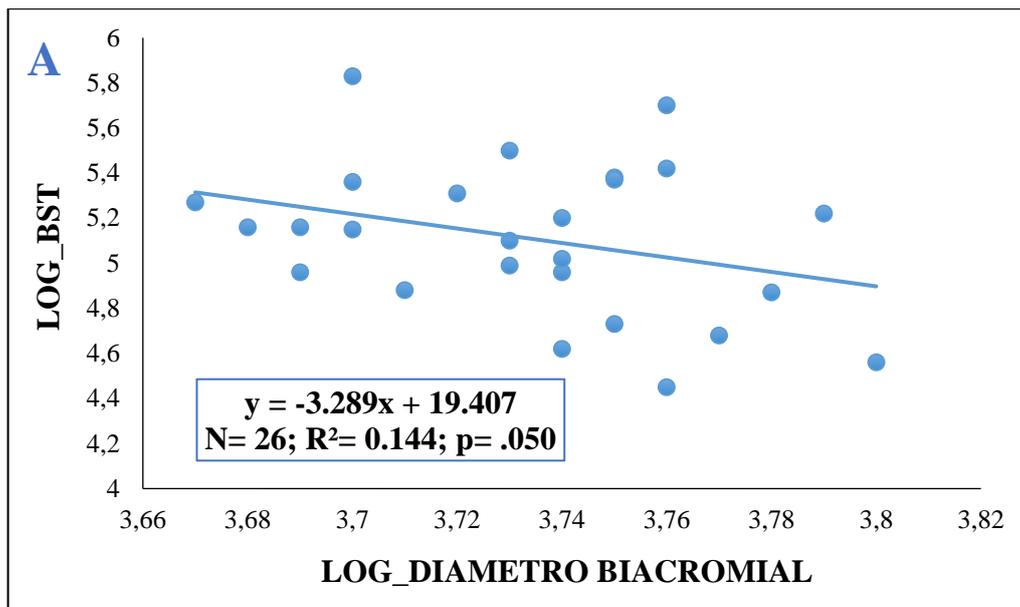


Figura 6: Relación entre el diámetro biacromial y los resultados del Biering-Sorensen test (BST) en hombres: A) después de la transformación logarítmica; B) después de la normalización alométrica.

Por último, la ecuación del modelo para el SBT en hombres fue:

$$Y = -1.399 * Masa + -3.301 * Diametro Biacromial + 23.137 \quad (4)$$

Los parámetros alométricos, fueron por lo tanto, -1.399 y -3.301 para la masa y el diámetro biacromial, respectivamente, con una $R^2 = 0.58$ (figura 7A). En cuanto a las mujeres, el análisis de regresión lineal mostró la siguiente ecuación con una $R^2 = 0.24$ (figura 8A):

$$Y = -8.283 * longitud\ relativa\ de\ las\ extremidades\ inferiores + 37.865 \quad (5)$$

Por lo tanto, el parámetro alométrico para la longitud relativa de las extremidades inferiores fue de -8.283. La normalización permitió eliminar el efecto de las variables antropométricas de los valores del SBT en hombres ($r = -.001$; $p = .984$) (figura 7B) y de la longitud relativa de las extremidades inferiores en mujeres ($r = -.0032$; $p = .822$) (figura 8B).

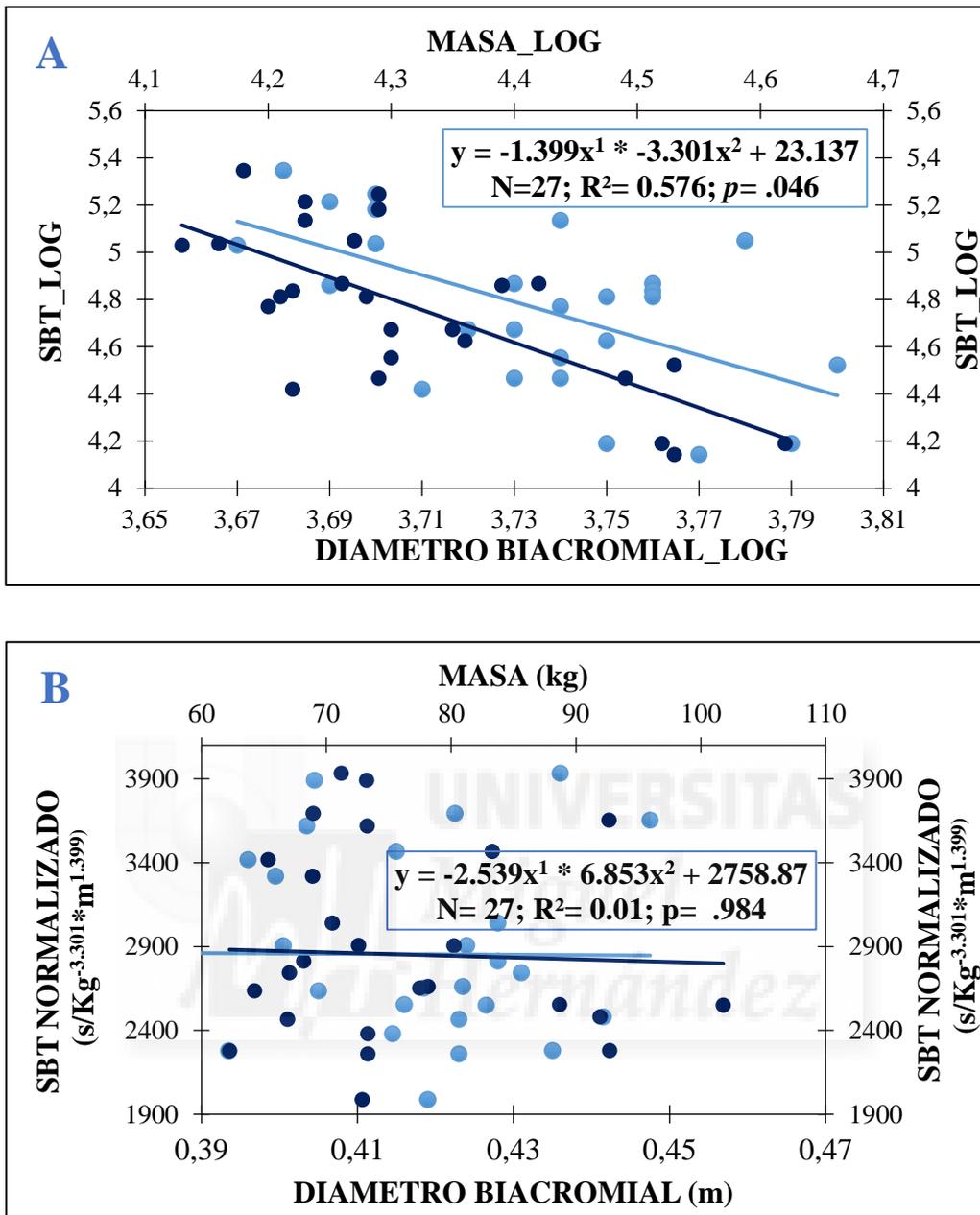


Figura 7: Relación entre la masa y diámetro biacromial y los resultados del Side Bridge test (SBT) en hombres: A) después de la transformación logarítmica; B) después de la normalización alométrica.

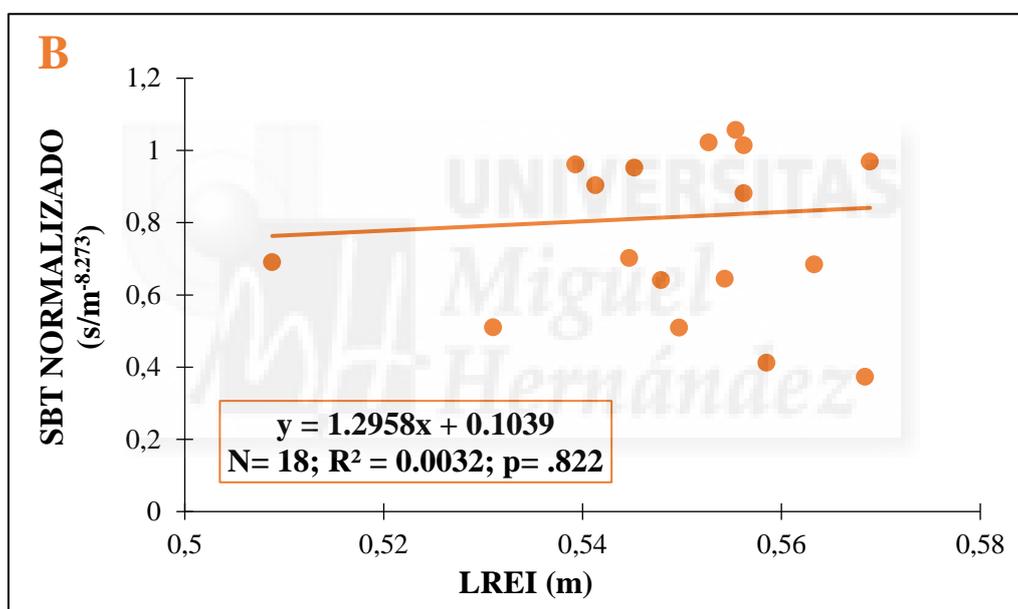
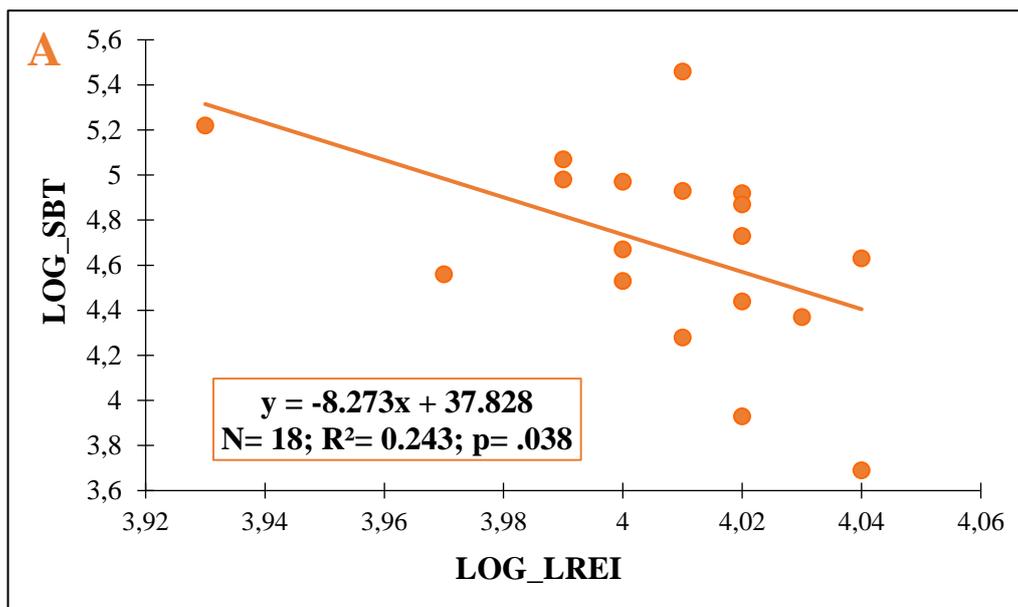


Figura 8: Relación entre la longitud relativa de las extremidades inferiores (LREI) y los resultados del Side Bridge test (SBT) en mujeres: A) después de la transformación logarítmica; B) después de la normalización alométrica.

Por último, la tabla 4 muestra los parámetros de los modelos de regresión para los test de resistencia. La varianza explicada osciló entre el 14% para el BST (diámetro biacromial) y el 58% para el SBT (masa + diámetro biacromial) en hombres y entre el 24% en el SBT (longitud relativa de las extremidades inferiores) y el 56% en el IT (diámetro biacromial) en mujeres. Como se observa en la tabla, todos los modelos mostraron un gran error de la estimación estandarizado.

Tabla 4: Parámetros de los modelos de regresión para el Ito test (IT), el Biering-Sorensen test (BST) y el Side Bridge test (SBT) por sexo.

Test	Sexo	Variabes predictoras	β	90% LC	ET ^a	R ²	p
IT	Hombres	Peso	-1.479	-2.55 – -0.41	0.92	0.19	.026
	Mujeres	Diámetro Biacromial	-9.562	-13.63 – -5.50	0.69	0.56	.001
BST	Hombres	Diámetro Biacromial	-3.829	-7.09 – -0.57	0.94	0.14	.050
	Mujeres	–	–	–	–	–	–
SBT	Hombres	Peso	-1.399	-2.10 – -0.70	0.73	0.58	.046
		Diámetro Biacromial	-3.301	-5.99 – -0.61	0.82		
	Mujeres	LREI	-8.288	-14.67 – -1.90	0.90	0.24	.038

β : parámetro alométrico; LC: límites de confianza; ET: error típico de la estimación estandarizado; R²: varianza explicada; LREI: longitud relativa de las extremidades inferiores..

3.3 Discusión.

Los test de campo son herramientas muy útiles para medir la resistencia de los músculos del tronco, ya que su aplicación resulta relativamente sencilla y no requieren de material costoso. Estos test utilizan el cuerpo de los participantes como principal instrumento de medida, por lo que el rendimiento en los mismos puede estar influenciado por sus características antropométricas. El presente estudio examinó la fiabilidad test-retest de tres de los test de campo más utilizados para evaluar la resistencia estática de los flexores, extensores e inclinadores del tronco (IT, BST y SBT, respectivamente), el efecto del sexo en los resultados de los mismos, así como las posibles relaciones entre los resultados de cada uno de los test y diversas variables antropométricas.

Fiabilidad inter-sesión.

La fiabilidad relativa de los tres test de campo fue muy alta, con valores de $CCI > 0.75$ (Hopkins, 2000b), demostrando su capacidad para discriminar correctamente las diferencias en el rendimiento en estas pruebas en jóvenes universitarios físicamente activos. Estos datos apoyan los obtenidos previamente por otros autores, los cuales obtuvieron CCI de 0.95 para el IT (Ito et al., 1996) y mayores de 0.75 para el BST (Chan, 2005; del Pozo-Cruz et al., 2014; Demoulin et al., 2006; Evans et al., 2007; McGill et al., 1999; Udermann et al., 2003) y el SBT (Chan, 2005; del Pozo-Cruz et al., 2014; Evans et al., 2007; Greene et al., 2012; McGill et al., 1999). Sin embargo, aunque estos resultados muestran una tendencia clara, no es adecuado establecer comparaciones directas entre los estudios, ya que el CCI es sensible a la heterogeneidad de la muestra (Hopkins, 2000b; Weir, 2005).

En cuanto a la fiabilidad absoluta, algunos autores han sugerido que ET menores del 10% representan niveles de fiabilidad aceptables (Stokes, 1985). Aunque este criterio puede ser un tanto arbitrario (Atkinson y Nevill, 1998), los resultados obtenidos en nuestro estudio (valores de ET superiores al 10% en todos los test, tanto en hombres como en mujeres) cuestionan la fiabilidad absoluta de los test analizados. Por otra parte, si observamos los valores del MCD (18.21% $<MCD < 36.19\%$), serían necesarios cambios relativamente grandes en los resultados obtenidos en los test para asegurar con certeza que se ha producido un cambio real tras una intervención y, por tanto, que los cambios no se deben simplemente a errores en la medida. Posiblemente, los niveles de fiabilidad absoluta del IT, BST y SBT podrían ser aceptables en determinados contextos en función del nivel de condición física de los deportistas; por ejemplo, en programas de entrenamiento desarrollados en el ámbito de la salud, el fitness y la educación física, donde los participantes suelen tener una reserva potencial de adaptación elevada (Brotons-Gil et al., 2013; Durall et al., 2009; Kumar et al., 2015; Oliver et al., 2010; Verna et al., 2002). Por el contrario, el nivel de fiabilidad absoluta del IT, BST y SBT no parece adecuado para el uso de estas pruebas en el alto rendimiento o con personas

altamente entrenadas, ya que el porcentaje de mejora de un deportista disminuye conforme aumenta su nivel de condición física (Kraemer y Ratamess, 2004).

Para realizar un análisis completo de la fiabilidad de los test de campo es necesario considerar también el efecto de su repetición sobre los resultados de los participantes (Brotons-Gil et al., 2013). Como se observa en la tabla 1, se produjo un efecto de aprendizaje en el BST y en el SBT, ya que la media de los resultados obtenidos aumentó significativamente (BST: 10.56%; SBT: 4.67%) entre la primera y la segunda sesión de registro, representando un cambio en la media “probablemente positivo” en el BST y “probablemente trivial” en el SBT. Por tanto, dos repeticiones de estas pruebas no parecen suficientes para conseguir resultados estables que permitan tomar decisiones ajustadas a la verdadera condición inicial de los participantes, sino que es recomendable realizar una o varias sesiones de familiarización previa, para que antes de realizar las medidas reales, los participantes experimenten pequeñas modificaciones posturales que puedan mejorar el rendimiento en la prueba o para que aprendan a tolerar mejor las sensaciones de fatiga que aparecen durante su desarrollo.

Diferencias entre sexos.

En cuanto a la comparación por sexo, las mujeres mostraron un mayor rendimiento en el BST (mujeres: 193.72 ± 53.16 s; hombres: 161.93 ± 52.24 s; $p = .021$; $F = 5.741$). A excepción de unos pocos estudios (Alaranta et al., 1994; Gronblad, Hurri y Kouri, 1997; Moffroid et al., 1994), los resultados de la mayoría de estudios muestran que las mujeres son capaces de mantener el tronco suspendido más tiempo que los hombres durante la ejecución del BST (Biering-Sørensen, 1984; Dederig, Nemeth y Harms-Ringdahl, 1999; Kankaanpää et al., 1998; Mannion, Connolly, Wood y Dolan, 1997; Mannion y Dolan, 1994; McGill et al., 1999; Umezu, Kawazu, Tajima y Ogata, 1998). Varias hipótesis se han propuesto para explicar esta diferencia relacionada con el sexo (Biering-Sørensen, 1984; Jorgensen, 1997; Kankaanpää et al., 1998; Macintosh, Bogduk y Percy, 1993; Mannion, Connolly, et al., 1997; Mannion y Dolan, 1994; McGill et al., 1999; Tveit, Daggfeldt, Hetland y

Thorstensson, 1994), si bien, las teorías más aceptadas, son las relacionadas con la distribución de la masa corporal en diferentes partes del cuerpo (p.e., mayor masa en la parte superior del cuerpo en los hombres) y con la composición muscular (mayor proporción de fibras lentas Tipo I en la sección transversal del área del músculo en las mujeres, etc) (Mannion et al. 1997).

A diferencia de estudios previos (Evans et al., 2007; Leetun et al., 2004; McGill et al., 1999), no se encontraron diferencias significativas entre sexos en el SBT, aunque los hombres obtuvieron mejores puntuaciones que las mujeres (122.48 s vs. 109.61 s). De igual modo, a diferencia del estudio llevado a cabo por Ito et al. (1996), donde los hombres mostraron mejores resultados que las mujeres en el IT, tampoco se encontraron diferencias significativas en la resistencia isométrica de la musculatura flexora, mostrando las mujeres mayores valores que los hombres (105.22 s vs. 90.63 s). Generalmente, las diferencias en la resistencia isométrica del tronco entre hombres y mujeres se suele atribuir a diferencias morfológicas (Evans et al., 2007), como las comentadas anteriormente sobre el porcentaje de fibras lentas Tipo I y la distribución de la masa corporal. En este estudio, las diferencias entre sexos fueron menores que en estudios previos debido posiblemente a la mejor condición física de las mujeres que participaron en nuestro estudio (deportistas recreativas), lo que pudo reducir las diferencias morfológicas entre sexos.

Análisis de regresión lineal.

Por lo que respecta a la relación entre las características antropométricas de los participantes y los resultados obtenidos en los diferentes test (tabla 3), los datos obtenidos en el presente estudio mostraron una correlación negativa significativa entre la masa y los resultados del IT en hombres ($r = -0.436$; $p = .026$) y mujeres ($r = -0.562$; $p = .019$) y entre la masa y los resultados del SBT en hombres ($r = -0.703$; $p < .001$). Aunque son pocos los estudios que han analizado las correlaciones entre las características antropométricas de los participantes y el rendimiento en los test referidos, trabajos previos han encontrado correlaciones significativas entre la masa corporal y el rendimiento en el BST, con valores que oscilaron entre -0.29 y -0.39 (Latikka et al., 1995; Mbada et al., 2010; Nuzzo y

Mayer, 2013), y entre la masa corporal y el Right SBT, con una correlación de -0.47 (Clayton et al., 2011). Asimismo, también se han encontrado correlaciones significativas entre la masa corporal y el rendimiento en el *Plank test* (prueba de resistencia isométrica de flexores), con un valor de -0.55 (Nuzzo y Mayer, 2013). Teniendo en cuenta, tanto nuestros resultados como los de los estudios previos, la masa de los participantes parece una variable importante en el rendimiento en este tipo de test, donde los participantes deben mantener una determinada posición contra la gravedad.

Como muestra el análisis de regresión lineal, es importante destacar que además de la masa, existen otras variables antropométricas que no han sido analizadas en profundidad en la literatura y que pueden influir en los resultados obtenidos en los test de campo. En este sentido, destacan las correlaciones negativas entre el rendimiento en el IT y los diámetros bileocrestal ($r = -.735$; $p = .001$) y biacromial ($r = -.745$; $p = .001$) en mujeres y entre los resultados del BST y el diámetro biacromial ($r = -.379$; $p = .050$) en hombres (tabla 3). En este sentido, un mayor diámetro biacromial, es decir, una mayor masa localizada en los hombros, podría dificultar la ejecución del IT y el BST e influir negativamente en los resultados obtenidos en los mismos. También se encontraron correlaciones significativas entre los resultados del SBT y el diámetro biacromial ($r = -.601$; $p = .001$), el diámetro bileocrestal ($r = -.672$; $p < .001$) y el índice acromio-iliaco ($r = -.493$; $p = .010$) en hombres y la longitud relativa de las extremidades inferiores ($r = -.493$; $p = .038$) en mujeres. Durante la ejecución del SBT, la pelvis se encuentra aproximadamente en la parte central de la masa a mantener elevada contra gravedad, por lo que un mayor diámetro bileocrestal, significaría una mayor masa localizada en la pelvis, influyendo negativamente en la ejecución del test. Por otra parte, durante el SBT, la parte superior del cuerpo (la parte más pesada y elevada respecto al suelo) es soportada principalmente por el hombro, el codo y el antebrazo del lado apoyado en la esterilla, de forma que a mayor diámetro biacromial, mayores serán las fuerzas necesarias para estabilizar estas estructuras, y por tanto, más dificultad a la hora de mantener la postura. Asimismo, un tronco con forma trapezoidal, es decir, aquel que presenta un índice acromioilíaco por debajo de 69.9 (Cabañas, 2009),

o unas extremidades cortas, es decir, una longitud relativa de las extremidades inferiores inferior a 54.9 (Cabañas, 2009), como es el caso de la media de los participantes en nuestro estudio (tabla 2), también representa una mayor acumulación de masa en la parte superior del tronco, y como hemos comentado anteriormente, una posible desventaja para la ejecución de este test.

