



UNIVERSIDAD DE LEÓN

Departamento de Ciencias Biomédicas

TESIS DOCTORAL

***ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS
MANIFESTACIONES DE LA FUERZA MUSCULAR A LO
LARGO DEL PERIODO DE CRECIMIENTO EN UNA
POBLACIÓN INFANTIL Y ADOLESCENTE DE LA CIUDAD
DE HERMOSILLO (MÉXICO)***

Memoria que presenta el licenciado **Mario Alberto Horta Grim** para optar al grado de Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Directores:

Dr. José Antonio de Paz Fernández

Dr. Carlos Medina Pérez

León, 2021

INFORME DEL DIRECTOR DE LA TESIS

El Dr. José Antonio de Paz Fernández y el Dr. Carlos Medina Pérez como Directores de la Tesis Doctoral titulada **“ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS MANIFESTACIONES DE LA FUERZA MUSCULAR A LO LARGO DEL PERIODO DEL CRECIMIENTO EN UNA POBLACIÓN INFANTIL Y ADOLESCENTE DE LA CIUDAD DE HERMOSILLO (MÉXICO)”** y cuyo título en inglés es el siguiente **“EVOLUTION OF MUSCULAR STRENGTH PERFORMANCE THROUGH THE PERIOD OF GROWTH IN CHILDREN AND ADOLESCENT FROM CITY OF HERMOSILLO (MEXICO)”** realizada por D. Mario Alberto Horta Grim en el programa de doctorado de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad de León, informan favorablemente el depósito de la misma, dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firman, en León, a 15 de diciembre de 2020



Fdo: Dr. José Antonio de Paz Fernández



Fdo: Dr. Carlos Medina Pérez

Dedico este trabajo y mi esfuerzo a mi familia Martha, Carlos, Victor y por su apoyo incondicional y su esfuerzo para poder llegar a culminar esta etapa en mi vida. Mi padre Carlos, que desde arriba me ha ayudado y guiado. Los quiero mucho y son un pilar muy importante en mi vida.

A mi novia Cassandra, que me motiva, me inspira a seguir superándome y a lograr alcanzar todas mis metas.

A todos mis amigos, que me han estado apoyando durante todo este proceso. Le doy gracias a dios por cada uno de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Aprovecho este apartado para agradecer, en primer lugar, a Dios, por guiarme y acompañarme. Por todas las bendiciones que me ha dado y permitirme llegar hasta este momento de mi vida.

Expresar mi agradecimiento al Dr. José Antonio de Paz Fernández y al Dr. Carlos Medina Pérez por dirigir esta tesis doctoral.

Dr. José Antonio de Paz Fernández, le agradezco infinitamente por transmitir sus conocimientos y ser el gestor de esta idea de investigación. Por todo el apoyo material y humano hacia mi persona para poder llevar a cabo esta investigación, así como el motivarme y guiarme tanto en lo profesional como en lo personal.

Dr. Carlos Medina Pérez, le estoy muy agradecido por la paciencia, apoyo y guía durante todo el proceso de elaboración de la presente tesis doctoral, así como por transmitirme un sinfín de conocimientos sobre este campo tan fascinante como es la investigación.

Espero poder seguir disfrutando y aprovechando sus conocimientos y trabajo más adelante.

A la Academia del Cuidado y Mantenimiento de la Salud a través del Movimiento de la Universidad de Sonora por todo su apoyo. En especial a la Dra. Ena que fue quien me ayudó, motivó e impulsó durante todo mi proceso de formación para poder llegar hasta este momento.

Al colegio CDI AIFaEs por permitirnos llevar a cabo esta investigación y confiar en nosotros. A todo el personal docente, alumnado y padres/madres de familia por su participación directa e indirecta en este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	- 16 -
ABSTRACT	- 20 -
1. MARCO TEÓRICO	- 24 -
1.1 CONDICIÓN FÍSICA	- 24 -
1.2 EJERCICIO FÍSICO Y SALUD	- 27 -
1.3 EVOLUCIÓN, CRECIMIENTO, DESARROLLO	- 29 -
1.4 EJERCICIO Y CRECIMIENTO	- 31 -
1.5 FUERZA MUSCULAR	- 31 -
1.5.1 CONCEPTO	- 31 -
1.5.2 MANIFESTACIONES DE LA FUERZA	- 32 -
1.5.2.1 FUERZA MÁXIMA	- 34 -
1.5.2.2 POTENCIA MUSCULAR	- 34 -
1.5.3 FACTORES QUE INTERVIEN EN EL DESARROLLO DE LA FUERZA MUSCULAR	- 35 -
1.5.3.1 FACTORES ESTRUCTURALES	- 35 -
1.5.3.2 FACTORES NEURALES	- 36 -
1.5.4 MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA FUERZA	- 37 -
1.5.4.1 MEDICIÓN ISOCINÉTICA	- 38 -
1.5.4.1.1 Instrumentos empleados en la medición isocinética	- 38 -
1.5.4.2 MEDICIÓN ISOINERCIAL	- 38 -
1.5.4.2.1 Instrumentos empleados en la medición isoinercial	- 38 -
1.5.5 MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA FUERZA EN POBLACIÓN INFANTIL	- 40 -
2. OBJETIVOS	- 47 -
2.1 OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN	- 47 -
2.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO 1	- 47 -
2.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO 2	- 47 -