Como se observa en la tabla 4 y las figuras 4-8, el análisis de regresión lineal para la normalización alométrica mostró diferentes ecuaciones para cada uno de los modelos de los diferentes test de resistencia. En estas ecuaciones se puede observar que las variables antropométricas relacionadas con la distribución de la masa en el cuerpo (diámetro biacromial, diámetro bileocrestal, longitud relativa de las extremidades inferiores, etc.) tienen en general una mayor influencia en los resultados del test que la masa total del sujeto, apoyando las conclusiones realizadas en los párrafos precedentes. Por tanto, los profesionales de la salud y el deporte (entrenadores, preparadores físicos, monitores de fitness, rehabilitadores, etc.) deberían tener en cuenta la normalización de los resultados de los test de resistencia en función de las diferentes variables antropométricas, sobre todo cuando se compare el rendimiento entre evaluaciones pre- y post-intervención en estudios experimentales (donde la antropometría de los participantes puede variar a lo largo del tiempo) o cuando se compare el rendimiento entre individuos con diferentes características antropométricas. Así, por ejemplo, un deportista con una masa corporal de 50 kg y una puntuación de 90 s en el IT no debería ser categorizado en el mismo nivel de rendimiento que un deportista con la misma puntuación en el IT y con una masa de 100 kg.

A pesar de la información que podemos extraer del análisis de los resultados de los test de resistencia tras la normalización, se debe tener en cuenta que los modelos presentados deben ser analizados con cautela debido a que todos ellos presentan un gran error de la estimación estandarizado ($ET > 0.60$). Estudios futuros deben profundizar en este tipo de correlaciones con muestras más amplias y heterogéneas, lo que permitiría: a) entender mejor qué variables antropométricas tienen mayor influencia en el rendimiento de los participantes en los test de campo;

b) elaborar bases normativas que permitieran categorizar la condición física de los participantes de una forma más real y ajustada; y c) desarrollar modelos predictivos mucho más precisos.

3.3.1 Conclusiones.

El presente estudio aporta información importante para los los profesionales de la salud y el deporte sobre las características del IT, BST y SBT, especialmente consideraciones a tener en cuenta para utilizar estas pruebas de forma adecuada. Los datos de este estudio muestran que los tres test tienen una buena fiabilidad relativa tanto en hombres como en mujeres; sin embargo, su fiabilidad absoluta es cuestionable, sobre todo si los test se pretenden utilizar para detectar cambios pequeños o con personas altamente entrenadas. El porcentaje de cambio test-retest en la media osciló entre el 0.45% y el 10.56%, resultando significativo para el SBT y el BST, lo que indica la existencia de un efecto de aprendizaje en estas pruebas. Las mujeres mostraron un mayor rendimiento en el BST que los hombres, pero no se encontraron diferencias entre sexos ni para el IT ni para el SBT. En relación con las características antropométricas de los participantes, variables como la masa, el diámetro bialeocrestal, el diámetro biacromial, el índice acromio-iliaco y la longitud relativa de las extremidades inferiores, deben ser tenidas en cuenta tanto a la hora de interpretar los resultados de las pruebas, como de normalizar los datos obtenidos.

ESTUDIO 2. Resistencia de los músculos flexores del tronco en adolescentes de entre 14 y 18 años: Efecto de la edad, el sexo y la antropometría.

**Manuel Moya Ramón
Casto Juan-Recio
Diego Lopez Plaza
Francisco J. Vera-Garcia**



Basado en:

Dynamic trunk muscle endurance profile in adolescents aged 14-18: normative values for age and gender differences.

Moya-Ramón, M., Juan-Recio, C., López-Plaza, D. y Vera-Garcia, F. J.

En revisión

4. Resumen

Las baterías internacionales de acondicionamiento físico para jóvenes incluyen habitualmente test para la valoración de la resistencia de los músculos del tronco. Aunque estas baterías suelen presentar datos normativos o de referencia estructurados por edad y sexo, se desconocen los criterios utilizados para realizar estas clasificaciones. El objetivo de este estudio fue establecer valores normativos por edad y sexo para la resistencia de los músculos flexores del tronco en adolescentes de 14-18 años. Para ello se utilizó el *Bench Trunk Curl test* (BTC test) y se analizó la fiabilidad relativa y absoluta de la prueba mediante un diseño test-retest. Doscientos dieciséis estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria (104 chicos y 112 chicas), sin experiencia previa en programas estructurados de entrenamiento del tronco, realizaron dos veces el BTC test (T1, T2), con un descanso de 72 h entre ambas sesiones. Los estadísticos descriptivos (media y desviación típica) así como los percentiles 25, 50 y 75 se determinaron para cada edad y sexo. Los hombres mostraron mejores resultados en el test que las mujeres (hombres: 90.07 ± 32.65 repeticiones; mujeres: 73.43 ± 27.74 repeticiones; $p < .001$), pero no hubo diferencias significativas ni entre los grupos de edad ($p = .219$), ni en la interacción *edad*sexo* ($p = .848$). Con respecto a las variables antropométricas, se encontró una correlación significativa entre los resultados del BTC test y el índice de masa corporal ($r = .212$; $p = .002$) y casi significativa entre los resultados del BTC test y la masa ($r = .114$; $p = .095$) y la altura ($r = .112$; $p = .101$). En relación con la fiabilidad del test, el análisis de la varianza encontró diferencias significativas en las puntuaciones del BTC test entre sesiones (T1= 72.06 ± 26.28 repeticiones; T2= 81.44 ± 31.27 repeticiones; $p < .001$). Además, la consistencia relativa, medida a través del coeficiente de correlación intraclase, fue de 0.82 (chicos: 0.80; chicas: 0.83), mientras que el error típico fue de 17.2% (chicos: 18.23%; chicas 16:31%). En conclusión, este estudio proporciona datos normativos para la resistencia de la musculatura flexora del tronco en hombres y mujeres adolescentes de 14-18 años. A diferencia del sexo y el índice de masa corporal, la edad no parece un factor a tener en cuenta a la hora de comparar la resistencia de los músculos del tronco

entre los adolescentes de estas edades. Finalmente, el test utilizado para realizar la valoración de la musculatura del tronco presentó una buena fiabilidad relativa, lo que apoya las conclusiones de este estudio con relación al sexo y la edad. Sin embargo, los datos de fiabilidad absoluta no fueron buenos y se encontró un efecto de aprendizaje test-retest, lo que debe ser tenido en cuenta a la hora de utilizar el BTC test en estudios de intervención.

Palabras clave: musculatura abdominal, condición física, adolescencia, test de campo, fiabilidad.

4.1 Método.

4.1.1 Participantes.

Doscientos dieciséis estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria (104 chicos y 112 chicas: 16.26 ± 1.13 años, 169.55 ± 10.31 cm y 62.73 ± 11.42 kg) participaron en este estudio. Todos los participantes estaban sanos y no habían padecido dolor lumbar en los seis meses anteriores al estudio (tabla 5). Aunque practicaban deporte de forma recreativa, ninguno tenía experiencia previa en programas estructurados de ejercicios de tronco. De acuerdo con la Declaración de Helsinki de 2013 y debido a las edades de los participantes, se requirió el consentimiento informado de sus padres/madres/tutores para que pudieran participar en el estudio. Todos los procedimientos fueron aprobados por el Comité de Ética de Investigación de la Universidad.

Tabla 5: Características descriptivas de los participantes por edad y sexo.

EDAD (años)	HOMBRES			MUJERES			TOTAL		
	n	Altura (cm)	Masa (kg)	n	Altura (cm)	Masa (kg)	n	Altura (cm)	Masa (kg)
14	11	169.82±5.77	60.09±8.56	9	164.78±6.92	52.33±3.50	20	167.55±6.66	56.60±7.70
15	12	176.58±6.08	69.00±9.30	16	168.44±4.87	56.44±4.53	28	171.92±6.71	61.82±9.31
16	35	176.43±7.89	68.65±10.20	37	162.67±12.33	56.13±8.04	72	169.36±12.44	62.21±11.06
17	30	177.14±7.87	70.09±12.40	37	163.80±7.84	57.60±9.02	67	169.77±10.25	63.19±12.29
18	16	172.75±8.79	74.01±11.11	13	163.49±8.42	60.87±9.86	29	168.60±9.68	68.12±12.33
TOTAL	104	175.38±7.87*	69.02±11.16*	112	164.13±9.33	56.90±8.09	216	169.55±10.31	62.73±11.42

* Significación respecto a las mujeres: $p \leq .05$

▪ *Bench Trunk Curl test* (Knudson y Johnston, 1995).

El BTC test es una prueba cronometrada que consiste en realizar el máximo número posible de movimientos de encorvamiento del tronco en 2 min. Para realizar la prueba, el sujeto se colocó en posición supina sobre una esterilla semirrígida, con las rodillas y las caderas flexionadas a 90°, los brazos cruzados sobre el pecho y las manos agarrando por encima del codo opuesto (figura 9A). Partiendo de esta posición, cada repetición consistió en realizar una flexión de la parte superior del tronco, deslizando los antebrazos por el abdomen, hasta tocar los muslos (figura 9B), para luego volver a la posición inicial.

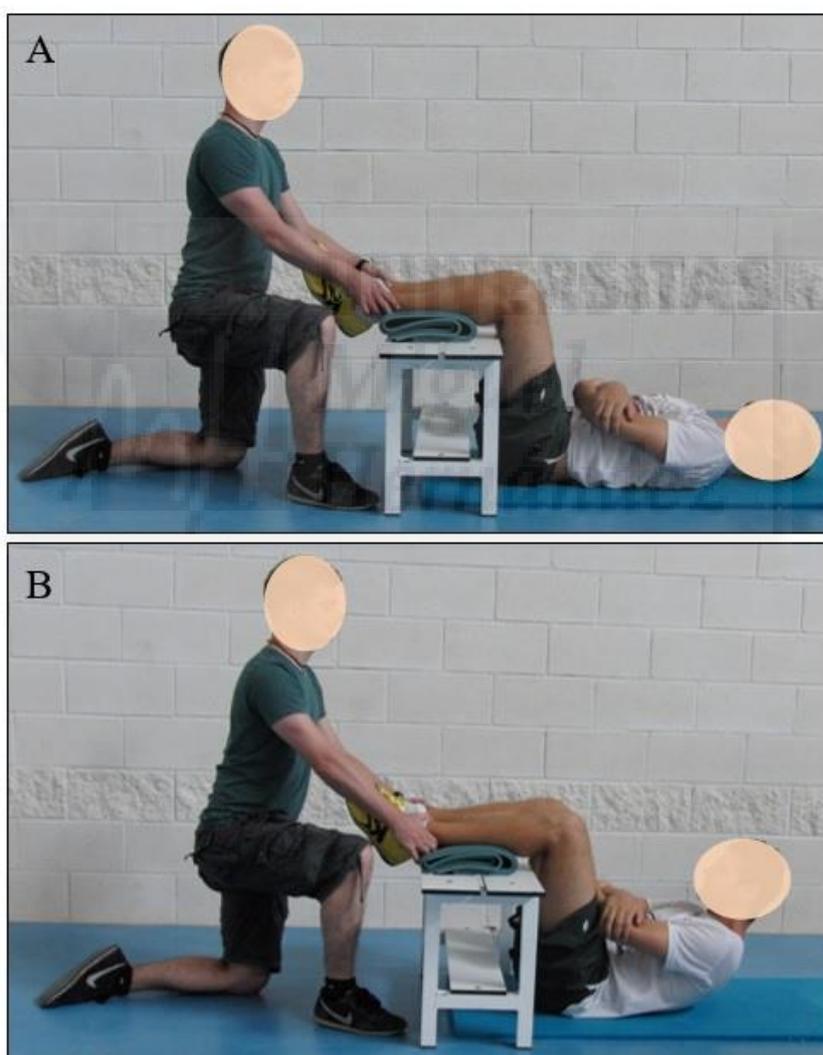


Figura 9: Vista lateral de un participante ejecutando el Bench Trunk Curl test: A) Posición inicial; B) Los antebrazos tocan los muslos tras el encorvamiento del tronco.

4.1.2 Procedimiento.

Antes de la ejecución de la prueba, los participantes realizaron una sesión de familiarización de 60 min en la que el investigador principal explicó el protocolo y demostró la correcta ejecución del test. Una semana más tarde se realizó el test en dos sesiones diferentes (T1, T2), separadas por 72 h y a la misma hora del día. Todas las sesiones se llevaron a cabo en los gimnasios de tres Centros de Educación Secundaria Obligatoria de las provincias de Alicante y Murcia, durante el primer semestre de la asignatura de Educación Física. Para ello, se estableció un horario de registro teniendo en cuenta el calendario escolar.

Con el fin de reducir la interferencia de variables no controladas, se insistió a los participantes en mantener su estilo de vida habitual y una buena rutina de sueño durante todo el estudio. Además, se les indicó no realizar sesiones de ejercicio físico por lo menos 12 h antes de cada sesión de evaluación, así como no comer ni beber en exceso antes de la prueba.

4.1.3 Análisis estadístico.

Se calcularon los estadísticos descriptivos (media y desviación estándar) del BTC test por edad y sexo, para cada sesión de evaluación. La prueba de Kolmogorov-Smirnov confirmó la distribución normal de todas las series de datos ($p > .05$). Posteriormente, los 216 adolescentes se agruparon en cuatro niveles según sus resultados obtenidos en la prueba: por debajo del percentil 25 se consideró una resistencia abdominal baja, entre el percentil 25 y 49 una resistencia abdominal media, entre el percentil 50-74 fue considerada buena y por encima del percentil 75 se consideró una resistencia abdominal óptima. Para determinar si había diferencias iniciales entre las características de los participantes (altura y masa) antes de la ejecución de la prueba, se utilizó un ANOVA de dos factores inter-sujeto (*edad*sexo*).

Se calculó un ANOVA de tres factores de medidas repetidas, con la *sesión* (T1 y T2) como el factor intra-sujeto y la *edad* (14, 15, 16, 17 y 18 años) y el *sexo* (masculino y femenino) como los factores inter-sujetos, para determinar la existencia de diferencias en los resultados obtenidos por los participantes entre sesiones y para explorar las diferencias entre hombres y mujeres y entre los grupos de edad a lo largo de las sesiones (T1 y T2). Cuando procedió, se realizó un análisis de comparaciones múltiples mediante la prueba post-hoc de Bonferroni.

Fiabilidad inter-sesión.

La fiabilidad relativa de las medidas fue analizada mediante el $CCI_{2,1}$, calculando sus LC al 90%. La interpretación cualitativa de los valores del estadístico $CCI_{2,1}$ se basó en la propuesta establecida por Hopkins: < 0.30, bajo; 0.30-0.49, moderado; 0.50-0.69, grande; 0.70-0.90; muy grande; > 0.90, casi perfecta (Hopkins et al., 2009).

El análisis de la posible existencia de heterocedasticidad de los datos se llevó a cabo mediante el análisis gráfico y de correlación del grado de dispersión entre la diferencia de medias entre las sesiones de evaluación y el promedio de los resultados de ambas sesiones. Los datos fueron logarítmicamente transformados para reducir el sesgo derivado de la no-uniformidad del error.

La fiabilidad absoluta inter-sesión de cada uno de los test de resistencia y de las variables antropométricas se determinó a través de los estadísticos %CM, %ET y %MCD (Hopkins, 2000a).

Para interpretar el CM de forma cualitativa, se realizó un análisis de inferencia basado en la magnitud del test y el sexo, a través de una prueba t de Student con igualdad de varianzas. Para ello, se utilizó una hoja de cálculo diseñada por Hopkins (2007), creada para examinar el cambio de las puntuaciones en cada variable entre sesiones de evaluación pareadas (sesión 2 – sesión 1). El resultado del cambio entre sesiones para cada participante y entre sexos, se expresó como un porcentaje de la puntuación inicial mediante el análisis de los valores transformados logarítmicamente, para reducir los sesgos derivados de la no-uniformidad del error. Este análisis determina la probabilidad de que los verdaderos efectos sean sustanciales o triviales cuando se

introduce un valor para el cambio sustancial más pequeño. Partiendo del concepto del tamaño del efecto de Cohen (Cohen, 1992), algunos autores han sugerido como cambio sustancial más pequeño 0.20 unidades estandarizadas (que es una fracción de la desviación estándar entre sujetos) (Hopkins, 2009). Para la realización de inferencia sobre el valor real del efecto, la incertidumbre del efecto se expresó a través de su intervalo de confianza al 90% y como probabilidad de que el verdadero valor del efecto represente un cambio sustancial (negativo, positivo o trivial). La probabilidad de que el CM fuese positivo, negativo o trivial, se interpretó de acuerdo a la siguiente escala: < 1%, seguramente trivial; 1-5%, muy probablemente trivial; 6-25%, probablemente trivial; 26-75%, posiblemente positivo o negativo; 76-95%, probablemente positivo o negativo; 95-99%, muy probablemente positivo o negativo; > 99%, seguramente positivo o negativo. La inferencia fue calificada como “no clara” cuando el intervalo al 90% del cambio en la media coincidió con ambos niveles (beneficioso y perjudicial) (Batterham y Hopkins, 2006; Hopkins et al., 2009).

El porcentaje del ET fue establecido usando los datos transformados logarítmicamente mediante la siguiente fórmula: $100(e^s - 1)$, donde ‘s’ es el ET (desviación estándar de la diferencia entre la sesión 1 y la sesión 2 dividido entre $\sqrt{2}$). Por último el MCD fue calculado multiplicando el ET por 1.5 con un intervalo de confianza del 75% (MCD_{75}) (Hopkins, 2000a).

Se realizó un análisis de correlación de Pearson para evaluar la relación entre las variables antropométricas (peso, altura e índice de masa corporal) y los resultados obtenidos en el BTC durante la sesión 2.

Un nivel alfa de 0.05 fue considerado significativo para estos análisis. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa PASW statistics (versión 18.0 para Windows 7; SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

4.2 Resultados.

En cuanto a la antropometría de los participantes (tabla 5), los hombres mostraron mayor masa ($p < .001$; $F = 84.288$) y altura que las mujeres ($p < .001$; $F = 90.969$). Además, hubo diferencias significativas en la masa entre los grupos de edad ($p = .012$; $F = 3.299$), aunque el análisis post hoc de Bonferroni solo encontró diferencias entre los grupos de 14 y 18 años.

El ANOVA no mostró diferencias en la media de las puntuaciones del BTC test entre los grupos de edad ($p = .219$; $F = 1.451$), ni en la interacción *edad*sexo* ($p = .848$; $F = 0.345$). Sin embargo, mostró diferencias significativas en los resultados entre hombres y mujeres. Los hombres mostraron mejores resultados en el test que las mujeres (hombres: 90.07 ± 32.65 repeticiones, mujeres: 73.43 ± 27.74 repeticiones; $p = .001$; $F = 12.396$), con una diferencia en los valores muy probablemente positiva. El análisis post hoc de Bonferroni mostró diferencias significativas entre hombres y mujeres en el grupo de edad de 17 años (figura 10).

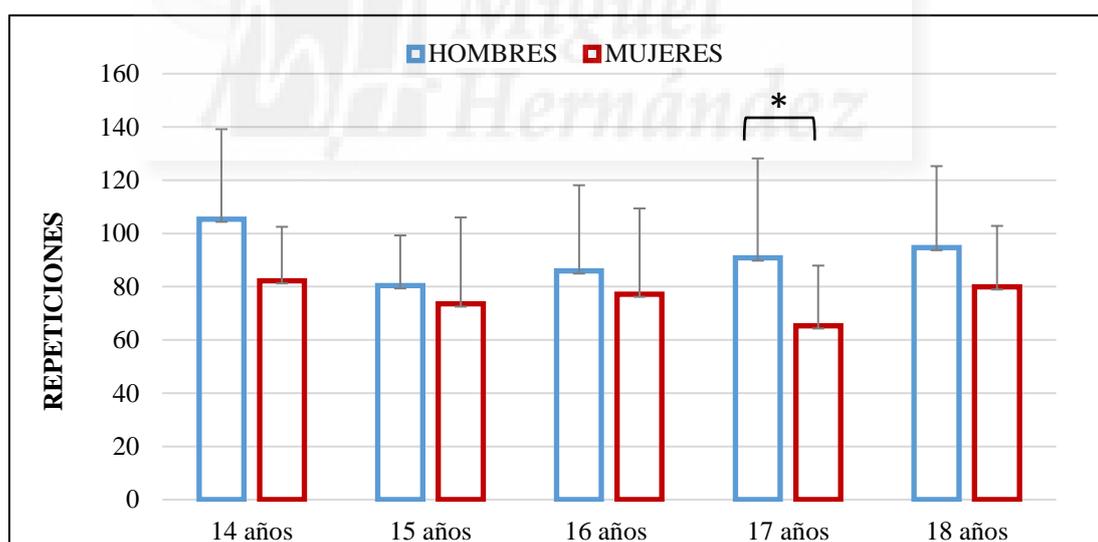


Figura 10: Número de repeticiones en el Bench Trunk Curl test por grupos de edad y sexo.
*Significación: $p < .05$.

Como no se encontraron diferencias significativas por grupos de edad, la media y la desviación estándar de los resultados del test, los valores de referencia por percentiles (tabla 6) y la fiabilidad absoluta y relativa (tabla 7) para el BTC test se presentan agrupadas únicamente por sexo. En cuanto

a la fiabilidad del test (tabla 7), el ANOVA mostró diferencias significativas para las puntuaciones medias del BTC test entre sesiones (T1= 72.06 ± 26.28 repeticiones, T2= 81.44 ± 31.27 repeticiones; $p < .001$; $F = 51.889$) con una diferencia en los valores de resistencia abdominal entre las dos sesiones de registro muy probablemente positiva. La fiabilidad absoluta representada por el porcentaje de ET fue del 18.2% para los hombres y del 16.2% para las mujeres, con un MCD del 27.3% para los hombres y del 24.3% para las mujeres. Por su parte, la fiabilidad relativa, examinada a través del CCI fue 0.80 para los hombres y 0.83 para las mujeres.

Tabla 6: Medias (\pm desviación estándar) y valores de referencia por percentiles para el Bench Trunk Curl test.

Grupos	n	Media (reps)	Mínimo	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Máximo	Rango
Hombres	104	90.07±32.65	40	65.00	85.00	110.00	182	142
Mujeres	112	73.43±27.47	30	52.25	66.50	90.00	166	136
Todos	216	81.44±31.27	30	58.00	75.50	100.75	182	152

Reps: repeticiones.

Tabla 7: Datos de fiabilidad absoluta y relativa del Bench Trunk Curl test.

Grupos	n	Sesión 1 (reps)	Sesión 2 (reps)	%CM (media - 90% LC)	%Error típico (media - 90% LC)	%MCD ₇₅	CCI _(2.1) (media - 90% LC)
Hombres	104	78.77±28.37	90.07±32.65*	14.64 (10.31-19.15)§	18.23 (16.23-20.84)	27.34	0.80 (0.73-0.85)
Mujeres	112	65.83±22.56	73.43±27.47*	10.86 (7.23-14.61)§	16.21 (14.50-18.42)	24.31	0.83 (0.77-0.87)
Todos	216	72.06±26.28	81.44±31.27*	12.66 (9.85-15.54)§	17.21 (15.86-18.84)	25.32	0.82 (0.79-0.86)

Reps: repeticiones; CM: cambio en la media; LC: límites de confianza; MCD: Mínimo cambio detectable; CCI: coeficiente de correlación intraclase; § cambio muy probablemente positivo o negativo; * Significación respecto a sesión 1, $p < .05$.

Por último, el análisis de correlación de Pearson mostró una correlación significativa positiva de los resultados del BTC test con el índice de masa corporal ($r = .212$; $p = .002$) y casi significativa con la masa ($r = .114$; $p = .095$) y la altura ($r = .112$; $p = .101$).

4.3 Discusión.

Con respecto a la comparación entre sexos, los hombres mostraron mejores resultados en el BTC test que las mujeres ($p < .001$), con unas diferencias muy probablemente positivas, lo que apoya los resultados de estudios previos que utilizaron test de encorvamientos (*Curl-Up tests*) o incorporaciones del tronco (*Sit-Up tests*) (Brotons-Gil et al., 2013; Faulkner et al., 1989; Sidney, 1990). Las diferencias antropométricas en la masa y la altura entre hombres y mujeres en nuestro estudio (tabla 5) junto a las correlaciones casi significativas entre estas variables y los resultados del BTC test, podrían explicar en parte las diferencias por sexo en la resistencia abdominal. En esta misma línea, se han manifestado otros autores que han explorado la relación entre estas variables antropométricas y los resultados de algunos test isométricos de resistencia (Dejanovic et al., 2012). Además, debido a las diferencias en el porcentaje de masa muscular, tamaño de la sección transversal de las fibras musculares, nivel basal de testosterona en sangre, etc., los hombres normalmente tienen una mayor fuerza relativa que las mujeres (Badillo y Ayestarán, 2002), lo cual implicaría que los hombres realizarían menos esfuerzo en términos relativos durante cada repetición del BTC test y por lo tanto obtendrían mejores resultados. Por último, se podría hipotetizar que las diferencias entre hombres y mujeres en la orientación frente a los objetivos, también podría influir en la comparación de los resultados entre ambos sexos (Brotons-Gil et al., 2013). De este modo, los hombres son generalmente más competitivos (orientación hacia al resultado) que las mujeres, quienes se preocupan más por la correcta ejecución de la prueba (orientación a la tarea) (Narayan y Steele-Johnson, 2007; Pintrich, 2000). Sin embargo, futuros estudios deberían confirmar estas hipótesis.

En este estudio, únicamente se encontraron correlaciones significativas con el índice de masa corporal ($r = .212$; $p = .002$), pero no con la masa ($r = .114$; $p = .095$) y la altura ($r = .112$; $p = .101$). No se han encontrado estudios que examinen las relaciones entre variables antropométricas y test

dinámicos de resistencia abdominal, aunque Dejanovic et al. (2012) encontraron leves correlaciones significativas de la masa y la altura con los resultados de algunos test isométricos de resistencia.

La mayoría de las baterías internacionales de acondicionamiento físico para jóvenes orientadas a la salud presentan datos normativos sobre la resistencia de la musculatura flexora del tronco agrupados en función de la edad y el sexo (ACSM, 2000; Franks, 1989; Heyward, 2006; Mcardle, 2000; Meredith y Welk, 2005). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en los resultados del BTC test entre grupos de edad, ni en la interacción *grupos de edad*sexo* ($p > .05$). De forma similar, Dejanovic et al. (2013) tampoco encontraron diferencias significativas entre grupos de edad al analizar los resultados de un test isométrico de resistencia de los flexores del tronco (*60° Flexor Endurance test*) en adolescentes con edades entre 15 y 18 años. Por el contrario, estudios realizados en niños de 7-14 años (Dejanovic, 2012) y 3-7 años (Lefkof, 1986) si encontraron diferencias significativas en los resultados del *60° Flexor Endurance test* y del *Hook-Lying Sit-Up test* entre diferentes grupos de edad. Estas diferencias en el rendimiento en las pruebas de tronco podrían estar influenciadas por el desarrollo físico de los niños. En este sentido, Dejanovic et al. (2012) encontraron un incremento sistemático en el peso y la altura en niños con edades entre 7-14 años y una correlación significativa, aunque baja, del peso y la altura con la resistencia isométrica de la musculatura del tronco en niñas. En función tanto de nuestros resultados (tabla 5) como de los de Dejanovic et al. (2013), las características antropométricas referidas parecen ser más homogéneas en los adolescentes de 14-18 años (chicos y chicas juntos), lo que podría justificar la ausencia de diferencias en los resultados de los test de resistencia del tronco en estas edades.

En este estudio, el análisis de fiabilidad se realizó principalmente para determinar si la ausencia de diferencias entre los grupos de edad podría deberse a niveles bajos de fiabilidad del BTC test, así como para mejorar el conocimiento sobre las características de esta prueba. Según nuestros resultados, los valores de fiabilidad relativa calculados entre ambas sesiones de evaluación fueron altos (CCI= 0.82) y similares a los obtenidos en otros estudios de fiabilidad del BTC test (CCI> 0.79)

(Knudson y Johnston, 1995; Vera-Garcia, 2009). Además, otros test dinámicos de resistencia abdominal mostraron similares resultados, por ejemplo el *Partial Curl-Up test* con CCI mayores de 0.88 (Jette, 1984; Moreland et al., 1997; Safrit, 1992) y el *Flexion-Rotation Trunk test* con un CCI de 0.83 (Brotons-Gil et al., 2013). Basándonos en los altos valores del CCI, el BTC test es capaz de discriminar de forma consistente el rendimiento muscular del tronco entre adolescentes de similares características (Hopkins, 2000a), lo que apoya las conclusiones de este estudio sobre las comparaciones por sexo y edad.

Por otra parte, el análisis de fiabilidad absoluta mostró una de las limitaciones más comunes de la mayoría de los test de campo utilizados en ámbitos de la actividad física y el deporte (Brotons-Gil et al., 2013; Evans et al., 2007; Moreland et al., 1997; Vera-Garcia, 2009), es decir un elevado ET test-retest (17.21% para toda la muestra; hombres: 18.23%; mujeres: 16.21%). De acuerdo con el MCD (25.32% para todos los participantes; hombres: 25.32%; mujeres: 24.31%), serían necesarios cambios relativamente grandes en los resultados del BTC test (por ejemplo, tras una intervención) para asegurar con certeza que ha ocurrido un cambio real en la resistencia de la musculatura flexora del tronco; es decir, que los cambios en los resultados del test no se deben a un error de medida. Por lo tanto, el BTC test no parece apropiado para detectar los progresos en la resistencia muscular del tronco en deportistas de alto nivel, en los que la reserva potencial de adaptación es limitada (Kraemer y Ratamess, 2004). Sin embargo, el BTC test podría ser adecuado para identificar los cambios moderados en la resistencia abdominal en la educación física, la salud y/o el fitness, donde los participantes normalmente tienen un mayor potencial de adaptación (Kraemer y Ratamess, 2004). En este sentido, como se muestra en el estudio 4 de la presente Tesis Doctoral, al analizar el efecto a corto plazo (6 semanas) de un programa de entrenamiento abdominal en estudiantes de secundaria sin experiencia en programas de ejercicios de tronco, se encontró que los resultados del BTC test aumentaban de forma similar al MCD obtenido en este estudio.

Los test de encorvamientos del tronco cronometrados requieren de un largo periodo de familiarización para aprender la técnica y la cadencia óptima de ejecución (Brotons-Gil et al., 2013). En este sentido, aunque en este estudio se realizó una sesión de familiarización antes de las sesiones de evaluación, el porcentaje de cambio en los resultados del BTC test entre T1 y T2 fue del 12.66% (hombres: 14.64%; mujeres: 10.86%), siendo significativo en todos los casos (diferencias muy probablemente positivas) y por lo tanto, mostrando un efecto de aprendizaje test-retest. Consecuentemente, una sesión de familiarización no parece suficiente para obtener resultados estables en el BTC test que permitan tomar decisiones basadas en la condición física real de los participantes. Por el contrario, parece necesario un periodo de familiarización más largo que permita a los participantes aprender la correcta técnica del test, así como la cadencia óptima de ejecución, antes de la sesión de evaluación. En este sentido, en un estudio previo con un test de resistencia similar, los participantes necesitaron ejecutar la prueba tres veces para eliminar el efecto de aprendizaje (Brotons-Gil et al., 2013).

Existen diversas limitaciones a tener en cuenta para la interpretación de los resultados de este estudio. Así, las diferencias en el número de participantes entre los grupos de edad (tabla 5) y la gran variabilidad inter-sujeto en los resultados del BTC test (tabla 7 y figura 10) pudo dificultar la comparación entre grupos, si bien los resultados de fiabilidad relativa de las medidas parecen apoyar los resultados. Además, como hemos comentado en el párrafo anterior, una sesión de familiarización no fue suficiente para controlar el efecto de aprendizaje, por lo que deficiencias en la técnica y/o cadencia de ejecución de algunos participantes pudo afectar a la comparación entre los grupos de edad. Finalmente, durante la ejecución del BTC test se observó que algunos participantes tenían que flexionar la cadera e incorporar el tronco para tocar los muslos con los antebrazos, mientras que otros solo requerían de la flexión del tronco. Estas diferencias entre participantes pudieron afectar a la comparación entre grupos de edad o sexo, ya que los sujetos que tenían que flexionar la cadera requerían de un mayor esfuerzo para ejecutar cada repetición. De este modo, como se realizó en el

estudio 4 de esta Tesis Doctoral, se recomienda individualizar la ejecución del BTC test de cada sujeto en función de su rango máximo de flexión de la parte superior del tronco.

4.3.1 Conclusiones.

Este estudio proporciona datos normativos para la resistencia de la musculatura flexora del tronco en hombres y mujeres adolescentes de 14-18 años. Se encontraron diferencias significativas entre sexos, pero no entre los grupos de edad, lo cual cuestiona la división por edad y sexo que generalmente realizan las baterías internacionales de acondicionamiento físico para jóvenes para esta cualidad física. Con respecto a las variables antropométricas, se encontró una correlación significativa entre los resultados del BTC test y el índice de masa corporal ($r = .212$; $p = .002$) y casi significativa entre los resultados del test y la masa ($r = .114$; $p = .095$) y la altura ($r = .112$; $p = .101$).

En relación con la consistencia del BTC test, la fiabilidad relativa de la prueba fue alta, lo que indica que este test permite discriminar de forma consistente el nivel de resistencia de los flexores del tronco de cada individuo respecto a otros de similares características (Hopkins, 2000a). Sin embargo, como la mayoría de los test de campo de tronco (Evans et al., 2007; Juan-Recio, 2014), los datos de fiabilidad absoluta del BTC test no parecen apoyar su uso en el alto rendimiento o con personas altamente entrenadas, ya que sería difícil distinguir entre los cambios reales y los errores de medida. Debido al incremento de los resultados entre T1 y T2, es necesario desarrollar un extenso periodo de familiarización para reducir el efecto de aprendizaje del BTC test.

ESTUDIO 3. Fiabilidad y relación entre un test isocinético y dos test de campo para la valoración de la resistencia de los músculos del tronco.

Casto Juan-Recio

Diego López-Plaza

David Barbado Murillo

María Pilar García-Vaquero

Francisco J. Vera-García



Basado en:

Reliability assessment and correlation analysis of three protocols to measure trunk muscle strength and endurance.

Juan-Recio, C., López-Plaza, D., Barbado, D., García-Vaquero, M. P., Vera-Garcia, F J.

En revisión

5. Resumen

Diferentes test han sido desarrollados para cuantificar la resistencia y la fuerza de la musculatura del tronco; sin embargo, algunas de las características más importantes de estos test no están claras todavía, lo que dificulta la selección del test más adecuado en cada situación específica. Con el objetivo de facilitar el proceso de toma de decisiones al seleccionar los test de fuerza y resistencia de los músculos del tronco, este estudio examinó la fiabilidad y la relación de tres test representativos de los protocolos más comunes para la valoración de la función de la musculatura del tronco: *Isokinetic Trunk Flexion-Extension protocol* y dos test de campo, el *Biering-Sorensen test* y el *Flexion-Rotation Trunk test*. Veintisiete hombres sanos y físicamente activos realizaron los test dos veces, con un mes de separación entre cada ensayo. La fiabilidad absoluta y relativa fue analizada mediante el error típico y el coeficiente de correlación intraclase (CCI), respectivamente. El coeficiente de correlación de Pearson se usó para analizar la relación entre todas las variables. Todos los test mostraron una buena fiabilidad relativa ($CCI > 0.75$), excepto las variables de resistencia isocinética, las cuales mostraron una fiabilidad relativa de baja a moderada ($0.37 < CCI < 0.65$). Los datos de fiabilidad absoluta fueron ligeramente mejores en el protocolo isocinético que en los test de campo, los cuales mostraron aproximadamente un 12% de incremento en el resultado obtenido entre el test y el retest. En cuanto al análisis correlacional, no se encontraron correlaciones significativas entre los resultados de las diferentes pruebas. En conclusión, tras un periodo de familiarización para los test de campo, los tres protocolos permiten obtener medidas fiables de fuerza y resistencia de los músculos del tronco. Por otro lado, la ausencia de relaciones entre los protocolos resalta la importancia de realizar una buena selección del test o de los tests más adecuados para cada situación, utilizando para ello criterios de fiabilidad, especificidad, coste y facilidad de administración, principalmente.

Palabras clave: valoración, condición física, core, consistencia.

5.1 Método.

5.1.1 Participantes.

Un total de 27 jóvenes varones y sanos (edad: 24.1 ± 2.9 años; altura: 177 ± 5.6 cm; masa 76 ± 9.2 kg) participaron voluntariamente en este estudio. Los participantes eran físicamente activos, realizando 1-3 horas de actividad física moderada, 1-3 días por semana. Los criterios de exclusión para este estudio fueron: problemas médicos conocidos, episodios de dolor de espalda en los seis meses previos al estudio y/o participar en programas estructurados de ejercicios de tronco. Se dieron instrucciones a los participantes para continuar con su práctica habitual de actividad física durante el tiempo que duró el estudio, así como para no hacer ejercicio extenuante en las 24 h previas a las sesiones de registro. Los participantes fueron informados de los riesgos del estudio y firmaron un consentimiento informado basado en la Declaración de Helsinki de 2013. Todos los procedimientos fueron aprobados por el Comité de Ética de Investigación de la Universidad.

5.1.2 Procedimiento.

Se utilizaron tres test para la evaluación de la condición física de los músculos del tronco. Por una parte, para medir la fuerza y la resistencia de los músculos del tronco se utilizó un test isocinético de flexo-extensión del tronco (*Isokinetic Trunk Flexion-Extension protocol*) (Barbado et al., 2016; García-Vaquero et al., en prensa), realizado en el Biodex® isokinetic dynamometer (Model 2000, Multi-joint System 4 Pro, Biodex Corporation, Shirley, NY, USA). Por otra parte, se realizaron dos test de campo para evaluar la resistencia de la musculatura extensora y flexo-rotadora del tronco, el BST (Biering-Sørensen, 1984) y el *Flexion-Rotation Trunk test* (FRT test) (Brotons-Gil et al., 2013), respectivamente.

Los participantes realizaron cada test dos veces. Para evitar la influencia de la fatiga muscular sobre el rendimiento en los test y reducir el efecto de aprendizaje, se realizaron cuatro sesiones de

registro con un mes de separación entre cada una de ellas. El test isocinético de flexo-extensión del troco se realizó en las dos primeras sesiones y los test de campo en las dos últimas. El BST y el FRT test se ejecutaron en un orden contrabalanceado y con 5 min de descanso entre ambas pruebas. Los participantes fueron verbalmente animados para maximizar su esfuerzo y obtener los máximos valores en cada uno de los test. No se les proporcionó ningún tipo de feedback verbal sobre sus resultados hasta la finalización del estudio. Antes de cada sesión de registro, los participantes realizaron un calentamiento que consistió en dos series de 15 encorvamientos del tronco y otras dos series de extensiones del tronco en banco romano, con 30 s de descanso entre series y entre ejercicios.

- *Isokinetic Trunk Flexión-Extensión protocol* (Barbado et al., 2016; García-Vaquero et al., en prensa).

Antes de comenzar el test, los participantes se sentaron sobre un módulo de tronco articulado (Dual Position Back Ex/Flex Attachment, Biodex Corporation, Shirley, NY, EE.UU.), acoplado al eje de rotación del dinamómetro isocinético Biodex® (figura 11). Con la ayuda de los investigadores, los participantes se colocaron en una posición inicial o de referencia donde la espalda se encontraba en posición vertical, las caderas y las rodillas flexionadas a 90°, los muslos paralelos al suelo y el eje de rotación del dinamómetro alineado con la línea imaginaria que une las crestas iliacas antero-superiores (Grabiner, Jeziorowski y Divekar, 1990). Para fijar esta posición y garantizar la reproducibilidad del protocolo, se colocaron almohadillas ajustables detrás de la cabeza, el sacro y la parte superior del tronco, así como delante de la parte anterior de la tibia. Además, se colocaron unas correas inextensibles de Velcro® en la parte superior del tronco (cruzadas sobre el pecho), en los muslos y en la pelvis. Como se puede ver en la figura 11, el rango de movimiento sagital del tronco se limitó a 50° de flexo-extensión, es decir, desde 30° de flexión del tronco (-30°) a 20° de extensión del tronco (20°), tomando como referencia la posición inicial (0°) descrita anteriormente. De acuerdo

con las contribuciones de Grabiner et al. (1990), rangos de movimiento del tronco no superiores a 50° aíslan el movimiento del raquis lumbar, reduciendo la flexión-extensión de la cadera. El movimiento en esta articulación se limitó también gracias a la ubicación del eje de rotación del dinamómetro a nivel de la cresta ilíaca anterior-superior y a la fijación de la pelvis mediante las almohadillas y correas comentadas anteriormente.



Figura 11: Participante realizando un esfuerzo máximo de flexión-extensión del tronco en el dinamómetro isocinético. Rango de movimiento de 50°: -30°) flexión del tronco; 0°) posición inicial o de referencia; 20°) extensión del tronco.

El test isocinético consistió en cuatro series de 15 repeticiones concéntricas, máximas y consecutivas de flexión y extensión del tronco a 120°/s. Se eligió esta velocidad de flexo-extensión porque se considera segura para el raquis lumbar (Watkins y Harris, 1983) y fiable para medir el trabajo mecánico (Langrana, Lee, Alexander y Mayott, 1984). En cada serie, el movimiento comenzó en el sentido de la flexión. El descanso entre series fue de 1 min. Los participantes fueron instruidos para mantener las manos y los brazos cruzados sobre el pecho durante toda la prueba. Asimismo, fueron animados energicamente desde la primera repetición con el fin de generar la máxima fuerza posible en cada repetición del test.

Antes del análisis de las variables de fuerza y resistencia, las tres primeras repeticiones de cada serie del test isocinético fueron descartadas, ya que los participantes mostraron falta de adaptación a

la tarea, desarrollando valores bajos de fuerza (García-Vaquero et al., en prensa). Posteriormente se utilizó una aplicación creada “ad hoc” con el software de programación LabView 9.0 (National Instruments, Austin, TX, USA) para extraer (durante la “ventana isocinética”) las variables de fuerza y resistencia de la musculatura extensora y flexora de cada participante.

Concretamente, para valorar la fuerza muscular del tronco se utilizó el *máximo momento de fuerza* absoluto (MM) y relativo (MMR) y el *trabajo máximo* absoluto (WM) y relativo (WMR) obtenido en las 4 series (figura 12).

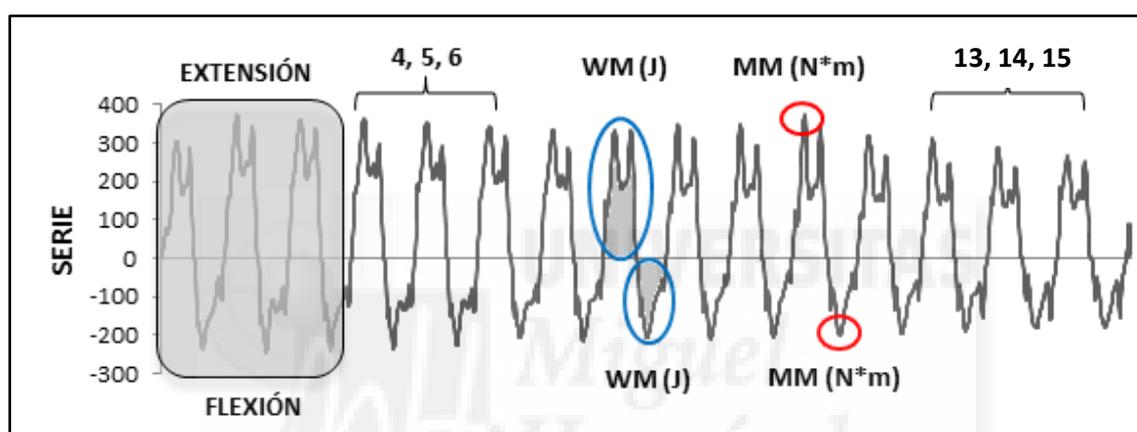


Figura 12: Curva fuerza-tiempo de una de las cuatro series (15 repeticiones) del test isocinético de un participante. Las tres primeras repeticiones (sombreadas) no fueron utilizadas en el análisis. Las repeticiones con un círculo rojo indican el máximo momento de fuerza (MM) generado por el participante en extensión y en flexión. Las repeticiones sombreadas con gris indican el trabajo máximo (WM) realizado por el participante en extensión y en flexión.

Además, en base a estudios previos (García-Vaquero et al., en prensa; Knudson y Johnston, 1995; Mayer et al., 1995), se utilizaron tres variables para la evaluación de la resistencia muscular del tronco en ambas direcciones (expresadas en %):

(1) *Ratio de resistencia modificada* (RRM): es el cociente obtenido tras dividir el trabajo (W) realizado durante las tres últimas repeticiones de cada serie (13, 14, 15) entre 3 veces el WM alcanzado en cualquiera de las repeticiones de la serie y multiplicarlo por 100. Esta variable

representa la habilidad para mantener la producción de fuerza dentro de cada serie, es decir, a lo largo de esfuerzos máximos consecutivos.

$$RRM = \frac{\sum W (13, 14, 15)}{3 \times WM (rep.)} \times 100 \quad (1)$$

(2) *Ratio de trabajo máximo* (RWM): es el cociente obtenido tras dividir el WM alcanzado en cualquier repetición de la última serie (serie 4) por el WM alcanzado en cualquier repetición del test (serie 1, 2, 3 ó 4) y multiplicarlo por 100. Esta variable representa la habilidad para mantener la producción de fuerza entre series (en esfuerzos intermitentes).

$$RWM = \frac{WM(rep.)(serie 4)}{WM (rep.)(test)} \times 100 \quad (2)$$

(3) *Ratio final de fatiga* (RFF): es el cociente obtenido tras dividir el W realizado durante las últimas tres repeticiones (13, 14, 15) de la última serie (serie 4) por tres veces el WM alcanzado en cualquier repetición del test (serie 1, 2, 3 ó 4) y multiplicarlo por 100. (Mayer et al., 1995). Esta variable representa la habilidad de mantener la producción de fuerza entre repeticiones y series, es decir, durante esfuerzos sucesivos e intermitentes.

$$RFF = \frac{W(13, 14, 15)(serie 4)}{3 \times WM (rep.)(test)} \times 100 \quad (3)$$

▪ *Biering-Sorensen test* (Biering-Sørensen, 1984).

El BST ha sido descrito en el capítulo 2, página 37 (figura 1). Brevemente, el test consiste en mantener la parte superior del tronco contra gravedad en posición horizontal el mayor tiempo posible.

▪ *Flexion-Rotation Trunk test* (Brotons-Gil et al., 2013).

Para la evaluación de la resistencia dinámica de la musculatura flexo-rotadora del tronco los participantes se colocaron en posición supina sobre una esterilla semirrígida, con los pies apoyados en el suelo, las rodillas juntas y flexionadas a 90° y la parte superior del cuerpo descansando sobre la esterilla (figura 13A). Los brazos estaban extendidos sobre el tronco y los muslos, con ambas manos superpuestas y los pulgares entrelazados. Un investigador se arrodilló a los pies del participante, fijando las extremidades inferiores e introduciendo sus pulgares en el hueco poplíteo del participante. En esta posición, se pidió a los participantes que realizaran el máximo número posible de movimientos de flexo-rotación del tronco en 90 s. Cada repetición consistió en la ejecución de una flexión del tronco con rotación hasta que los participantes tocaban con sus dedos el nudillo del dedo meñique del investigador (figura 13B) y volvían a la posición de inicio. Los participantes rotaban el tronco hacia un lado y hacia otro alternativamente, empezando la prueba rotando hacia la derecha. El investigador solo contabilizó las repeticiones ejecutadas correctamente. Los participantes recibieron feedback verbal a los 30, 60 y 75 s de la prueba.

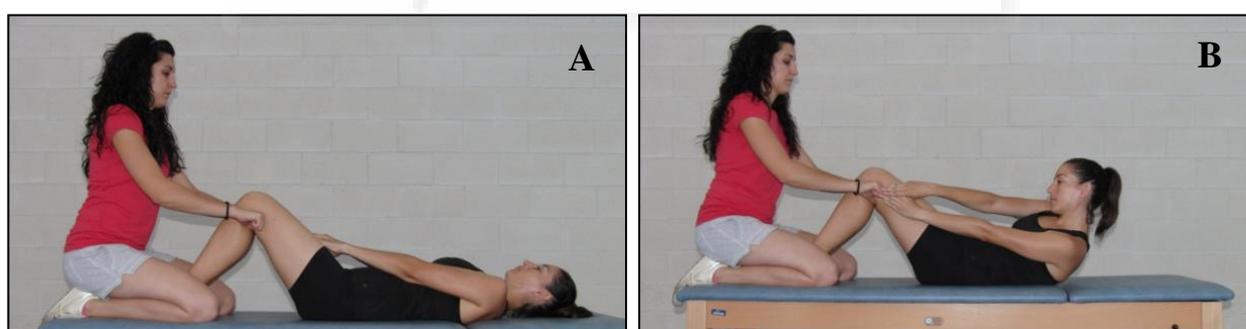


Figura 13: Vista lateral de la posición inicial (A) y la posición de flexo-rotación (B) durante una repetición del Flexion-Rotation Trunk test (B).

5.1.3 Análisis estadístico

Los estadísticos descriptivos (media y desviación estándar) fueron calculados para todas las variables. La normalidad de los datos fue confirmada utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Se llevó a cabo un ANOVA de 3 (variables isocinéticas, BST, FRT) x 2 (sesión 1, sesión 2) para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en los resultados obtenidos por los participantes en cada una de las pruebas y sesiones de valoración. En el caso de identificar diferencias significativas, se aplicó la prueba post hoc de Bonferroni para las comparaciones por pares.

Fiabilidad inter-sesión.

La fiabilidad relativa de las diferentes medidas fue analizada mediante el $CCI_{2,1}$, calculando sus LC al 90%. La interpretación cualitativa de los valores del estadístico $CCI_{2,1}$ se basó en la propuesta establecida por Hopkins: < 0.30, bajo; 0.30-0.49, moderado; 0.50-0.69, grande; 0.70-0.90; muy grande; > 0.90, casi perfecta (Hopkins et al., 2009).

El estudio de la posible existencia de heterocedasticidad de los datos en cada una de las pruebas de valoración se llevó a cabo mediante el análisis gráfico y de correlación del grado de dispersión entre la diferencia de medias entre las sesiones de evaluación y el promedio de los resultados de ambas sesiones. Los datos fueron logarítmicamente transformados para reducir el sesgo derivado de la no-uniformidad del error.

La fiabilidad absoluta inter-sesión de cada uno de los test de resistencia y de las variables antropométricas se determinó a través de los estadísticos %CM, %ET y %MCD.

Para interpretar el CM de forma cualitativa, se realizó un análisis de inferencia basado en la magnitud de los test (*Isokinetic Trunk Flexion-Extension protocol*, FRT test, BST), utilizando una hoja de cálculo diseñada por Hopkins (2007), a través de una prueba t de Student, calculada para examinar el cambio de las puntuaciones en cada variable entre sesiones de evaluación pareadas (sesión 2 – sesión 1). Este análisis determina la probabilidad de que los verdaderos efectos sean sustanciales o triviales cuando se introduce un valor para el cambio sustancial más pequeño. Partiendo del concepto del tamaño del efecto de Cohen (Cohen, 1992), algunos autores han sugerido como cambio sustancial más pequeño 0.20 unidades estandarizadas (que es una fracción de la

desviación estándar entre sujetos) (Hopkins, 2009). Para la realización de inferencia sobre el valor real del efecto, la incertidumbre del efecto se expresó a través de su intervalo de confianza al 90% y como probabilidad de que el verdadero valor del efecto representara un cambio sustancial (negativo, positivo o trivial). La probabilidad de que el CM fuese positivo, negativo o trivial, se interpretó de acuerdo a la siguiente escala: < 1%, seguramente trivial; 1-5%, muy probablemente trivial; 6-25%, probablemente trivial; 26-75%, posiblemente positivo o negativo; 76-95%, probablemente positivo o negativo; 95-99%, muy probablemente positivo o negativo; > 99%, seguramente positivo o negativo. La inferencia fue calificada como “no clara” cuando el intervalo al 90% del cambio en la media coincidió con ambos niveles (beneficioso y perjudicial) (Batterham y Hopkins, 2006; Hopkins et al., 2009).

El porcentaje de ET fue establecido usando los datos transformados logarítmicamente mediante la siguiente fórmula: $100(e^s - 1)$, donde ‘s’ es el ET (desviación estándar de la diferencia entre la sesión 1 y la sesión 2 dividido entre $\sqrt{2}$). Por último, el porcentaje de MCD fue calculado como 1.5 veces el error típico con un intervalo de confianza del 75% (MCD_{75}) (Hopkins, 2000a).

Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (r) para analizar la relación entre las variables una vez que los valores extremos (valores mayores o menores que la media ± 3 desviaciones estándar) fueron eliminados. Los análisis estadísticos se realizaron con PASW statistics (versión 18.0 para Windows 7; SPSS Inc., Chicago, IL, USA), estableciendo el nivel de significación en $p \leq .05$.

5.2 Resultados.

La tabla 8 muestra los estadísticos descriptivos y los valores de fiabilidad relativa y absoluta tanto para los test de campo como para las variables de fuerza y resistencia isocinética. El ANOVA mostró diferencias significativas en el factor intra-sujeto *sesión* para el BST ($p = .013$; $F = 7.303$) y FRT test ($p < .001$; $F = 18.867$), con una diferencia de medias probablemente positiva, y para el WM ($p = .015$; $F = 6.807$) y WMR ($p = .014$; $F = 6.998$) en flexión, con un cambio en la media probablemente trivial.

Por lo que respecta a la fiabilidad absoluta, el FRT test mostró un ET del 11.1% y un CCI de 0.86, mientras el BST obtuvo un porcentaje de ET del 15.4% y un CCI de 0.78. Con relación a las variables de fuerza isocinética, el error típico osciló entre el 9.3% para MMR y MM en extensión y el 7.5% para MMR y MM en flexión, mientras que para el WMR y el WM fue del 15.2% en extensión y del 6.2% en flexión. Por su parte, los porcentajes del ET de las variables de resistencia isocinética oscilaron entre el 8.2% para el RWM y el 13.8% del RFF en extensión y entre el 8.9% para RRM y el 17.7% para el RFF en flexión.

En relación con la fiabilidad relativa, los valores obtenidos para las variables de fuerza fueron $0.57 \leq \text{CCI} \leq 0.77$ en extensión y $0.62 \leq \text{CCI} \leq 0.84$ en flexión, mientras que para las variables de resistencia isocinética fueron $0.37 \leq \text{CCI} \leq 0.55$ en extensión y $0.45 \leq \text{CCI} \leq 0.65$ en flexión.



Tabla 8: Estadísticos descriptivos y fiabilidad relativa y absoluta del Flexion-Rotation Trunk test (FRT test) y el Biering-Sorensen test (BST) y las variables de fuerza y resistencia del test isocinético.

	Variables	Movimiento	Sesion 1 (media ± DE)	Sesion 2 (media ± DE)	%CM (media - 90% LC)	%Error Típico (media - 90% LC)	MCD ₇₅ (%)	CCI _(2, 1) (media - 90% LC)
TEST DE CAMPO	FRT test (reps)	-	83.00 ± 19.99	93.74 ± 23.94 *	12.16 (6.81 - 17.78) §	11.11 (8.99 - 14.68)	16.66	0.86 (0.74 - 0.92)
	BST (s)	-	136.92 ± 41.84	148.69 ± 36.38 *	12.72 (5.46 - 20.48) §	15.42 (12.44 - 20.50)	23.13	0.78 (0.62 - 0.88)
VARIABLES DE FUERZA ISOCINÉTICA	MM (Nm)	Extensión	394.90 ± 70.74	408.96 ± 71.34	1.97 (-2.33 - 6.46) ¥	9.31 (7.50 - 12.44)	13.96	0.77 (0.59 - 0.88)
		Flexión	234.43 ± 24.56	229.20 ± 27.99	-2.44 (-5.74 - 0.98) ‡	7.54 (6.10 - 9.98)	11.31	0.62 (0.38 - 0.79)
	MMR (Nm/kg)	Extensión	5.19 ± 0.89	5.38 ± 0.87	1.97 (-2.33 - 6.46) ¥	9.31 (7.50 - 12.44)	13.96	0.75 (0.56 - 0.87)
		Flexión	3.10 ± 0.41	3.02 ± 0.42	-2.44 (-5.74 - 0.98) ‡	7.54 (6.10 - 9.98)	11.31	0.75 (0.57 - 0.86)
	WM (J)	Extensión	204.06 ± 39.07	206.25 ± 43.81	0.59 (-5.93 - 7.55) ¥	15.18 (12.20 - 20.30)	22.77	0.57 (0.31 - 0.76)
		Flexión	105.10 ± 13.22	99.60 ± 14.27 *	-4.49 (-7.25 - -1.66) ¥	6.23 (5.03 - 8.28)	9.34	0.82 (0.67 - 0.90)
	WMR(J/kg)	Extensión	2.69 ± 0.49	2.73 ± 0.63	0.59 (-5.93 - 7.55) ¥	15.18 (12.20 - 20.30)	22.77	0.62 (0.38 - 0.79)
		Flexión	1.39 ± 0.18	1.31 ± 0.19 *	-4.49 (-7.25 - -1.66) ¥	6.23 (5.03 - 8.28)	9.34	0.84 (0.70 - 0.92)
VARIABLES DE RESISTENCIA ISOCINÉTICA	RRM (%)	Extensión	77.39 ± 7.53	73.34 ± 10.71	-4.10 (-8.24 - -0.22) †	9.54 (7.68 - 12.75)	14.31	0.55 (0.26 - 0.75)
		Flexión	68.93 ± 7.40	68.65 ± 8.03	-0.55 (-4.51 - 3.58) ✖	8.96 (7.24 - 11.88)	13.44	0.45(0.15 - 0.68)
	RFF (%)	Extensión	73.55 ± 9.71	68.49 ± 11.91	-7.54 (-13.05 - -1.69) †	13.84 (11.14 - 18.48)	20.76	0.37 (0.05 - 0.62)
		Flexión	58.48 ± 12.56	60.40 ± 13.82	7.77 (-0.43 - 16.65)	17.77 (14.20 - 24.03)	26.65	0.65 (0.41 - 0.81)
	RWM (%)	Extensión	84.42 ± 7.20	81.36 ± 9.93	-2.32 (-6.00 - 1.51) ¥	8.27 (6.66 - 11.03)	12.40	0.54 (0.24 - 0.74)
		Flexión	78.82 ± 10.79	82.64 ± 08.19	5.24 (-1.49 - 12.44) ¥	14.63 (11.73 - 19.70)	21.74	0.55 (0.26 - 0.74)

Reps: repeticiones; MM: máximo momento de fuerza; MMR: máximo momento de fuerza relativo; WM: trabajo máximo; WMR: trabajo máximo relativo; RRM: ratio de resistencia modificada; RFF: ratio final de fatiga; RWM: ratio del trabajo máximo; DE: desviación estándar; LC: límites de confianza; CM: cambio en la media; MCD: mínimo cambio detectable; CCI: coeficiente de correlación intraclase; † posiblemente positivo; ¥ cambio probablemente triviales; § cambio probablemente positivo o negativo; ✖ cambio muy probablemente positivo o negativo; ‡ cambio muy probablemente trivial; * Significación respecto a la sesión 1: $p \leq .05$.

El análisis de correlación de Pearson no mostro correlaciones significativas entre los resultados de los test de campo y las variables de fuerza y resistencia isocinética (tablas 9 y 10).

Tabla 9: Correlaciones entre los resultados del Biering-Sorensen test (BST) y el Flexion-Rotation Trunk test (FRT test) y las variables de resistencia del test isocinético.

Variables	BST (s)	FRT test (reps)	RRM (%)		RWM (%)		RFF (%)	
			Flexión	Extensión	Flexión	Extensión	Flexión	Extensión
BST (s)	-	.342	.087	-.042	-.059	-.146	.325	-.251
FRT test (reps)	.342	-	.151	-.161	-.025	-.069	.021	-.267

Reps: repeticiones; RRM: ratio de resistencia modificada; RWM: ratio del trabajo máximo; RFF: ratio final de fatiga.

Tabla 10: Correlaciones entre los resultados del Biering-Sorensen test (BST) y el Flexion-Rotation Trunk test (FRT test) y las variables de fuerza del test isocinético.

Variables	MM (Nm)		MMR (Nm/kg)		WM (J)		WMR (J/kg)	
	Flexión	Extensión	Flexión	Extensión	Flexión	Extensión	Flexión	Extensión
BST (s)	-.118	-.239	.102	-.076	.124	-.025	.303	-.153
FRT test (reps)	.279	.099	.369	.240	.224	-.033	.351	.044

Reps: repeticiones; MM: momento de fuerza; MMR: momento de fuerza relativo; WM: trabajo máximo; WMR: trabajo máximo relativo.

5.3 Discusión.

En el ámbito práctico, la elección de test para medir la fuerza y resistencia de la musculatura del tronco es una tarea importante y compleja que no siempre sigue el principio de especificidad (Clayton et al., 2011), sino que normalmente se realiza siguiendo criterios económicos o de accesibilidad al instrumental y/o a las instalaciones necesarias. Con el objeto de obtener información que facilite el proceso de toma de decisiones para la elección de los test de fuerza y resistencia de la musculatura del tronco, este estudio examinó la fiabilidad y la posible relación entre los resultados de dos test de campo de resistencia y un test isocinético de flexo-extensión del tronco.

La fiabilidad relativa fue alta en los tres protocolos analizados, con la mayoría de los valores de CCI por encima de 0.75, excepto para las variables de resistencia isocinética, cuya fiabilidad fue

baja-moderada con valores que oscilaron entre 0.37 y 0.65. Estos resultados coinciden con los obtenidos en estudios previos, los cuales encontraron valores superiores a 0.75 en diferentes test de campo de resistencia del tronco (Brotons-Gil et al., 2013; Chan, 2005; Demoulin et al., 2006; Evans et al., 2007; Juan-Recio, 2014; McGill et al., 1999) y mayores de 0.80 en protocolos isocinéticos de fuerza (Delitto et al., 1991; Dvir y Keating, 2001; García-Vaquero et al., en prensa; Keller et al., 2001; Laughlin et al., 2009; Newton y Waddell, 1993; Wessel et al., 1992). Respecto a las variables de resistencia isocinética, nuestros resultados fueron muy similares a los obtenidos por García-Vaquero et al. (en prensa) utilizando el mismo protocolo ($0.43 <CCI < 0.69$) y mejoraron ligeramente aquellos obtenidos por Mayer et al. (1985) con un protocolo similar ($0.35 <CCI < 0.42$). En general, los resultados de consistencia relativa obtenidos en este estudio resaltan la robustez tanto de las medidas isocinéticas como de campo para valorar la fuerza y resistencia de los músculos del tronco. Sin embargo, los niveles de fiabilidad obtenidos en el presente estudio para las variables de resistencia isocinética podrían afectar negativamente a las correlaciones entre los protocolos, por lo que éstas deben ser analizadas con cautela. Futuros estudios deberían profundizar en el desarrollo de test y variables de resistencia isocinética más fiables.

En referencia a la fiabilidad absoluta, los valores del porcentaje de ET y del MCD de los test de campo fueron relativamente altos (tabla 8). De acuerdo con Hopkins (2000a), los valores del MCD indican que en un tratamiento o intervención serían necesarios cambios mayores del 16.6% y 23.1% en los resultados del FRT test y BST, respectivamente, para garantizar que se hayan producido cambios reales debidos a la intervención, es decir, que estos cambios observados no hayan sido debidos a otras causas, como por ejemplo a errores de la medida. Estos resultados cuestionan la fiabilidad de estos test en aquellos casos donde se suelen producir cambios pequeños en la resistencia de la musculatura del tronco, como por ejemplo en deportistas de alto rendimiento, para los cuales pequeños cambios ya son significativos (Kraemer y Ratamess, 2004). Sin embargo, estos protocolos podrían ser aceptables en otros contextos, como por ejemplo en ámbitos de la salud, el fitness o la

educación física, donde los participantes en programas de entrenamiento del tronco pueden experimentar grandes incrementos en la resistencia muscular debido a su elevada reserva potencial de adaptación (Brotons-Gil et al., 2013; Juan-Recio, 2015).

El test isocinético mostró ligeramente mejores resultados que los test de campo para el porcentaje de ET y el MCD, tanto en las variables de fuerza ($9.3\% < \text{MCD} < 22.7\%$) como en las de resistencia ($12.4\% < \text{MCD} < 26.6\%$). La mayoría de estudios previos han analizado únicamente el EEM o ET en las variables de fuerza, obteniendo resultados similares [ligeramente superiores (Delitto et al., 1991; Dvir y Keating, 2001; Wessel et al., 1992) o ligeramente inferiores (García-Vaquero et al., en prensa; Laughlin et al., 2009)] a los obtenidos en el presente estudio. Únicamente, se ha encontrado un estudio que haya analizado la fiabilidad absoluta de variables de resistencia isocinética (García-Vaquero et al., en prensa), obteniendo valores de ET ligeramente inferiores a los nuestros ($11.46\% < \text{ET} < 5.03\%$).

En relación con el efecto de aprendizaje de los test de campo, entre la primera y la segunda sesión de registro se observó un incremento significativo del 12.1% y del 12.7% en los resultados del FRT test y del BST, respectivamente. Estos resultados son consistentes con los datos de estudios previos (Brotons-Gil et al., 2013; Juan-Recio et al., 2014; Liemohn, Baumgartner y Gagnon, 2005), los cuales indican que dos repeticiones de los protocolos no son suficientes para controlar el efecto de aprendizaje. A pesar de ello, en clínicas o centros deportivos generalmente solo se utilizan una o dos repeticiones de los test de campo para medir la resistencia de los músculos del tronco. Por el contrario, sería necesario desarrollar varias sesiones de familiarización antes de la toma de datos para que los participantes aprendieran, por ejemplo, a tolerar mejor la sensación de fatiga durante el BST o a mantener una cadencia adecuada durante el FRT test. En este sentido, Brotons-Gil et al. (2013) mostraron que es necesario realizar el FRT test al menos en tres ocasiones antes de que los resultados de los participantes dejen de mejorar por el efecto de aprendizaje del test. Por el contrario, en el protocolo isocinético, solo tres variables analizadas (WM y WMR en flexión y RFF en extensión)

mostraron diferencias significativas entre las dos sesiones de registro (tabla 1), indicando, en general, un menor error absoluto en las mediciones en comparación con los test de campo. Al comparar estos datos con los de estudios isocinéticos anteriores, encontramos resultados inconsistentes para la variable MM, ya que mientras en algunos de ellos no se observó efecto de aprendizaje (Dvir y Keating, 2001; García-Vaquero et al., en prensa; Laughlin et al., 2009; Wessel et al., 1992), en otros se observó un cambio significativo entre las medidas test y retest (Delitto et al., 1991; Keller et al., 2001; Newton y Waddell, 1993). Teniendo en cuenta, que nuestro protocolo es igual al utilizado por García-Vaquero et al. (en prensa), parece que una única sesión de registro sería suficiente para obtener valores fiables tanto de fuerza como de resistencia isocinética de los músculos del tronco.

El análisis correlacional no mostró correlaciones significativas entre los test de campo y las variables isocinéticas. La mayoría de los estudios previos (Knudson, 2001; Knudson y Johnston, 1995; Mayer et al., 1995) no encontraron relaciones significativas entre los test de campo para evaluar la resistencia del tronco y las variables isocinéticas de fuerza, excepto Hall et al. (1992), quien encontró una débil correlación significativa ($r = -.41$; $p < .01$). Además, Mayer et al. (1995) mostraron una moderada correlación negativa significativa ($-.54 < r < -.60$; $p < .05$) al comparar el BST con diferentes medidas de resistencia isocinética. No obstante, los resultados de Mayer et al. (1995) deben ser interpretados con cautela debido a los bajos niveles de fiabilidad mostrados tanto por el BST ($CCI = 0.20$) como por las variables de resistencia isocinética ($0.35 < CCI < 0.42$). Respecto al FRT test, aunque no se han encontrado en la literatura científica estudios correlacionales previos, el BTC test (*Curl-Up test* de similares características al FRT test) mostró una débil correlación ($r = .50$, $p < .05$; $r = .38$, $p = .07$) con algunas variables de resistencia isocinética (Knudson, 2001; Knudson y Johnston, 1995).

Si bien los resultados de este estudio deben ser analizados con cautela dada la baja-moderada fiabilidad de las variables de resistencia isocinética (lo cual podría afectar a las correlaciones entre los test), la ausencia de correlaciones significativas entre los test de campo y las variables de

resistencia isocinética podría ser explicada por las diferencias entre las características de los diferentes protocolos. El BST es un test isométrico realizado hasta el agotamiento, en el cual el tronco se coloca en posición horizontal y la resistencia a vencer (la parte superior del cuerpo) es menor del 50% de una contracción voluntaria máxima en hombres (Mayer et al., 1995). Por el contrario, el protocolo isocinético consiste en 4 series de esfuerzos dinámicos máximos en el plano sagital, con el tronco en una posición vertical. En este protocolo, la resistencia de los participantes se mide por su habilidad para mantener la producción de fuerza a través de diversas repeticiones y series. El FRT test también es un protocolo muy diferente al test isocinético, ya que aunque en ambos se realizan contracciones dinámicas del tronco, existen diferencias importantes entre los dos protocolos: duración del test, velocidad, tiempo de recuperación, posición del tronco, resistencia a vencer, etc. Además, mientras en las medidas isocinéticas una mayor resistencia significa que hay un menor descenso en la producción de fuerza a través de las series y repeticiones, en el FRT test una mayor resistencia está asociada a un mayor número de repeticiones en un tiempo limitado.

Los resultados de este estudio deben ser analizados con cautela, ya que el tamaño de la muestra es relativamente pequeño. No obstante, según Springate (2012) una muestra de 25-30 participantes podría ser suficiente para los estudios de fiabilidad de las medidas. Otra limitación podría ser el largo tiempo transcurrido entre las sesiones de registro (un mes). Este tiempo se estableció para reducir el efecto de aprendizaje y facilitar y optimizar el uso del laboratorio y el dinamómetro isocinético (dentro de un calendario de registros); sin embargo pudo afectar a la condición física de los músculos del tronco de los participantes debido al entrenamiento o desentrenamiento. Con el fin de evitar estos cambios, los participantes fueron instruidos para continuar con su práctica regular de actividad física durante todo el estudio.

5.3.1 Aplicaciones prácticas.

Los test de campo tienen la ventaja de que no requieren ni de un equipamiento costoso, ni de un análisis de datos sofisticado. Además, la mayoría de ellos se pueden aplicar simultáneamente a un gran número de participantes. Estas características los hacen especialmente recomendables en el ámbito de la salud, el fitness o la educación física. Por otro lado, a pesar del coste de los dinamómetros isocinéticos, los protocolos realizados con esta tecnología pueden evaluar un gran número de variables al mismo tiempo y de manera controlada (tipo de contracción, velocidad, posición, duración, etc.), por lo que su uso podría ser más apropiado en el ámbito clínico, el deporte de alto rendimiento y/o la investigación. Los resultados de este estudio muestran que todos los protocolos analizados tienen una buena fiabilidad relativa (excepto las variables de resistencia isocinética) y, por lo tanto, son capaces de discriminar correctamente entre individuos con niveles similares de fuerza y/o resistencia muscular del tronco (Hopkins, 2000a). En cuanto a la fiabilidad absoluta, el protocolo isocinético parece ligeramente mejor que las pruebas de campo para detectar los posibles cambios que se podrían producir durante una intervención. Por último, en función tanto de los resultados de este estudio, como de los obtenidos por García-Vaquero et al. (en prensa), una única repetición del protocolo isocinético podría ser suficiente para obtener valoraciones fiables de la función de los músculos del tronco, lo que es especialmente relevante teniendo en cuenta la corta duración del mismo (10 min, aproximadamente). Sin embargo, en el caso de los test de campo, se necesitarían al menos dos sesiones de familiarización previas para obtener resultados cercanos al nivel real de los participantes.

Si bien los tres protocolos analizados tienen validez aparente como medidas de resistencia o fuerza de los músculos del tronco (Brotons-Gil et al., 2013; Mayer et al., 1995), la ausencia de correlaciones significativas entre ellos sugiere que miden la función de los músculos del tronco mediante pruebas con diferentes exigencias biomecánicas, es decir, con diferentes acciones

Características de test para la valoración de la resistencia de la musculatura del tronco

musculares, duraciones, velocidades, tiempos de recuperación, posiciones, resistencias a vencer, etc. Los entrenadores, preparadores físicos y rehabilitadores deben elegir la prueba que mejor se adapte a las características biomecánicas necesarias para el éxito en un deporte determinado (criterio de especificidad), teniendo en cuenta también otros criterios importantes, tales como la fiabilidad, el coste y la facilidad de administración. En este sentido, el FRT test podría utilizarse en aquellos deportes donde se realizan movimientos repetidos de flexo-rotación, por ejemplo, deportes de lanzamiento y/o golpeo. En cuanto al BST, podría ser utilizado en deportes con grandes exigencias de resistencia isométrica de la musculatura extensora del tronco, por ejemplo, hockey, gimnasia, esquí de descenso, etc., así como en clínicas y centros de salud, ya que estudios previos han encontrado relación entre un bajo rendimiento en el BST y el dolor lumbar (Luoto et al., 1995; Biering-Sørensen, 1984). Por último, los protocolos isocinéticos podrían ser más apropiados en los deportes dinámicos que requieren de un alto nivel de fuerza y potencia en los músculos del tronco, por ejemplo, deportes de lucha (Barbado et al., 2016), rugby, etc.

ESTUDIO 4. Valoración y desarrollo de la resistencia de la musculatura flexora del tronco: Individualización de la carga y frecuencia de entrenamiento.

Casto Juan-Recio
Antonio López-Vivancos
Manuel Moya Ramón
Jose Manuel Sarabia
Francisco J. Vera-Garcia



Basado en el artículo:

Short-term effect of crunch exercise frequency on abdominal muscle endurance.

Juan-Recio, C., López-Vivancos, A., Moya, M., Sarabia, J. M., Vera-Garcia, F. J.

The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, Abril 2015, 55; páginas 280-9.

6. Resumen

En este estudio se utilizó el *Bench Trunk Curl test* (BTC test) dentro del contexto real de un programa de entrenamiento de la musculatura del tronco con un doble objetivo: 1) valorar su eficacia como instrumento para individualizar la carga de entrenamiento y evaluar el efecto de un programa estructurado de ejercicios de resistencia abdominal; 2) determinar la frecuencia de entrenamiento más adecuada (1, 2 ó 3 días/semana) para desarrollar la resistencia de los músculos flexores del tronco en adolescentes sin experiencia previa en programas de ejercicios de tronco. Ciento dieciocho estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria (59 chicos y 59 chicas) fueron asignados aleatoriamente a un grupo de entrenamiento [1 día/semana (n= 21), 2 días/semana (n= 27) ó 3 días/semana (n= 23),] o a un grupo control (n= 47), que no entrenó. Antes y después del período de entrenamiento, los participantes realizaron el BTC test para evaluar la resistencia de la musculatura abdominal. Con objeto de adaptar el test a las características de cada participante, se modificó la técnica de ejecución de la prueba en función del rango máximo de flexión de la parte superior del tronco de cada sujeto. Los grupos de entrenamiento efectuaron 2 series de ejercicios de encorvamiento del tronco (*Curl-Ups* o *Crunches*) y 2 series de ejercicios de encorvamiento del tronco con giro (*Cross Curl-Ups* o *Cross Crunches*) 1, 2 ó 3 días/semana durante 6 semanas. Para individualizar el volumen de entrenamiento, en cada serie los participantes realizaron un 30, 35 ó 40% del número de repeticiones obtenidas en el BTC test antes del periodo de entrenamiento. Según los datos obtenidos, los hombres obtuvieron mejores resultados en el BTC test que las mujeres antes y después del entrenamiento. Independientemente de la frecuencia de entrenamiento, el programa de ejercicios de tronco produjo un aumento significativo en los resultados del BTC test, lo que muestra la utilidad de la metodología utilizada para mejorar la resistencia abdominal en esta población. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre los resultados de los tres grupos de entrenamiento, lo que indica que una única sesión de entrenamiento a la semana puede ser suficiente

para aumentar la resistencia abdominal (al menos durante las primeras semanas del programa de entrenamiento), lo que parece un hallazgo importante en términos de eficiencia de costes y tiempo.

Palabras clave: planificación del entrenamiento, musculatura del tronco, acondicionamiento muscular, adolescentes.

6.1 Método.

6.1.1 Participantes.

Un total de 118 jóvenes sanos (59 chicos and 59 chicas: edad= 17.0 ± 1.2 años; masa= 63.3 ± 12.1 kg; altura= 169.2 ± 9.6 cm) participaron voluntariamente en este estudio. Los participantes rellenaron un cuestionario sobre su historial médico y físico-deportivo para evaluar el estado de salud y la experiencia en programas de ejercicios de tronco. Todos los participantes estaban sanos, no habían tenido episodios de dolor lumbar en los seis meses previos al comienzo del estudio y no tenían experiencia en programas estructurados de ejercicios de tronco. De acuerdo con la Declaración de Helsinki de 2013 y debido a la edad de los participantes, se requirió un consentimiento informado de los padres/madres/tutores para que los adolescentes pudieran participar en el estudio. Todos los procedimientos fueron aprobados por el Comité de Ética de Investigación de la Universidad.

La muestra fue dividida aleatoriamente en cuatro grupos (tabla 11): G1 (n= 21), los participantes entrenaron 1 día/semana (d/s); G2 (n= 27), los participantes entrenaron 2 d/s; G3 (n= 23), los participantes entrenaron 3 d/s; y GC (grupo control; n= 47), los participantes no entrenaron.

Tabla 11: Características antropométricas (medias \pm desviación estándar) de los participantes por grupo y sexo.

		n	EDAD (años)	MASA (kg)	ALTURA (cm)
CONTROL (GC)	Chicos	24	16.79 \pm 0.66	67.54 \pm 12.03	173.71 \pm 7.58
	Chicas	23	16.70 \pm 0.56	57.20 \pm 9.93	161.73 \pm 7.40
	Todos	47	16.74 \pm 0.61	62.48 \pm 12.12	167.85 \pm 9.57
1 d/s (G1)	Chicos	12	16.50 \pm 0.52	64.81 \pm 11.03	172.59 \pm 6.89
	Chicas	9	16.44 \pm 0.53	54.32 \pm 8.55	162.18 \pm 3.86
	Todos	21	16.48 \pm 0.51	60.31 \pm 11.16	168.13 \pm 7.74
2 d/s (G2)	Chicos	11	16.27 \pm 0.65	73.73 \pm 10.89	179.18 \pm 8.05
	Chicas	16	16.63 \pm 0.89	58.84 \pm 9.24	164.25 \pm 5.62
	Todos	27	16.48 \pm 0.80	64.91 \pm 12.26	170.33 \pm 9.95
3 d/s (G3)	Chicos	12	18.40 \pm 1.35	77.11 \pm 9.02	179.80 \pm 4.92
	Chicas	11	18.91 \pm 1.64	55.73 \pm 5.01	164.55 \pm 9.38
	Todos	23	18.67 \pm 1.49	65.91 \pm 12.99	171.81 \pm 10.76

d/s: días/semana; GC: grupo control; G1: grupo que entrenó 1 d/s; G2: grupo que entrenó 2 d/s; G3: grupo que entrenó 3 d/s.

6.1.2 Procedimiento.

Siguiendo un calendario de sesiones de entrenamiento y registro, dos días antes y dos días después del periodo de entrenamiento (pre-entrenamiento y post-entrenamiento), se evaluó la resistencia abdominal de los participantes mediante el BTC test. En ambas sesiones de evaluación, cada participante realizó el BTC test a la misma hora del día. Todos los participantes fueron advertidos de no realizar sesiones de ejercicio físico en las 12 h previas a la valoración. Antes de la evaluación pre-entrenamiento, y teniendo en cuenta los resultados del estudio 2 de la presente Tesis Doctoral, se realizó un extenso periodo de familiarización con el fin de mejorar la fiabilidad y controlar el efecto de aprendizaje del test. Se dejaron tres días de descanso entre la última sesión de práctica y la sesión de evaluación pre-entrenamiento para evitar que la fatiga muscular afectara a los datos obtenidos.

6.1.3 Descripción del protocolo para la valoración de la musculatura del tronco.

El BTC test ha sido descrito en el capítulo 4, página 69. Brevemente, el test consistió en realizar el máximo número posible de movimientos de encorvamiento del tronco en 2 min (figura 9). Para realizar el test los participantes se colocaron en posición de decúbito supino con rodillas y caderas flexionadas a 90° y en cada repetición debían flexionar la parte superior del tronco para tocar los muslos con sus antebrazos.

Durante el estudio 2 de la presente Tesis Doctoral, los investigadores observaron que algunos participantes no eran capaces de tocar los muslos con sus antebrazos sin levantar parte de la región lumbar de la esterilla (figura 14), posiblemente por tener menor rango de flexión de tronco, menor flexibilidad en los hombros y/o menor longitud de los brazos. En comparación con los participantes que no requerían de la elevación de la región lumbar, para estos participantes cada repetición del BTC test suponía un movimiento de incorporación del tronco (es decir, flexión de cadera y tronco), y por lo tanto, un mayor esfuerzo. Además, teniendo en cuenta que los movimientos de incorporación del tronco generan grandes fuerzas compresivas en la columna lumbar (Axler y McGill, 1997), cada repetición suponía un mayor riesgo de lesión para las estructuras espinales. Con el propósito de evitar la flexión de cadera y normalizar el test en función del rango de movimiento de cada individuo, el protocolo original fue modificado ligeramente. Antes del inicio de la prueba, el participante fue situado en la posición inicial descrita en el capítulo 2 (figura 14A). Desde la posición de inicio los participantes debían flexionar la parte superior del tronco lentamente hasta el punto en el que sus escapulas se levantaban de la colchoneta, pero sin despegar la zona lumbar de la misma (posición de encorvamiento). En esta posición, un investigador movía las piernas del participante hasta que los muslos tocaban los antebrazos (figura 15B). El investigador mantenía las piernas del participante en esa posición, mientras el sujeto extendía el tronco para apoyarlo de nuevo en la

esterilla (figura. 15A). Las piernas se mantenían en esta posición durante el desarrollo del test para garantizar que los participantes realizaban movimientos de encorvamiento del tronco.

El test modificado comenzó tras 1 min de descanso. Durante la prueba, únicamente fueron contabilizadas aquellas repeticiones que fueron ejecutadas correctamente, es decir, aquellas en las cuales los antebrazos tocaron los muslos durante la elevación de la parte superior del tronco y la cabeza y las escapulas tocaron la esterilla en el descenso del tronco. El resultado de la prueba fue el número de repeticiones correctas, completadas dentro del tiempo establecido. Los participantes no fueron animados, ni recibieron feedback verbal de sus resultados durante o al final de la prueba.

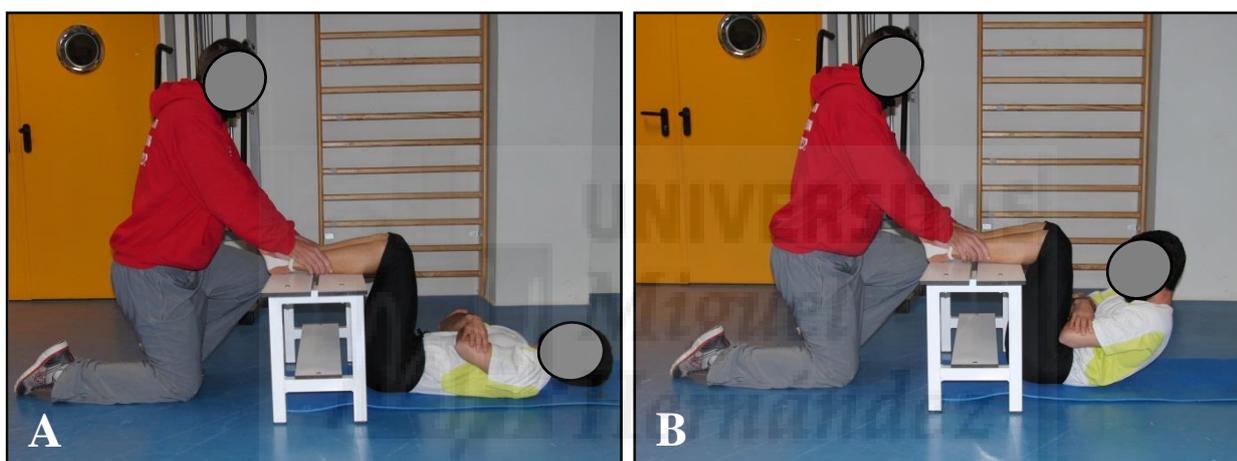


Figura 14: Vista lateral de un participante ejecutando el Bench Trunk Curl test: A) posición inicial; B) los antebrazos tocan los muslos durante la elevación del tronco. Como se puede observar en la figura, el participante levanta parte de la región lumbar de la esterilla con el propósito de tocar los muslos.



Figura 15: Vista lateral de un participante ejecutando el Bench Trunk Curl test modificado: A) posición inicial; B) los antebrazos tocan los muslos durante la elevación del tronco. El rango de movimiento fue limitado al rango normal de movimiento de un ejercicio de encorvamiento del tronco.

6.1.4 Entrenamiento.

Los programas de entrenamiento de los grupos G1, G2 y G3 duraron 6 semanas consecutivas y difirieron fundamentalmente en la frecuencia de entrenamiento realizada por cada grupo (1, 2 y 3 d/s, respectivamente). Además, como resultado de las diferencias en la frecuencia entrenamiento, el número de sesiones (volumen total) realizadas durante todo el programa de entrenamiento también varió entre grupos: G1= 6 sesiones, G2= 12 sesiones y G3= 18 sesiones. Como se muestra a continuación, el resto de características de los programas entrenamiento fueron similares en todos los grupos: ejercicios, velocidad de ejecución, series/sesión, porcentaje de repeticiones/serie, etc.

Cada sesión de entrenamiento consistió en la ejecución de 2 series de ejercicios de encorvamiento del tronco y 2 series de ejercicios de encorvamiento del tronco con giro, con 30 s de descanso entre series. Ambos tipos de ejercicios comenzaron con el sujeto tumbado en decúbito supino, las rodillas flexionadas a 90°, las plantas de los pies apoyadas en el suelo y las manos colocadas a los lados de la cabeza. Los ejercicios de encorvamiento consistieron en la flexión de la parte superior del tronco hasta el instante en el que las escápulas se levantaban de la esterilla (pero no la región lumbar), momento en el que se volvía a la posición inicial. Los ejercicios de encorvamiento con giro se ejecutaron de forma similar, pero en este caso se produjo un movimiento simultáneo de flexión y rotación de la parte superior del tronco. Durante este ejercicio, el sujeto realizó giros del tronco a un lado y al otro, de forma alterna y consecutiva. No se utilizó ninguna resistencia externa durante la ejecución de los ejercicios. Teniendo en cuenta el efecto de la velocidad/cadencia del ejercicio sobre la activación muscular (Vera-García, Flores-Parodi, Elvira y Sarti, 2008), la velocidad de ejecución se fijó en una repetición cada 2 s y se controló mediante un metrónomo programado a 60 latidos por minuto. El American College of Sport Medicine (2009) recomienda el uso de cargas de intensidad baja-moderada para desarrollar la resistencia muscular en adultos sanos desentrenados. Así pues, durante la primera y segunda semana de entrenamiento, en cada una de las series de

ejercicios los participantes realizaron un número de repeticiones por serie igual al 30% del resultado obtenido por cada uno de ellos en el BTC test durante la evaluación pre-entrenamiento. El número de repeticiones por serie aumentó un 5% cada 2 semanas: 35% de los resultados del BTC test para la tercera y cuarta semana y 40% de los resultados del BTC test para la quinta y sexta semana.

Las sesiones de entrenamiento se llevaron a cabo a la misma hora del día para cada participante y fueron supervisadas por un investigador con el fin de garantizar la correcta ejecución de los ejercicios. Durante el estudio, los participantes fueron advertidos de no participar en otro programa de ejercicios de tronco, así como de no cambiar sus hábitos de alimentación y de práctica de actividad física.

6.1.5 Análisis estadístico.

Se calcularon los estadísticos descriptivos (media y desviación estándar) de los resultados del BTC test para cada grupo (GC, G1, G2 y G3), sexo (chicos y chicas) y sesión de evaluación (pre-entrenamiento y post-entrenamiento). La prueba de Kolmogorov-Smirnov confirmó la distribución normal de todas las series de datos ($p > .05$). Un ANOVA de dos factores inter-sujetos (4 grupos x 2 sexos) fue utilizado para determinar si existían diferencias entre las características de los participantes (edad, altura, masa y nivel inicial de resistencia abdominal) antes del periodo de entrenamiento. Los efectos de la intervención fueron analizados con un ANOVA de medidas repetidas de 3 factores (2 sesiones de evaluación x 2 sexos x 4 grupos), con la *sesión de evaluación* con factor intra-sujeto y el *grupo* y el *sexo* como factores inter-sujeto. Cuando se encontraron resultados significativos en alguno de los factores, se utilizó la prueba post-hoc de Tukey para localizar las diferencias significativas en las comparaciones por pares. Un nivel alfa de 0.05 fue considerado significativo para estos análisis. Los cálculos estadísticos se realizaron con el programa PASW statistics (versión 18.0 para Windows 7; SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

Se analizó la posible existencia de heterocedasticidad en cada una de las variables. Los datos fueron logarítmicamente transformados para reducir el sesgo derivado de la no-uniformidad del error.

Para interpretar el CM de forma cualitativa, se realizó un análisis de inferencia basado en la magnitud del test y el sexo, utilizando una hoja de cálculo diseñada por Hopkins (2007), a través de una prueba t de Student calculada para examinar el cambio de las puntuaciones en cada variable entre sesiones de evaluación pareadas (sesión 2 – sesión 1). Este análisis determina la probabilidad de que los verdaderos efectos sean sustanciales o triviales cuando se introduce un valor para el cambio sustancial más pequeño. Partiendo del concepto del tamaño del efecto de Cohen (Cohen, 1992), algunos autores han sugerido como cambio sustancial más pequeño 0.20 unidades estandarizadas (que es una fracción de la desviación estándar entre sujetos). Sin embargo, en base a la amplia experiencia práctica de los autores y las características de la muestra objeto de estudio, esta diferencia de 0.2 x desviación estándar se consideró demasiado restrictiva. En consecuencia, se utilizó una diferencia de 0.6 x desviación estándar en las puntuaciones de resistencia abdominal para determinar el cambio experimentalmente relevante con el propósito de examinar que el verdadero efecto fuera al menos moderado. Para la realización de inferencia sobre el valor real del efecto, la incertidumbre del efecto se expresó a través de su intervalo de confianza al 90% y como probabilidad de que el verdadero valor del efecto representara un cambio sustancial (negativo, positivo o trivial). La probabilidad de que el CM fuese positivo, negativo o trivial, se interpretó de acuerdo a la siguiente escala: < 1%, seguramente trivial; 1-5%, muy probablemente trivial; 6-25%, probablemente trivial; 26-75%, posiblemente positivo o negativo; 76-95%, probablemente positivo o negativo; 95-99%, muy probablemente positivo o negativo; > 99%, seguramente positivo o negativo. La inferencia fue calificada como “no clara” cuando el intervalo al 90% del cambio en la media coincidió con ambos niveles (beneficioso y perjudicial) (Batterham y Hopkins, 2006; Hopkins et al., 2009).

6.2 Resultados.

Los resultados pre-entrenamiento y post-entrenamiento por grupo y sexo se presentan en la tabla 12. Antes del periodo de entrenamiento, no hubo diferencias estadísticamente significativas ($p > .05$) en la edad, la altura, la masa y los resultados del BTC test entre los grupos (tabla 11). Sin embargo, a pesar de que tampoco hubo diferencias en la interacción *grupo*sexo* para el nivel inicial de resistencia abdominal ($p > .05$), los hombres obtuvieron puntuaciones más altas en el BTC test que las mujeres en la evaluación pre-entrenamiento ($p < .001$).

Después del período de entrenamiento, el ANOVA no encontró un efecto significativo en la interacción *grupo*sexo*sesión de evaluación*, ni en la interacción *sexo*sesión de evaluación*. Si hubo, sin embargo, diferencias significativas en la interacción *grupo*sesión de evaluación* ($p < .001$; $F = 12.601$) y en el efecto principal *sesión de evaluación* ($p < .001$; $F = 59.047$). Las comparaciones por pares revelaron que el G1, G2 y G3 mejoraron significativamente después de las 6 semanas de entrenamiento ($p < .001$), mientras que el GC no cambió ($p = .529$; $F = 0.399$) (figura 16).

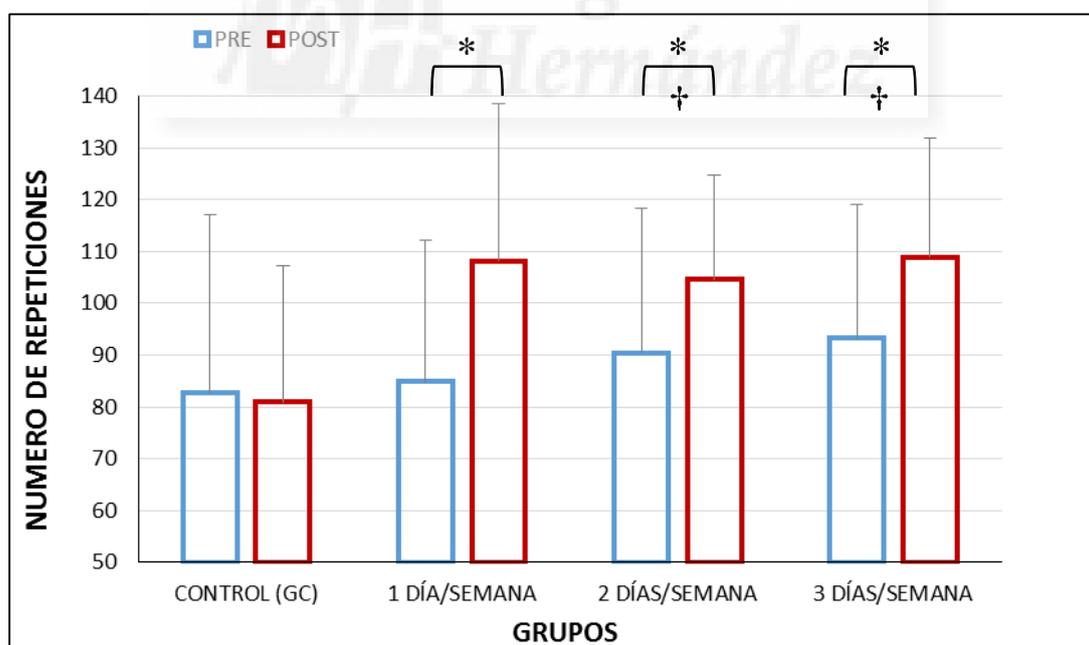


Figura 16: Cambios en los resultados del Bench Trunk Curl test entre la pre-evaluación (PRE) y la post-evaluación (POST) para todos los grupos. Las barras de error son las desviaciones estándar. Diferencias estadísticas * indica $POST > PRE$ con $p \leq .001$; † indica mayor que grupo control con $p \leq .05$.

El ANOVA no mostró diferencias significativas en la interacción de los factores inter-sujetos (*grupo*sexo*) en la resistencia abdominal después del período de entrenamiento, pero se encontraron diferencias significativas en los efectos principales *grupo* ($p = .002$; $F = 5.294$) y *sexo* ($p < .001$; $F = 27.011$). Los tres grupos de entrenamiento mostraron diferencias en la resistencia abdominal en comparación con GC (figura 16). El análisis post-hoc de Tukey mostró diferencias significativas entre G2 y GC ($p = .023$) y entre G3 y GC ($p = .006$), y casi diferencias estadísticamente significativas entre G1 y GC ($p = .066$). Por el contrario, los tres grupos de entrenamiento obtuvieron resultados similares en el BTC test después del período de entrenamiento ($p > .05$) con unas diferencias muy probablemente positivas para el G1, posiblemente positivas para el G2 y probablemente positivas para el G3 (figura 17). En relación con el efecto principal del *sexo*, los hombres también obtuvieron mayores resultados que las mujeres en la evaluación post-entrenamiento, con una diferencia de medias muy probablemente positiva.

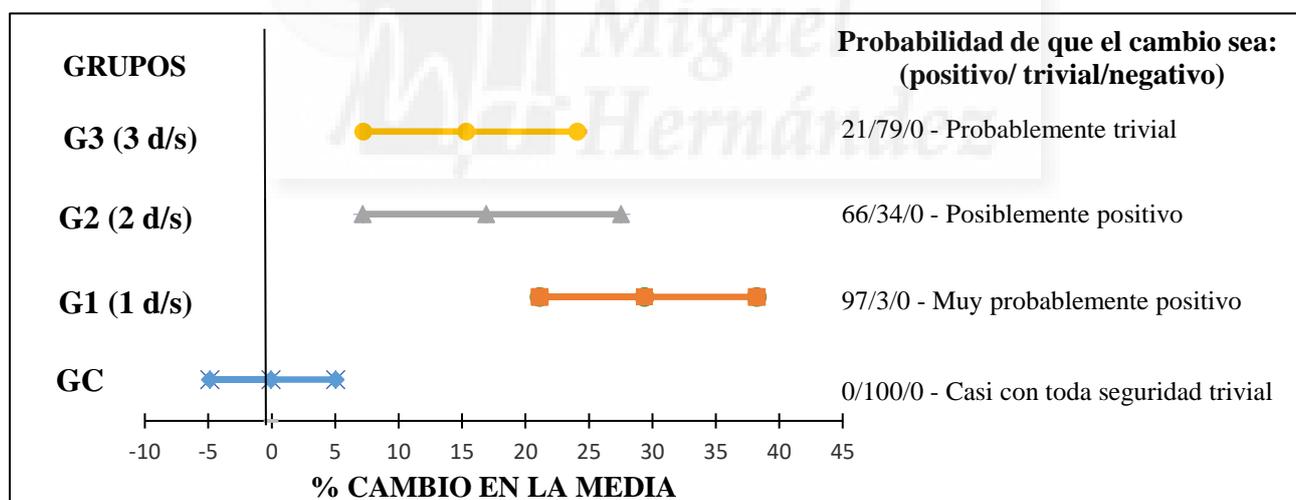


Figura 17: Inferencia cualitativa del porcentaje del cambio en la media para el Bench Trunk Curl test.

Tabla 12: Valores descriptivos e inferencia cualitativa de los cambios producidos en la resistencia abdominal tras el programa de ejercicios abdominales.

Grupos	N	PRE	POST	%CM (media- 90% LC)	Probabilidad de que el verdadero efecto sea ^a			Inferencia cualitativa ^b	
					positivo / trivial / negativo				
CONTROL (GC)	Total	47	82.7 ± 34.4	81 ± 26.2	-0.06 (-4.89 – 5.02)	0	100	0	Casi con toda seguridad trivial
	Chicos	24	101.6 ± 36.6	96 ± 21.9	-2.16 (-8.53 – 4.66)	0	100	0	Casi con toda seguridad trivial
	Chicas	23	62.9 ± 16.6	65.2 ± 20.6	2.19 (-5.36 – 10.33)	0	100	0	Casi con toda seguridad trivial
1 DÍA/SEMANA (G1)	Total	21	84.9 ± 27.4	108.1 ± 30.3	29.38 (21.11 – 38.22)	97	3	0	Muy probablemente positivo
	Chicos	12	98.3 ± 25.7	116.7 ± 35.8	17.26 (11.43 – 23.39)	26	74	0	Posiblemente positivo
	Chicas	9	66.9 ± 18.2	96.7 ± 16.8	12.80 (-3.34 – 31.62)	25	74	0	Posiblemente positivo
2 DÍAS/SEMANA (G2)	Total	27	90.4 ± 22.8	104.5 ± 20.3	16.89 (7.16 – 27.51)	66	34	0	Posiblemente positivo
	Chicos	11	93.6 ± 27.4	111.6 ± 17.7	23.01 (9.34 – 38.40)	67	23	0	Posiblemente positivo
	Chicas	16	88.3 ± 19.6	99.6 ± 21.0	12.86 (-0.85 – 28.47)	23	77	0	Probablemente trivial
3 DÍAS/SEMANA (G3)	Total	23	93.2 ± 25.9	108.9 ± 23.0	15.33 (7.20 – 24.08)	21	79	0	Probablemente trivial
	Chicos	12	105.3 ± 24.0	117.1 ± 21.4	11.80 (2.75 – 21.63)	9	91	0	Posiblemente trivial
	Chicas	11	80.1 ± 21.8	99.2 ± 21.9	25.06 (15.07 – 35.92)	83	17	0	Probablemente positivo

GC: grupo control; G1: grupo que entrenó un día/semana; G2: grupo que entrenó dos días/semana; G3: grupo que entrenó tres días/semana; CM: cambio en la media; LC: límites de confianza; *Significación $p < .05$.

^a Cambio absoluto en el rendimiento de 0.6 x desviación estándar entre-sujeto (ver apartado 6.1.5. del método).

^b Si tanto la probabilidad de beneficio como de perjuicio es > 5%, el verdadero efecto será evaluado como “no claro” (podría ser beneficioso o perjudicial). La probabilidad de que el cambio sea negativo, trivial o positivo fue evaluado con la siguiente escala: < 1%, casi seguro que no; 1-4%, muy poco probable; 5-24%, poco probable o probablemente no; 25-74%, posiblemente, o puede ser; 75 a 94%, probable; 95 a 99%, muy probable; > 99%, casi con toda seguridad.

6.3 Discusión.

A pesar de que los programas de ejercicios de acondicionamiento muscular del tronco son ampliamente utilizados en ámbitos del fitness, la rehabilitación, el rendimiento deportivo, etc., carecemos de información suficiente para tomar decisiones relacionadas con muchas de las características de estos programas, como por ejemplo, cuál es el número de repeticiones a realizar en cada serie o cuál es la frecuencia de entrenamiento mínima para mejorar la resistencia de los músculos flexores del tronco. En este estudio longitudinal, se utilizó el BTC test para individualizar la carga de entrenamiento y comparar los efectos a corto plazo de diferentes frecuencias de entrenamiento sobre la resistencia abdominal en adolescentes sin experiencia previa en programas de ejercicios de tronco. Según nuestros resultados, todas las frecuencias analizadas (1, 2 y 3 d/s) produjeron un aumento significativo en los resultados del BTC test tanto en hombres como en mujeres. Sin embargo, a pesar de las diferencias en el número de sesiones realizadas por cada grupo experimental (G1= 6 sesiones, G2= 12 sesiones y G3= 18 sesiones), no hubo diferencias significativas en los resultados del BTC test entre grupos después de las 6 semanas de entrenamiento. Estos resultados sugieren que una pequeña dosis de ejercicios de encorvamiento del tronco (1 d/s), puede ser suficiente estímulo para aumentar la resistencia abdominal en adolescentes sin experiencia previa en este tipo de entrenamiento; al menos durante las primeras etapas de un programa de ejercicios abdominales, lo que parece un hallazgo muy importante en términos de eficiencia de costes y tiempo.

Los resultados obtenidos en los grupos experimentales muestran la utilidad de la metodología utilizada en este estudio para desarrollar la resistencia de la musculatura flexora del tronco en adolescentes sin experiencia previa en programas de tronco. Estudios previos ya habían demostrado los efectos positivos de la repetición sistemática de ejercicios de flexión del tronco (Cerny, 1991; Vera-Garcia, 2003), pero no habían tenido en cuenta la individualización del volumen de entrenamiento en función de los datos obtenidos antes de la intervención. Además, la ausencia de

diferencias significativas en el GC y los datos de fiabilidad del BTC test presentados en el estudio 2 de la presente Tesis Doctoral, muestran la consistencia de esta prueba de campo como herramienta para detectar cambios en la resistencia abdominal en esta población como resultado de la realización de programas de ejercicios abdominales.

Con respecto a la frecuencia de entrenamiento, los resultados de este estudio apoyan los obtenidos por estudios previos que evaluaron la fuerza muscular de los extensores del tronco en individuos sedentarios (Carpenter, 1991; Graves et al., 1990; Tucci et al., 1992). En estos trabajos, frecuencias de entrenamiento de 1 d/2 s, 1 d/s, 2 d/s y 3 d/s obtuvieron ganancias similares después de 12 semanas de entrenamiento. Por el contrario, Vera-Garcia (2003) encontró que frecuencias de entrenamiento de 2 y 3 d/s fueron más efectivas para la mejora de la resistencia abdominal que una frecuencia de 1 d/s en adolescentes desentrenados. En este último estudio, los participantes no mantuvieron una frecuencia constante a lo largo del programa de entrenamiento, sino que la frecuencia fue cuantificada como la media de todos los días de entrenamiento realizados durante el periodo de entrenamiento (8 semanas). Así, por ejemplo, algunos participantes del grupo con una frecuencia media de 1 d/s pudieron entrenar 2 días a la semana durante cuatro semanas y no entrenar el resto de semanas. Esto pudo tener un efecto importante en los resultados del estudio y dificulta su comparación con los datos obtenidos en esta Tesis Doctoral. Aunque no hemos podido encontrar más estudios sobre frecuencia de entrenamiento abdominal, DeMichele et al. (1997) encontraron resultados similares a los obtenidos por Vera-Garcia (2003) cuando evaluaron el efecto de diversas frecuencias de entrenamiento en la fuerza de los músculos rotadores del tronco. En este sentido, frecuencias de 2 y 3 d/s fueron más efectivas que una frecuencia de 1 d/s para la mejora de la fuerza muscular. El estudio de DeMichelle (1997) y nuestro estudio tienen diferencias metodológicas importantes, por ejemplo, la edad de los participantes, el tipo de ejercicios utilizados, el objetivo o la duración del entrenamiento, lo que puede explicar las diferencias en los resultados entre ellos. En general, aunque no parece existir una única frecuencia óptima para todos los grupos musculares del

tronco, frecuencias de entrenamiento de 1 ó 2 d/s podrían ser suficientes para desarrollar la fuerza o la resistencia de los músculos del tronco en principiantes.

La ausencia de diferencias al comparar los efectos de los programas de entrenamiento de los grupos G1, G2 y G3 en nuestro estudio, pudo deberse tanto a las características de los participantes (no entrenados previamente), como a la corta duración del programa de entrenamiento (6 semanas). El nivel de entrenamiento juega un papel importante en la capacidad de mejora, ya que los participantes desentrenados mejoran fácilmente en las primeras etapas de un programa de entrenamiento (Kraemer y Ratamess, 2004; Ratamess et al., 2009). Además, durante las primeras semanas de entrenamiento, mayores volúmenes de trabajo (como consecuencia de frecuencias de entrenamiento más altas) pueden inducir mayores niveles de estrés muscular que volúmenes de trabajo más bajos, lo que puede resultar en un mayor dolor y tensión muscular (Candow y Burke, 2007). Posiblemente, los volúmenes de entrenamiento de los grupos G2 y G3 fueron relativamente altos para estos participantes noveles, lo que pudo impedir una recuperación completa durante este corto periodo de entrenamiento, dificultando los procesos de adaptación. Tal vez una mayor duración del periodo de entrenamiento podría haber permitido mayores adaptaciones en los grupos G2 y G3. En este sentido, DeMichelle al. (1997) encontraron los mayores aumentos en la fuerza de los rotadores del tronco después de 6 semanas de entrenamiento. Por otra parte, una mayor duración también podría haber causado el estancamiento en las mejoras del G1, ya que una frecuencia de 1 d/s podría haber dejado de ser un estímulo suficiente para continuar con las mejoras en la resistencia abdominal. Estudios futuros deberían examinar el efecto de la interacción de la frecuencia y la duración de los programas de acondicionamiento muscular tronco en distintas poblaciones.

Con relación a las diferencias por sexo, los hombres obtuvieron mejores resultados que las mujeres en el BTC test antes y después del periodo de entrenamiento, con una diferencia de medias muy probablemente positiva, apoyando los resultados de estudios anteriores que compararon los resultados entre hombres y mujeres en test dinámicos de flexión de tronco (Brotons-Gil et al., 2013;

Sidney, 1990). Sin embargo, aunque los hombres parecen tener una mayor resistencia abdominal que las mujeres de la misma edad, ambos sexos podrían beneficiarse de frecuencias de entrenamiento bajas (con una buena relación dosis/respuesta), ya que no se encontraron diferencias entre sexos en las mejoras a corto plazo de la resistencia abdominal.

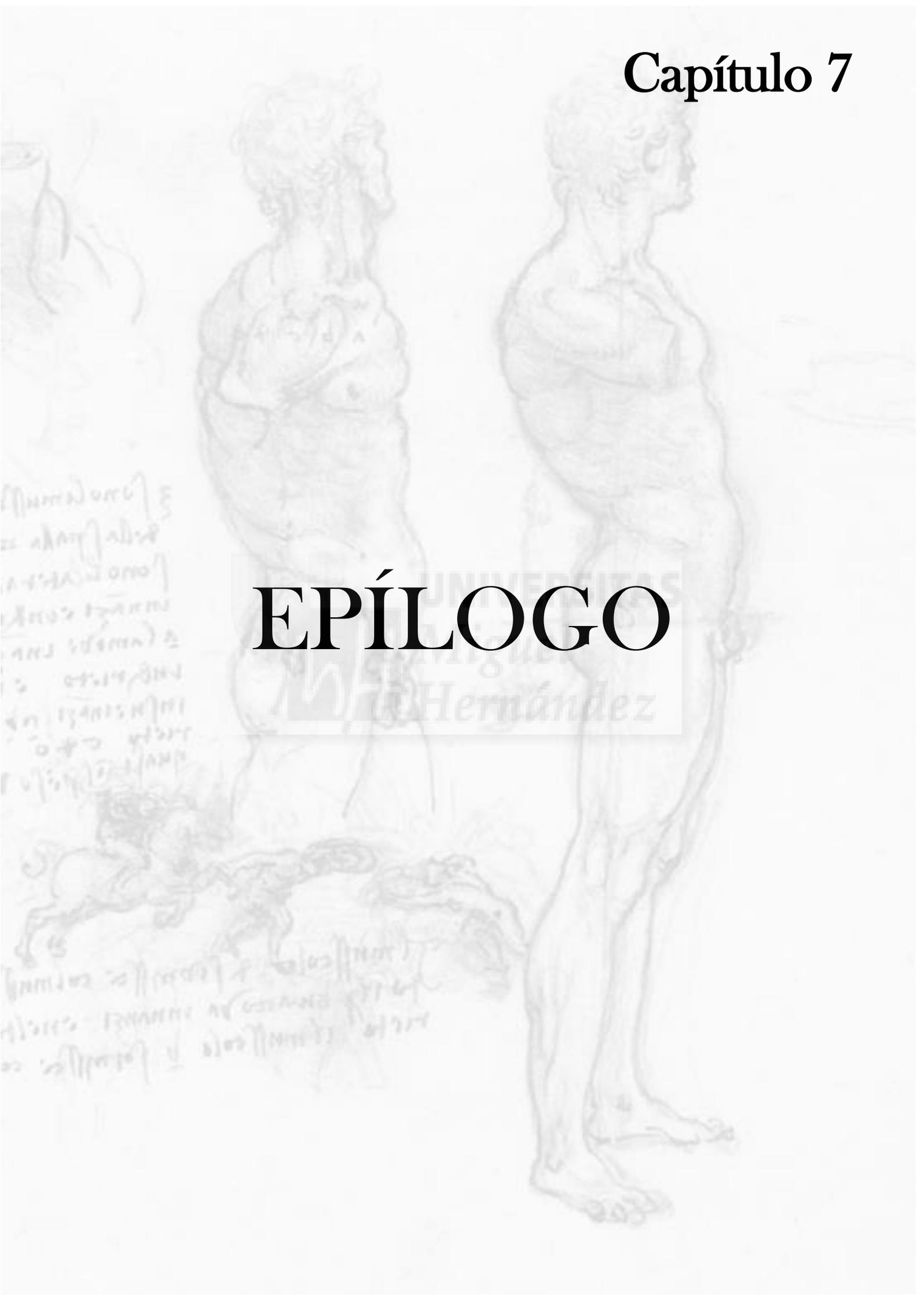
6.3.1 Conclusiones.

Los resultados obtenidos en los grupos experimentales muestran la utilidad del BTC test como un instrumento para individualizar la carga de entrenamiento abdominal en adolescentes sin experiencia previa en programas de ejercicios de tronco. Además, los resultados del GC muestran la consistencia de esta prueba de campo para valorar la resistencia abdominal en la población referida. Futuros estudios deben desarrollar nuevas metodologías para el control de la carga de entrenamiento en diferentes programas de ejercicios de tronco, como por ejemplo, ejercicios de fuerza, resistencia y/o estabilidad del tronco.

A pesar de que frecuencias de 2 ó 3 d/s han sido tradicionalmente recomendadas como óptimas para la mejora de la resistencia muscular en principiantes (ACSM, 2009), los resultados de este estudio muestran que se puede obtener aumentos significativos en la resistencia abdominal con una frecuencia de 1 d/s, tanto en hombres como en mujeres sin experiencia en programas de tronco. Por tanto, frecuencias de entrenamiento bajas puede ser adecuadas en términos de eficiencia de tiempo y costes e incluso importantes para aumentar la participación y la adhesión a los programas de ejercicios abdominales, ya que la falta de tiempo es uno de los principales argumentos que usa la gente para justificar los motivos por los que no han participado o han abandonado un programa de entrenamiento (CSD, 2011). Como no es posible generalizar los resultados obtenidos en este estudio a otras poblaciones, se necesita de nuevos estudios que analicen el efecto de diferentes frecuencias de entrenamiento en deportistas con experiencia en programas de ejercicios de tronco, pacientes con SDL, etc.

EPÍLOGO

Hernández



7. EPILOGO

7.1 Conclusiones

En esta Tesis Doctoral se han realizado cuatro estudios sobre las características de algunos de los protocolos más representativos para la valoración de la resistencia de la musculatura del tronco. El primer estudio se realizó en una muestra de jóvenes universitarios y analizó la fiabilidad absoluta y relativa del BST, el SBT y el IT (tres de los test de campo más utilizados para valorar la resistencia isométrica de la musculatura extensora, inclinadora y flexora del tronco, respectivamente), junto al efecto de la antropometría y el sexo en el rendimiento en las pruebas. El segundo estudio se realizó en adolescentes y examinó la fiabilidad absoluta y relativa del BTC test (prueba de campo para evaluar la resistencia dinámica de los músculos flexores del tronco), así como el efecto de la edad, el sexo y la antropometría sobre el resultado en el test. En el tercer estudio, se analizó la fiabilidad absoluta y relativa de un protocolo isocinético de flexo-extensión del tronco, del FRT test y del BST, así como la relación entre los resultados obtenidos en los diferentes protocolos. Por último, en el cuarto estudio se valoró la eficacia del BTC test para individualizar la carga de entrenamiento y evaluar el efecto de un programa estructurado de ejercicios de tronco en adolescentes. Asimismo, se examinó la frecuencia de entrenamiento más adecuada para desarrollar la resistencia de los músculos flexores del tronco en esta población.

A continuación, se presentan las principales conclusiones de los estudios referidos en base a las hipótesis definidas en el capítulo 2 de esta Tesis Doctoral. Para ello, se aceptarán o rechazarán cada una de las hipótesis a partir de los resultados obtenidos, dando lugar a las conclusiones de la Tesis Doctoral:

H.1 Los test de campo para medir la resistencia de los músculos del tronco de los Estudios 1, 2 y 3 presentarán una buena fiabilidad relativa, con valores de CCI por encima de 0.75. Por otra parte, el ET de los test de campo analizados en esta Tesis Doctoral será de moderado a alto (10-20%).

✓ En general, se confirma esta hipótesis. Los test de campo analizados en los **estudios 1, 2 y 3** (BST, SBT, IT, FRT test y BTC test) presentaron una buena fiabilidad relativa con valores de $0.71 <CCI < 0.89$, demostrando su habilidad para discriminar correctamente las diferencias en el rendimiento en estas pruebas en las poblaciones analizadas. Por lo que respecta a la fiabilidad absoluta, los valores de ET oscilaron entre 10.17% y 29.99%, lo que implica que serían necesarios cambios relativamente grandes para asegurar con certeza que se ha producido un cambio real después de un programa de intervención y que no es debido a un error en la medida. Por otro lado, los resultados del grupo control en el **estudio 4** muestran la consistencia del BTC test como prueba de campo para valorar la resistencia abdominal en adolescentes sin experiencia previa en programas de ejercicios de tronco.

*H.2 El rendimiento en los test de campo analizados en los **Estudios 1 y 2** estará influenciado por la antropometría de los participantes.*

✓ En general, se confirma esta hipótesis. Según se desprende de nuestros resultados, no solo es importante tener en cuenta la masa total de los participantes, sino también cómo se distribuye esta entre las diferentes partes del cuerpo.

*H.3 Los hombres mostrarán mejores puntuaciones que las mujeres en el IT, SBT y BTC test pero no en el BST (**Estudio 1 y 2**).*

✓ Se confirma parcialmente esta hipótesis. Los hombres mostraron mejores resultados que las mujeres en el SBT y el BTC test, pero no en el IT y BST, debido posiblemente a las diferencias morfológicas y psicológicas entre ambos.

H.4 No se encontrarán diferencias en los resultados del BTC test entre diferentes grupos de edad (14, 15, 16, 17 y 18 años) (**Estudio 2**).

✓ Se confirma esta hipótesis. No se encontraron diferencias entre los grupos de edad analizados, lo cual no apoya la agrupación que realizan habitualmente las baterías internacionales de acondicionamiento físico para jóvenes orientadas a la salud, que suelen presentar los datos normativos de resistencia de la musculatura flexora del tronco en función de la edad.

H.5 Las variables de fuerza isocinética analizadas en el **Estudio 3** mostrarán una buena fiabilidad relativa, con valores de CCI que posiblemente se encontrarán por encima de 0.80. Por otro lado, los valores de CCI en las variables de resistencia serán moderados-bajos ($CCI \leq 0.70$).

✓ Se confirma esta hipótesis. Las variables de fuerza isocinética examinadas mostraron valores de CCI moderados-altos, mientras que la fiabilidad relativa de las variables de resistencia isocinética fue moderada-baja.

H.6 Con respecto a la fiabilidad absoluta del test isocinético analizado en el **Estudio 3**, las variables de fuerza y resistencia mostrarán valores bajos o moderados de ET.

✓ Se confirma esta hipótesis. Tanto las variables de fuerza isocinética como las variables de resistencia isocinética obtuvieron valores bajos o moderados de ET.

H.7 Las correlaciones entre el rendimiento en test isocinéticos y test de campo, analizadas en el **Estudio 3**, serán nulas o bajas.

✓ Se confirma esta hipótesis. El análisis de correlación no mostró correlaciones significativas entre los resultados de los tres protocolos analizados, sugiriendo que estas pruebas miden diferentes cualidades de la musculatura del tronco, es decir, resistencia isométrica de los extensores del tronco,

resistencia dinámica de los músculos flexo-rotadores del tronco, resistencia isocinética de los músculos flexores del tronco, resistencia isocinética de los músculos extensores del tronco, fuerza isocinética de los músculos flexores del tronco y fuerza isocinética de los músculos extensores del tronco.

H.8 *La individualización del número de repeticiones realizadas por cada participante en función de los resultados pre-entrenamiento obtenidos en el BTC test, permitirá una mejora significativa de la resistencia de los músculos flexores del tronco en adolescentes sin experiencia previa en programas estructurados de ejercicios para el acondicionamiento de los músculos del tronco (Estudio 4).*

✓ Se confirma esta hipótesis. Independientemente de la frecuencia de entrenamiento, el programa de ejercicios de tronco produjo un aumento significativo en la resistencia de la musculatura flexora del tronco, lo que muestra la utilidad de la metodología utilizada para mejorar la resistencia abdominal en esta población.

H.9 *Frecuencias de entrenamiento de 2 y 3 d/s serán más efectivas que una frecuencia de 1 d/s para mejorar la resistencia abdominal (Estudio 4).*

✗ Se rechaza esta hipótesis. No se encontraron diferencias significativas entre las diferentes frecuencias de entrenamiento analizadas, lo que indica que una única sesión de entrenamiento a la semana puede ser suficiente para aumentar la resistencia abdominal en adolescentes sin experiencia previa en programas de ejercicios de tronco.

7.2 Limitaciones y prospectivas de investigación

Durante el desarrollo de los diferentes estudios de esta Tesis Doctoral, se detectaron ciertas limitaciones que sirven de punto de partida para futuras investigaciones sobre las características de los test de resistencia de la musculatura del tronco. A continuación se presentan las limitaciones más

importantes de la Tesis Doctoral, las cuales han sido tenidas en cuenta para el análisis y discusión de los resultados:

I. Una de las principales limitaciones que encontramos en esta Tesis Doctoral es el número de participantes en los diferentes estudios realizados. La literatura científica recomienda una muestra de 25-50 personas para llevar a cabo estudios exhaustivos de fiabilidad (Hopkins, 2000a; Springate, 2012). El análisis de fiabilidad en los estudios 1 y 3 se llevó a cabo con 45 (27 hombres y 18 mujeres) y 27 participantes (hombres), respectivamente. Con el fin de obtener una potencia estadística mayor, sería deseable desarrollar nuevos estudios con muestras mayores. Por otra parte, aunque no existe un único enfoque para la estimación del número de participantes en los modelos de regresión lineal múltiple, los enfoques menos restrictivos sugieren un mínimo de 5 participantes (e incluso de 2 participantes) por variable independiente introducida en el modelo, para obtener un sesgo relativo menor del 10% en la estimación de los coeficientes de regresión (Austin y Steyerberg, 2015); siendo lo más deseable 20 participantes por variable (Tabachnick y Fidell, 2006). En el estudio 1, el número de sujetos fue de 27 hombres y 18 mujeres para un total de 7 variables antropométricas (predictoras). Con el propósito de desarrollar modelos más precisos y poder establecer bases normativas, los futuros estudios sobre la influencia de variables antropométricas en los resultados de test de resistencia de los músculos del tronco deberían utilizar muestras mayores de diferentes poblaciones (deportistas de elite, personas sedentarias, adultos, etc.).

En el estudio 2 se presentaron los datos normativos de resistencia abdominal por sexo (percentiles 25, 50 y 75) de una muestra de 216 adolescentes con edades entre 14 y 18 años. Aunque también existe controversia sobre qué constituye una muestra adecuada para estimar con precisión los valores normativos representativos de una determinada población, Gran et al., (1977) establecieron que la muestra debía ser de un mínimo de 25 participantes para distinguir efectivamente del percentil 10 al 50 y de al menos 1300 participantes para distinguir entre del percentil 2.5 al 5 (con un LC del 95%). Por lo tanto, se necesitan estudios con muestras mayores que confirmen los resultados del estudio 2 y

que puedan mostrar con precisión valores de resistencia muscular en un mayor número de percentiles.

II. Generalmente se recomienda realizar los cálculos de fiabilidad después de realizar al menos 3 ensayos de las pruebas o una vez que las diferencias entre medidas se han estabilizado (Hopkins, 2000a). Sin embargo, en los estudios 1, 2 y 3 se utilizó un diseño test-retest, como es habitual en la mayoría de estudios similares que encontramos en la literatura (ver por ejemplo: del Pozo-Cruz et al., 2014; Durall et al., 2012; Evans et al., 2007; Greene et al., 2012; Udermann et al., 2003). Con este diseño, algunos de los test de campo analizados en estos estudios (BST, FRT test y BTC test) mostraron una mejora en el rendimiento en el retest, lo que indica un efecto de aprendizaje de la prueba. Estudios futuros deberían utilizar diseños con un mayor número de sesiones para saber cuándo desaparece el efecto de aprendizaje y se estabilizan las medidas en los test de campo de resistencia del tronco.

III. Durante la ejecución del BTC test en el estudio 2, se observó que algunos participantes tenían que flexionar la cadera e incorporar el tronco para tocar los muslos con los antebrazos, lo que requería de un mayor esfuerzo para ejecutar cada repetición con respecto a otros participantes que solo requerían de la flexión del tronco. Estas diferencias en el rango de movimiento de los sujetos pudieron afectar a la comparación entre los grupos de edad y/o entre los sexos. De este modo, como se realizó en el estudio 4 de esta Tesis Doctoral, los entrenadores, profesionales de la salud e investigadores que utilicen el BTC test para evaluar la resistencia abdominal, deberían individualizar la ejecución de la prueba en función del rango máximo de flexión de la parte superior del tronco de cada uno de los participantes.

IV. En el estudio 3, los niveles bajos-moderados de fiabilidad de algunas de las variables de resistencia isocinética pudieron afectar negativamente a los resultados de las correlaciones entre estas variables y los test de campo, por lo que las correlaciones deberían ser analizadas con cautela. Sería conveniente que futuros estudios profundizaran en el desarrollo de variables de resistencia

isocinética más fiables, que permitan valorar con una mayor exactitud a los participantes. Estos estudios deberían llevarse a cabo con una muestra mayor y en poblaciones de diferente edad, sexo, nivel de rendimiento, estado de salud, etc., lo que permitiría establecer valores normativos sobre la condición física del tronco en las poblaciones referidas. Igualmente, estos estudios podrían incluir diseños prospectivos o experimentales que relacionaran las medidas isocinéticas de fuerza y/o resistencia muscular del tronco con parámetros de salud, lo que, a diferencia del uso de los test de campo, podría permitir la identificación de valores de riesgo en un mayor número de variables y de manera controlada, utilizando una única prueba.

V. Aunque los estudios experimentales de acondicionamiento muscular utilizan generalmente periodos de intervención de entre 8 y 12 semanas, el periodo de entrenamiento en el estudio 4 duró 6 semanas. Tal vez, una mayor duración del periodo de entrenamiento podría haber permitido mayores adaptaciones en los grupos con mayores frecuencias de entrenamiento (2 y 3 d/s), alcanzando de esta forma diferencias significativas respecto al grupo que entrenó 1 d/s. Por otra parte, aunque la metodología empleada en el estudio 4 mostró su utilidad para desarrollar la resistencia de la musculatura flexora del tronco, futuros estudios deberían profundizar en la individualización y control de la carga de entrenamiento para examinar qué características de la misma resultan más adecuadas en diferentes programas de ejercicios de tronco (de fuerza, resistencia y/o estabilidad del tronco) y en diferentes poblaciones (personas entrenadas, pacientes con SDL, etc.) .

REFERENCIAS

- ACSM. (2000). *American College of Sports Medicine*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams y Wilkins; 6th edition.
- Alaranta, H., Hurri, H., Heliovaara, M., Soukka, A. y Harju, R. (1994). Non-dynamometric trunk performance tests: reliability and normative data. *Scandinavian Journal of Rehabilitation and Medicine*, 26(4), 211-215.
- Allen, B. A., Hannon, J. C., Burns, R. D. y Williams, S. M. (2014). Effect of a core conditioning intervention on tests of trunk muscular endurance in school-aged children. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(7), 2063-2070.
- Arab, A. M., Salavati, M., Ebrahimi, I. y Mousavi, M. E. (2007). Sensitivity, specificity and predictive value of the clinical trunk muscle endurance tests in low back pain. *Clinical Rehabilitation*, 21(7), 640-647.
- Atkinson, G. y Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217-238.
- Austin, P. C. y Steyerberg, E. W. (2015). The number of subjects per variable required in linear regression analyses. *Journal of Clinical Epidemiology*, 68(6), 627-636.
- Avila Arriaza, M. A. y Palomo Gómez, J. M. (2010). Lumbalgia inespecífica: la enfermedad del siglo XXI. Abordaje terapéutico de enfermería. *Hygia de enfermería: revista científica del colegio*, 75, 5-9.
- Axler, C. T. y McGill, S. M. (1997). Low back loads over a variety of abdominal exercises: searching for the safest abdominal challenge. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(6), 804-811.
- Badillo, J. J. G. y Ayestarán, E. G. (2002). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: Aplicación al alto rendimiento deportivo*. Barcelona (España): Inde.

- Barbado, D., Lopez-Valenciano, A., Juan-Recio, C., Montero-Carretero, C., van Dieen, J. H. y Vera-Garcia, F. J. (2016). Trunk Stability, Trunk Strength and Sport Performance Level in Judo. *PloS One*, 11(5), e0156267.
- Batterham, A. M. y Hopkins, W. G. (2006). Making meaningful inferences about magnitudes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(1), 50-57.
- Biering-Sørensen, F. (1984). Physical measurements as risk indicators for low-back trouble over a one-year period. *Spine*, 9, 106–119.
- Bland, J. M. y Altman, D. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, 327(8476), 307-310.
- Borghuis, J., Hof, A. L. y Lemmink, K. A. (2008). The importance of sensory-motor control in providing core stability: implications for measurement and training. *Sports Medicine*, 38(11), 893-916.
- Breivik, H., Eisenberg, E. y O'Brien, T. (2013). The individual and societal burden of chronic pain in Europe: the case for strategic prioritisation and action to improve knowledge and availability of appropriate care. *BMC Public Health*, 13, 1229.
- Bridges, A. J. y Holler, K. A. (2007). How many is enough? Determining optimal sample sizes for normative studies in pediatric neuropsychology. *Child Neuropsychology*, 13(6), 528-538.
- Brito Ojeda, M. E. y Navarro García, R. (1995). Aplicación de la batería Eurofit en la población escolar entre los 10 y 19 años en la isla de Gran Canaria. IX Jornadas Canarias de Traumatología y Cirugía Ortopédica, 102-104.
- Brotons-Gil, E., Garcia-Vaquero, M. P., Peco-Gonzalez, N. y Vera-Garcia, F. J. (2013). Flexion-rotation trunk test to assess abdominal muscle endurance: reliability, learning effect, and sex differences. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 27(6), 1602-1608.

- Burns, R. D., Hannon, J. C., Saint-Maurice, P. F. y Welk, G. J. (2014). Concurrent and Criterion-Referenced Validity of Trunk Muscular Fitness Tests in School-Aged Children. *Advances in Physical Education*, 4, 41-50.
- Cabañas, F y Cañadas, M. D. (2009). *Compendio de Cineantropometría*. Madrid: Editorial CTO.
- Campbell, E. (1952). An electromyographic study of the role of the abdominal muscles in breathing. *The Journal of Physiology*, 117(2), 222-233.
- Candow, D. G. y Burke, D. G. (2007). Effect of short-term equal-volume resistance training with different workout frequency on muscle mass and strength in untrained men and women. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 204-207.
- Carpenter, D., Graves, J., Blanton, J., Leggett, S. y Pollock, M. (1991). Effect of testing order on isometric torso rotation strength. *International Journal of Sports Medicine*, 2(12).
- Cerny, K. (1991). Do curl-up exercises improve abdominal muscle strength. *Journal of Human Muscle Performance*, 1, 37-47.
- CFMHO (Committee on Fitness Measures and Health Outcomes in Youth). (2012). *Fitness Measures and Health Outcomes in Youth*. Washington (DC): National Academies Press (US).
- Cissik, J. M. (2002). Programming Abdominal Training, Part I. *Strength and Conditioning Journal*, 24(1), 9-15.
- Clayton, M. A., Trudo, C. E., Laubach, L. L., Linderman, J. K., De Marco, G. M. y Barr, S. (2011). Relationships between isokinetic core strength and field based athletic performance tests in male collegiate baseball players. *Journal of Exercise Physiology Online*, 14(5), 20-30.
- Cohen, J. (1992). Statistical power analysis. *Current Directions in Psychological Science*, 1(3), 98-101.
- Coorevits, P., Danneels, L., Cambier, D., Ramon, H. y Vanderstraeten, G. (2008). Assessment of the validity of the Biering-Sørensen test for measuring back muscle fatigue based on EMG

- median frequency characteristics of back and hip muscles. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(6), 997-1005.
- Correia, J. P., Oliveira, R., Vaz, J. R., Silva, L. y Pezarat-Correia, P. (2016). Trunk muscle activation, fatigue and low back pain in tennis players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(4), 311-316.
- Cowley, P. M., Fitzgerald, S., Sottung, K. y Swensen, T. (2009). Age, weight, and the front abdominal power test as predictors of isokinetic trunk strength and work in young men and women. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(3), 915-925.
- Cowley, P. M. y Swensen, T. C. (2008). Development and reliability of two core stability field tests. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 619-624.
- Currell, K. y Jeukendrup, A. E. (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Medicine*, 38(4), 297-316.
- Chan, R. H. (2005). Endurance times of trunk muscles in male intercollegiate rowers in Hong Kong. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(10), 2009-2012.
- Chen, L.-W., Bih, L.-I., Ho, C.-C., Huang, M.-H., Chen, C.-T. y Wei, T.-S. (2010). Endurance Times for Trunk-Stabilization Exercises in Healthy Women: Comparing 3 Kinds of Trunk-Flexor Exercises. *Journal of Sport Rehabilitation*, 12(3).
- Childs, J. D., Teyhen, D. S., Benedict, T. M., Morris, J. B., Fortenberry, A. D., McQueen, R. M., . . . George, S. Z. (2009). Effects of sit-up training versus core stabilization exercises on sit-up performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(11), 2072-2083.
- Cholewicki, J., Panjabi, M. M. y Khachatryan, A. (1997). Stabilizing function of trunk flexor-extensor muscles around a neutral spine posture. *Spine*, 22(19), 2207-2212.
- Consejo Superior de Deportes (CSD). (2011). *Sports habits of the school population in Spain*. Madrid: CSD.

- Dedering, A., Nemeth, G. y Harms-Ringdahl, K. (1999). Correlation between electromyographic spectral changes and subjective assessment of lumbar muscle fatigue in subjects without pain from the lower back. *Clinical Biomechanics*, 14(2), 103-111.
- Dejanovic, A., Cambridge, E. D. y McGill, S. M. (2013). Isometric torso muscle endurance profiles in adolescents aged 15-18: normative values for age and gender differences. *Annals of Human Biology*, 41(2) 153-158.
- Dejanovic, A., Harvey E., Andersen J. y McGill S. M. (2012). Do anthropometric measures influence torso muscle endurance profiles of children aged 7 to 14? . *Advances in Physical Education*, 2, 187-196.
- Dejanovic, A., Harvey, E. P. y McGill, S. M. (2012). Changes in torso muscle endurance profiles in children aged 7 to 14 years: reference values. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(12), 2295-2301.
- del Pozo-Cruz, B., Mocholi, M. H., del Pozo-Cruz, J., Parraca, J. A., Adsuar, J. C. y Gusi, N. (2014). Reliability and validity of lumbar and abdominal trunk muscle endurance tests in office workers with nonspecific subacute low back pain. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 27(4), 399-408.
- Delitto, A., Rose, S. J., Crandell, C. E. y Strube, M. J. (1991). Reliability of isokinetic measurements of trunk muscle performance. *Spine*, 16(7), 800-803.
- DeMichele, P. L., Pollock, M. L., Graves, J. E., Foster, D. N., Carpenter, D., Garzarella, L., . . . Fulton, M. (1997). Isometric torso rotation strength: effect of training frequency on its development. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 78(1), 64-69.
- Demoulin, C., Vanderthommen, M., Duysens, C. y Crielaard, J. M. (2006). Spinal muscle evaluation using the Sorensen test: a critical appraisal of the literature. *Joint, Bone, Spine: Revue du Rhumatisme*, 73(1), 43-50.

- Distefano, L. J., Distefano, M. J., Frank, B. S., Clark, M. A. y Padua, D. A. (2013). Comparison of integrated and isolated training on performance measures and neuromuscular control. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(4), 1083-1090.
- Durall, C. J., Greene, P. F. y Kernozek, T. W. (2012). A comparison of two isometric tests of trunk flexor endurance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(7), 1939-1944.
- Durall, C. J., Udermann, B. E., Johansen, D. R., Gibson, B., Reineke, D. M. y Reuteman, P. (2009). The effects of preseason trunk muscle training on low-back pain occurrence in women collegiate gymnasts. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 86-92.
- Dvir, Z. y Keating, J. (2001). Reproducibility and validity of a new test protocol for measuring isokinetic trunk extension strength. *Clinical Biomechanics*, 16(7), 627-630.
- Emmanuel, C. y Ayanniyi, O. (2010). Relations between Back Muscles Endurance Capacity and Risk of Low-Back Pain. *TAF Preventive Medicine Bulletin*, 9(5), 421-426.
- Enoka, R. M. (2008). *Neuromechanics of human movement*: Champaign, IL: Human Kinetics.
- Europe, C. O. (1988). *Eurofit: Handbook for the Eurofit tests of physical fitness*. Rome, Italy: Council of Europe, Committee for the Development of Sport.
- Evans, K., Refshauge, K. M. y Adams, R. (2007). Trunk muscle endurance tests: reliability, and gender differences in athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(6), 447-455.
- Evans, K., Refshauge, K. M., Adams, R. y Aliprandi, L. (2005). Predictors of low back pain in young elite golfers: A preliminary study. *Physical Therapy in Sport*, 6(3), 122-130.
- Farley, B. G. y Koshland, G. F. (2000). Trunk muscle activity during the simultaneous performance of two motor tasks. *Experimental Brain Research*, 135(4), 483-496.
- Faulkner, R. A., Sprigings, E. J., McQuarrie, A. y Bell, R. D. (1989). A practical curl-up protocol for adults based on an analysis of two procedures. *Canadian Journal of Sport Science*, 14, 135-141.
- Franks, B. D. (1989). *YMCA youth fitness test manual*. Champaign, IL: Human Kinetics.

- Frymoyer, J. W. y Cats-Baril, W. L. (1991). An overview of the incidences and costs of low back pain. *The Orthopedic clinics of North America*, 22(2), 263-271.
- García-Vaquero, M., Barbado, D., Juan-Recio, C., Lopez-Valenciano, A. y Vera-Garcia, F. Isokinetic trunk flexion–extension test to assess trunk muscle strength and endurance: reliability, learning effect and sex differences. *Journal of Sport and Health Science*, en prensa.
- García-Vaquero, M. P., Moreside, J. M., Brontons-Gil, E., Peco-Gonzalez, N. y Vera-Garcia, F. J. (2012). Trunk muscle activation during stabilization exercises with single and double leg support. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(3), 398-406.
- Garn, S. M., Shaw, H. A., Wainright, R. L. y McCabe, K. D. (1977). The effect of sample size on normative values. *Ecology of Food and Nutrition*, 6(3), 153-157.
- Gilleard, W. L. y Brown, J. (1994). An electromyographic validation of an abdominal muscle test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 75(9), 1002-1007.
- Girela, D. L. (1992). *Valoración morfológica y funcional de los escolares andaluces de 14 a 17 años* (tesis doctoral). Universidad de Granada
- Glenn, J. M., Galey, M., Edwards, A., Rickert, B. y Washington, T. A. (2015). Validity and reliability of the abdominal test and evaluation systems tool (ABTEST) to accurately measure abdominal force. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(4), 457-462.
- González, J. y Gorostiaga, E. (1995). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo*. Barcelona: INDE.
- Grabiner, M. D., Jeziorowski, J. J. y Divekar, A. D. (1990). Isokinetic measurements of trunk extension and flexion performance collected with the biodex clinical data station. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 11(12), 590-598.
- Granata, K. P. y Gottipati, P. (2008). Fatigue influences the dynamic stability of the torso. *Ergonomics*, 51(8), 1258-1271.

- Graves, J. E., Pollock, M. L., Carpenter, D. M., Leggett, S. H., Jones, A., Macmillan, M. y Fulton, M. (1990). Quantitative assessment of full range-of-motion isometric lumbar extension strength. *Spine*, 15(4), 289-294.
- Green, S. B. (1991). How Many Subjects Does It Take To Do A Regression Analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 26(3), 499-510.
- Gronblad, M., Hurri, H. y Kouri, J. P. (1997). Relationships between spinal mobility, physical performance tests, pain intensity and disability assessments in chronic low back pain patients, 29(1), 17-24.
- Group, W. S. (2003). The burden of musculoskeletal conditions at the start of the new millennium. *World Health Organization Technical Report Series*, 919, i-x, 1-218.
- Gruther, W., Wick, F., Paul, B., Leitner, C., Posch, M., Matzner, M., . . . Ebenbichler, G. (2009). Diagnostic accuracy and reliability of muscle strength and endurance measurements in patients with chronic low back pain. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 41(8), 613-619.
- Hagberg, M. (1981). Muscular endurance and surface electromyogram in isometric and dynamic exercise. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 51(1), 1-7.
- Hager, S. M., Udermann, B. E., Reineke, D. M., Gibson, M. H., Mayer, J. M. y Murray, S. R. (2006). Quantification of lumbar endurance on a backup lumbar extension dynamometer. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5(4), 656.
- Hall, G. L., Hetzler, R. K., Perrin, D. y Weltman, A. (1992). Relationship of timed sit-up tests to isokinetic abdominal strength. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 63(1), 80-84.
- Hamberg-van Reenen, H. H., Ariens, G. A., Blatter, B. M., Twisk, J. W., van Mechelen, W. y Bongers, P. M. (2006). Physical capacity in relation to low back, neck, or shoulder pain in a working population. *Occupational and Environmental Medicine*, 63(6), 371-377.

- Hannibal, N., Plowman, S. A., Looney, M. A. y Brandenburg, J. (2006). Reliability and validity of low back strength/muscular endurance field tests in adolescents. *Journal of Physical Activity and Health*, 3, S78.
- Heyward, V. H. (2006). *Advanced fitness assessment and exercise prescription (Vol. 5)*. Champaign, IL.: Human Kinetics.
- Hibbs, A. E., Thompson, K. G., French, D., Wrigley, A. y Spears, I. (2008). Optimizing performance by improving core stability and core strength. *Sports Medicine*, 38(12), 995-1008.
- Hodges, P. W. y Richardson, C. A. (1997). Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Physical Therapy*, 77(2), 132-142.
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A. y Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine Science in Sports Exercise*, 41(1), 3.
- Hopkins, W. G. (2000a). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*, 30(1), 1-15.
- Hopkins, W. G. (2000b). A new view of statistics. Internet Society for Sport Science: *Sportscience*, 2000. <http://www.sportsci.org/resource/stats/>.
- Hopkins, W. G. (2000c). *Spreadsheets for Analysis of Validity and Reliability* (A new view of statistics ed.). Society for Sport Science.: <http://www.sportsci.org/resources/stats/>.
- Hopkins, W. G. (2007). A spreadsheet for deriving a confidence interval, mechanistic inference and clinical inference from a p value. *Sportscience*, 2000. <http://www.sportsci.org/index.html>, 11, 16-20.
- Hoy, D., March, L., Brooks, P., Blyth, F., Woolf, A., Bain, C., . . . Barendregt, J. (2014). The global burden of low back pain: estimates from the Global Burden of Disease 2010 study. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 73(6), 968-974.

- Ito, T., Shirado, O., Suzuki, H., Takahashi, M., Kaneda, K. y Strax, T. E. (1996). Lumbar trunk muscle endurance testing: an inexpensive alternative to a machine for evaluation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 77(1), 75-79.
- Jette, M., Sidney, K y Cicutti, N. (1984). A critical analysis of sit-ups: a case for the partial curl-up as a test of abdominal muscular endurance. *Journal of the Canadian Association Health, Physical Education and Recreation*, 51(1), 4-9.
- Jorgensen, K. (1997). Human trunk extensor muscles physiology and ergonomics. *Acta Physiologica Scandinavica. Supplementum*, 637, 1-58.
- Juan-Recio, C., Barbado, D., López-Valenciano, A. Vera-Garcia, F J. (2014). Test de campo para valorar la resistencia de los músculos del tronco *Apunts. Educación física y deportes*, 117(3), 59-68..
- Juan-Recio, C., Brabado, D., Lopez-Valenciano, A., Lopez-PLaza, D., Montero-Carretero, C. y Vera-Garcia, F. J. (2013). Condición muscular y estabilidad del tronco en judocas de nivel nacional e internacional. *Revista de Artes Marciales Asiáticas*, 8(2), 451-465.
- Juan-Recio, C., Lopez-Vivancos, A., Moya, M., Sarabia, J. M., Vera-Garcia, F. J. (2015). Short-term effect of crunch exercise frequency on abdominal muscle endurance. *Journal of Sports Medicine Physical Fitness*, 55, 280-9.
- Juker, D., McGill, S., Kropf, P. y Steffen, T. (1998). Quantitative intramuscular myoelectric activity of lumbar portions of psoas and the abdominal wall during a wide variety of tasks. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(2), 301-310.
- Kankaanpaa, M., Laaksonen, D., Taimela, S., Kokko, S. M., Airaksinen, O. y Hanninen, O. (1998). Age, sex, and body mass index as determinants of back and hip extensor fatigue in the isometric Sorensen back endurance test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79(9), 1069-1075.

- Kankaanpää, M., Laaksonen, D., Taimela, S., Kokko, S. M., Airaksinen, O. y Hänninen, O. (1998). Age, sex, and body mass index as determinants of back and hip extensor fatigue in the isometric Sorensen back endurance test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79(9), 1069-1075.
- Karatas, G. K., Gogus, F. y Meray, J. (2002). Reliability of isokinetic trunk muscle strength measurement. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81(2), 79-85.
- Kavicic, N., Grenier, S. y McGill, S. M. (2004). Quantifying tissue loads and spine stability while performing commonly prescribed low back stabilization exercises. *Spine*, 29(20), 2319-2329.
- Keller, A., Hellesnes, J. y Brox, J. I. (2001). Reliability of the isokinetic trunk extensor test, Biering-Sørensen test, and Åstrand bicycle test: Assessment of intraclass correlation coefficient and critical difference in patients with chronic low back pain and healthy individuals. *Spine*, 26(7), 771-777.
- Kibele, A. y Behm, D. G. (2009). Seven weeks of instability and traditional resistance training effects on strength, balance and functional performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(9), 2443-2450.
- Knudson, D. (2001). The validity of recent curl-up tests in young adults. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 81-85.
- Knudson, D. and Johnston, D. (1998). Analysis of three test durations of the bench trunk curl. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 12(3), 150-151.
- Knudson, D. y Johnston, D. (1995). Validity and reliability of a bench trunk-curl test of abdominal endurance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 9(3), 165-169.
- Kraemer, W. J. y Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674-688.

- Krause, D. A. Youdas, J. W., Hollman, J. H. y Smith, J. (2005). Abdominal muscle performance as measured by the double leg-lowering test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(7), 1345-1348.
- Kumar, C., Rao, S. y Thakur, P. (2015). Effectiveness of core stability exercise program on abdominal and back strength in school going children: A randomized controlled trial. *International Journal of Nursing Didactics*, 5(7), 07-13.
- Langrana, N., Lee, C., Alexander, H. y Mayott, C. (1984). Quantitative assessment of back strength using isokinetic testing. *Spine*, 9(3), 287-290.
- Latikka, P., Battie, M., Videman, T. y Gibbons, L. (1995). Correlations of isokinetic and psychophysical back lift and static back extensor endurance tests in men. *Clinical Biomechanics*, 10(6), 325-330.
- Latimer, J., Maher, C. G., Refshauge, K. y Colaco, I. (1999). The reliability and validity of the Biering–Sorensen test in asymptomatic subjects and subjects reporting current or previous nonspecific low back pain. *Spine*, 24(20), 2085.
- Laughlin, M. S., Lee, S. M., Loehr, J. A. y Amonette, W. E. (2009). Isokinetic strength and endurance tests used pre-and post-spaceflight: Test-retest reliability. *NASA Technical Memorandum*.
- Learman, K., Pintar, J. y Ellis, A. (2015). The effect of abdominal strength or endurance exercises on abdominal peak torque and endurance field tests of healthy participants: A randomized controlled trial. *Physical Therapy in Sport*, 16(2), 140-147.
- Leetun, D. T., Ireland, M. L., Willson, J. D., Ballantyne, B. T. y Davis, I. M. (2004). Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(6), 926-934.
- Lefkof, M. B. (1986). Trunk flexion in healthy children aged 3 to 7 years. *Physical Therapy in Sport*, 6(1), 39-44.

- Liemohn, W. P., Baumgartner, T. A. y Gagnon, L. H. (2005). Measuring core stability. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(3), 583-586.
- Lindsay, D. M. y Horton, J. F. (2006). Trunk rotation strength and endurance in healthy normals and elite male golfers with and without low back pain. *North American Journal of Sports Physical Therapy*, 1(2), 80-89.
- López, E. J. M. y Girela, D. L. (2003). Las pruebas de aptitud física en la evaluación de la Educación física de la ESO. *Apunts. Educación física y deportes*, 1(71), 61-77.
- Luoto, S., Heliövaara, M., Hurri, H. y Alaranta, H. (1995). Static back endurance and the risk of low-back pain. *Clinical Biomechanics*, 10(6), 323-324.
- Macintosh, J. E., Bogduk, N. y Pearcy, M. J. (1993). The effects of flexion on the geometry and actions of the lumbar erector spinae. *Spine*, 18(7), 884-893.
- Mannion, A. F., Connolly, B., Wood, K. y Dolan, P. (1997). The use of surface EMG power spectral analysis in the evaluation of back muscle function. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 34(4), 427-439.
- Mannion, A. F. y Dolan, P. (1994). Electromyographic median frequency changes during isometric contraction of the back extensors to fatigue. *Spine*, 19(11), 1223-1229.
- Mannion, A. F., Dumas, G. A., Cooper, R. G., Espinosa, F. J., Faris, M. W. y Stevenson, J. M. (1997). Muscle fibre size and type distribution in thoracic and lumbar regions of erector spinae in healthy subjects without low back pain: normal values and sex differences. *Journal of Anatomy*, 190(4), 505-513.
- Manso, J. M. G., Caballero, J. A. R. y Navarro, M. (1996). *Pruebas para la valoración de la capacidad motriz en el deporte: evaluación de la condición física*. Madrid (España): Gymnos.
- Marras, W. S., Lavender, S. A., Leurgans, S. E., Rajulu, S. L., Allread, W. G., Fathallah, F. A. y Ferguson, S. A. (1993). The role of dynamic three-dimensional trunk motion in

- occupationally-related low back disorders. The effects of workplace factors, trunk position, and trunk motion characteristics on risk of injury. *Spine*, 18(5), 617-628.
- Mawston, G. A., McNair, P. J. y Boocock, M. G. (2007). The effects of prior warning and lifting-induced fatigue on trunk muscle and postural responses to sudden loading during manual handling. *Ergonomics*, 50(12), 2157-2170.
- Mayer, T., Gatchel, R., Betancur, J. y Bovasso, E. (1995). Trunk muscle endurance measurement. Isometric contrasted to isokinetic testing in normal subjects. *Spine*, 20(8), 920-926.
- Mayer, T. G., Smith, S. S., Keeley, J. y Mooney, V. (1985). Quantification of lumbar function. Part 2: Sagittal plane trunk strength in chronic low-back pain patients. *Spine*, 10(8), 765-772.
- Mbada, C. E., Adeyemi, O. O., Johnson, O. E., Dada, O. O., Awofolu, O. O. y Oghumu, S. N. (2010). Normative values of static and dynamic abdominal muscles endurance in apparently healthy Nigerians. *Medical Rehabilitation*, 14(4), 25-32.
- McArdle, W. K., V.L. y Katch, F.I. (2000). *Essentials of Exercise Physiology*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams y Wilkins.
- McGill, S. M. (2006). *Ultimate back fitness and performance* (3rd ed ed.). Waterloo: Barckfitpro.
- McGill, S. M. (2002). *Low back disorders. Evidence-based prevention and rehabilitation*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- McGill, S. M., Childs, A. y Liebenson, C. (1999). Endurance times for low back stabilization exercises: clinical targets for testing and training from a normal database. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80(8), 941-944.
- McGill, S. M., Grenier, S., Kavcic, N. y Cholewicki, J. (2003). Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(4), 353-359.
- Meredith, M. D. y Welk, G. J. (2005). *Fitnessgram/Activitygram test administration manual*. Champaign, IL: Human Kinetics.

- Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad (2013). *Encuesta Nacional de Salud. España 2011/12*. Madrid: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad.
- Misuri, G., Colagrande, S., Gorini, M., Iandelli, I., Mancini, M., Duranti, R. y Scano, G. (1997). In vivo ultrasound assessment of respiratory function of abdominal muscles in normal subjects. *European Respiratory Journal*, 10(12), 2861-2867.
- Moffroid, M. T., Haugh, L. D., Haig, A. J., Henry, S. M. y Pope, M. H. (1993). Endurance training of trunk extensor muscles. *Physical Therapy*, 73(1), 3-10.
- Moffroid, M., Reid, S., Henry, S. M., Haugh, L. D. y Ricamato, A. (1994). Some endurance measures in persons with chronic low back pain. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 20(2), 81-87.
- Moreland, J., Finch, E., Stratford, P., Balsor, B. y Gill, C. (1997). Interrater reliability of six tests of trunk muscle function and endurance. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 26(4), 200-208.
- Mousavi, M., Arab, A. y Salavati, M. (2004). Specificity and discriminant validity of the clinical trunk muscle endurance tests in subjects with and without low back pain. *Journal of Rehabilitation*, 5(4), 28-34.
- Müller, R., Strässle, K. y Wirth, B. (2010). Isometric back muscle endurance: An EMG study on the criterion validity of the Ito test. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(5), 845-850.
- Narayan, A. y Steele-Johnson, D. (2007). Relationships between prior experience of training, gender, goal orientation and training attitudes. *International Journal of Training and Development*, 11(3), 166-180.
- Nesser, T. W., Huxel, K. C., Tincher, J. L. y Okada, T. (2008). The relationship between core stability and performance in division I football players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(6), 1750-1754.

- Newton, M. y Waddell, G. (1993). Trunk strength testing with iso-machines: Part 1: Review of a decade of scientific evidence. *Spine*, 18(7), 801-811.
- Nicolaisen, T. y Jørgensen, K. (1984). Trunk strength, back muscle endurance and low-back trouble. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 17(3), 121-127.
- Nuzzo, J. L. y Mayer, J. M. (2013). Body mass normalization for isometric tests of muscle endurance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(7), 2039-2045.
- Okada, T., Huxel, K. C. y Nesser, T. W. (2011). Relationship between core stability, functional movement, and performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 252-261.
- Oliver, G. D., Adams-Blair, H. R. y Dougherty, C. P. (2010). Implementation of a core stability program for elementary school children. *Athletic Training and Sports Health Care*, 2(6), 261-266.
- Ono, K. (1958). Electromyographic studies of the abdominal wall muscles in visceroptosis. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 68(3-4), 347-354.
- PCFSN (President's Council on Fitness, Sport and Nutrition) (2010). The president's challenge: Physical activity y fitness awards program 2010-2011.
- Pintrich, P. R. (2000). Multiple goals, multiple pathways: The role of goal orientation in learning and achievement. *Journal of Educational Psychology*, 92(3), 544.
- Plowman, S. A. (1992). Physical activity, physical fitness, and low back pain. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 20, 221-242.
- Prat, J. y Riera, J. (1993). La batería EUROFIT a Catalunya. *Barcelona: Generalitat de Catalunya, direcció general de L'esport*.
- Ratamess, N., Alvar, B., Evetoch, T., Housh, T., Kibler, W. y Kraemer, W. (2009). Progression models in resistance training for healthy adults [ACSM position stand]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 687-708.

- Reed, C. A., Ford, K. R., Myer, G. D. y Hewett, T. E. (2012). The effects of isolated and integrated 'core stability' training on athletic performance measures: a systematic review. *Sports Medicine*, 42(8), 697-706.
- Ridao, N., Sánchez, M., Chaler, J. y Müller, B. (2009). Aportación de la dinamometría isocinética de columna lumbar en una mutua laboral. *Trauma Fund MAPFRE*, 20(4), 229-233.
- Ripamonti, M., Mariot, J., Colin, D. y Rahmani, A. (2008). Torque–and power–velocity relationships of trunk muscle during isokinetic conditions in chronic low back pain patients. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 11(S1), 193-194.
- Safrit, M., Zhu, W, Costa, MG, and Zhang, L. . (1992). The difficulty of sit-ups test: an empirical investigation. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 63(3), 227-283.
- Saint-Maurice, P. F., Welk, G. J., Burns, R., Plowman, S. A., Corbin, C. B. y Hannon, J. C. (2015). The criterion-referenced validity of the FITNESSGRAM Trunk-Extension test. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(10), 1252-1263.
- Schellenberg, K. L., Lang, J. M., Chan, K. M. y Burnham, R. S. (2007). A clinical tool for office assessment of lumbar spine stabilization endurance: prone and supine bridge maneuvers. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation / Association of Academic Physiatrists*, 86(5), 380-386.
- Sidney, K. y Jetté, M. (1990). The partial curl-up to assess abdominal endurance: age and sex standards. *Sport Medicine Training and Rehabilitation*, 2, 47-56.
- Smidt, G., Herring, T., Amundsen, L., Rogers, M., Russell, A. y Lehmann, T. (1983). Assessment of Abdominal and Back Extensor Function: A Quantitative Approach and Results for Chronic Low-Back Patients. *Spine*, 8(2), 211-219.
- Sparto, P. J., Parnianpour, M., Reinsel, T. E. y Simon, S. (1997). The effect of fatigue on multijoint kinematics, coordination, and postural stability during a repetitive lifting test. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 25(1), 3-12.

- Springate, S. D. (2012). The effect of sample size and bias on the reliability of estimates of error: a comparative study of Dahlberg's formula. *European Journal of Orthodontics*, 34(2), 158-163.
- Stokes, M. (1985). Reliability and repeatability of methods for measuring muscle in physiotherapy. *Physiotherapy Theory and Practice*, 1(2), 71-76.
- Strand, S. L., Hjelm, J., Shoepe, T. C. y Fajardo, M. A. (2014). Norms for an isometric muscle endurance test. *Journal of Human Kinetics*, 40, 93-102.
- Swain, C. y Redding, E. (2014). Trunk muscle endurance and low back pain in female dance students. *Journal of Dance Medicine y Science*, 18(2), 62-66.
- Tabachnick, B. G. y Fidell, L. S. (2006). *Using Multivariate Statistics (5th Edition)*. New York: Allyn and Bacon.
- Tse, M. A., McManus, A. M. y Masters, R. S. (2005). Development and validation of a core endurance intervention program: implications for performance in college-age rowers. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(3), 547-552.
- Tucci, J. T., Carpenter, D. M., Pollock, M. L., Graves, J. E. y Leggett, S. H. (1992). Effect of reduced frequency of training and detraining on lumbar extension strength. *Spine*, 17(12), 1497-1501.
- Tveit, P., Daggfeldt, K., Hetland, S. y Thorstensson, A. (1994). Erector spinae lever arm length variations with changes in spinal curvature. *Spine*, 19(2), 199-204.
- Udermann, B. E., Mayer, J. M., Graves, J. E. y Murray, S. R. (2003). Quantitative Assessment of Lumbar Paraspinal Muscle Endurance. *Journal of Athletic Training*, 38(3), 259-262.
- Umezu, Y., Kawazu, T., Tajima, F. y Ogata, H. (1998). Spectral electromyographic fatigue analysis of back muscles in healthy adult women compared with men. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79(5), 536-538.
- van Dieen, J. H. (1996). Asymmetry of erector spinae muscle activity in twisted postures and consistency of muscle activation patterns across subjects. *Spine*, 21(22), 2651-2661.

- van Dieen, J. H., Luger, T. y van der Eb, J. (2012). Effects of fatigue on trunk stability in elite gymnasts. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1307-1313.
- Vera-Garcia, F. (2003). *Neuromuscular adaptations following a dynamic and a static abdominal training program*. Universitat de Valencia, Valencia, Spain.
- Vera-Garcia, F., López-Vivancos, A, Flores-Parodi, B, and Ureña-Villanueva, F. (2009). *Fiabilidad de una prueba para la valoración de la resistencia de los músculos del abdomen*. Alcoy (Alicante): Editorial Alto Rendimiento.
- Vera-Garcia, F. J., Brown, S. H., Gray, J. R. y McGill, S. M. (2006). Effects of different levels of torso coactivation on trunk muscular and kinematic responses to posteriorly applied sudden loads. *Clinical Biomechanics*, 21(5), 443-455.
- Vera-Garcia, F. J., Elvira, J. L., Brown, S. H. y McGill, S. M. (2007). Effects of abdominal stabilization maneuvers on the control of spine motion and stability against sudden trunk perturbations. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17(5), 556-567.
- Vera-Garcia, F. J., Flores-Parodi, B., Elvira, J. L. y Sarti, M. A. (2008). Influence of trunk curl-up speed on muscular recruitment. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 684-690.
- Vera-Garcia, F. J., Grenier, S. G. y McGill, S. M. (2000). Abdominal muscle response during curl-ups on both stable and labile surfaces. *Physical Therapy*, 80(6), 564-569.
- Vera-Garcia, F. J., Moreside, J. M. y McGill, S. M. (2011). Abdominal muscle activation changes if the purpose is to control pelvis motion or thorax motion. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 21(6), 893-903.
- Vera-Garcia, F. J., Pañego, M. M. y Martínez, M. Á. S. (2005). Prescripción de programas de entrenamiento abdominal. Revisión y puesta al día. *Apunts. Educación física y deportes*, 3(81), 38-46.

- Vera-Garcia, F. J., Sánchez-Zuriaga, D. y Lisón, J. (2015). Biomecánica del Raquis. In P. P. S. S.L. Belloch (Ed.), *Biomecánica Básica. Aplicada a la Actividad Física y el Deporte*. (pp. 277-312). Barcelona (España): Paidotribo.
- Verna, J. L., Mayer, J. M., Mooney, V., Pierra, E. A., Robertson, V. L. y Graves, J. E. (2002). Back extension endurance and strength: the effect of variable-angle roman chair exercise training. *Spine*, 27(16), 1772-1777.
- Walker, B. F. (2000). The prevalence of low back pain: a systematic review of the literature from 1966 to 1998. *Journal of Spinal Disorders*, 13(3), 205-217.
- Watkins, M. y Harris, B. (1983). Evaluation of isokinetic muscle performance. *Clinics in Sports Medicine*, 2(1), 37-53.
- Weir, J. P. (2005). Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 231-240.
- Wessel, J., Ford, D. y van Driesum, D. (1992). Measurement of torque of trunk flexors at different velocities. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 24(4), 175-180.
- Zintl, F. (1991). *Entrenamiento de la resistencia:: fundamentos, métodos y dirección del entrenamiento*. Barcelona (España): Ediciones Martínez Roca.