3. DISEÑO	- 49 -
3.1 DISEÑO ESTUDIO 1	- 49 -
3.2 DISEÑO ESTUDIO 2	- 50 -
4. MATERIAL Y MÉTODO	- 52 -
4.1 MUESTRA	- 52 -
4.2 MATERIAL	- 54 -
4.3 PROCEDIMIENTOS	- 54 -
4.3.1 Protocolo del Estudio 1	- 55 -
4.3.2 Protocolo del Estudio 2	- 56 -
4.3.3 EVALUACIÓN DE LAS MANIFESTACIONES DE LA FUERZA	- 57 -
4.3.3.1 EVALUACIÓN DE LA FUERZA MÁXIMA DINÁMICA	- 57 -
4.3.3.1.1 <i>EVALUACIÓN DE LA FUERZA MÁXIMA EN LA MUSCULATURA EXTENSORA DE LA RODILLA</i>	- 57 -
4.3.3.1.2 <i>EVALUACIÓN DE LA FUERZA MÁXIMA EN LA MUSCULATURA FLEXORA DEL HOMBRO</i>	- 58 -
4.3.3.2 EVALUACIÓN DE LA POTENCIA MUSCULAR	- 59 -
4.3.3.2.1 <i>Evaluación de potencia en la musculatura extensora de la rodilla</i>	- 59 -
4.3.3.2.2 <i>Evaluación de la potencia en la musculatura flexora del hombro</i>	- 59 -
4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	- 60 -
4.4.1 ANÁLISIS REALIZADO EN EL ESTUDIO 1	- 60 -
4.4.2 ANÁLISIS REALIZADO EN EL ESTUDIO 2	- 61 -
5. RESULTADOS	- 63 -
5.1 RESULTADOS ESTUDIO 1	- 63 -
5.1.1 CARACTERÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LA MUESTRA	- 63 -
5.1.2 VALORES DE FUERZA MÁXIMA DINÁMICA EN EXTENSORES DE LA RODILLA	- 63 -
5.1.3 VALORES DE POTENCIA MUSCULAR EN EXTENSORES DE LA RODILLA	- 64 -

5.1.4	VALORES DE FUERZA MÁXIMA DINÁMICA EN FLEXORES DEL HOMBRO	- 66 -
5.1.5	VALORES DE POTENCIA MUSCULAR EN FLEXORES DEL HOMBRO	- 67 -
5.2	RESULTADOS ESTUDIO 2	- 69 -
5.2.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MUESTRA	- 69 -
5.2.2	EVALUACIÓN DE LA FUERZA MÁXIMA DINÁMICA EN EXTENSORES DE RODILLA Y FLEXORES DE HOMBRO	- 72-
5.2.3	EVALUACIÓN DE LA POTENCIA MUSCULAR EN EXTENSORES DE RODILLA	- 74-
5.2.3.1	POTENCIA MEDIA	- 74-
5.2.3.2	POTENCIA MÁXIMA	- 76-
5.2.3.3	FUERZA MEDIA	- 78-
5.2.3.4	FUERZA MÁXIMA	- 80-
5.2.3.5	VELOCIDAD MEDIA	- 82-
5.2.3.6	VELOCIDAD MÁXIMA	- 84-
5.2.4	EVALUACIÓN DE LA POTENCIA MUSCULAR EN FLEXORES DEL HOMBRO	- 86-
5.2.4.1	POTENCIA MEDIA	- 86-
5.2.4.2	POTENCIA MÁXIMA	- 88-
5.2.4.3	FUERZA MEDIA	- 90-
5.2.4.4	FUERZA MÁXIMA	- 92-
5.2.4.5	VELOCIDAD MEDIA	- 94-
5.2.4.6	VELOCIDAD MÁXIMA	- 96-
6.	DISCUSIÓN	- 99 -
6.1	DISCUSIÓN ESTUDIO 1	- 99 -
6.2	DISCUSIÓN ESTUDIO 2	- 101 -
7.	CONCLUSIONES	- 107 -
8.	BIBLIOGRAFÍA	- 110 -

ABREVIATURAS

1RM: 1 REPETICIÓN MÁXIMA

CCI: COEFICIENTE DE CORRELACIÓN INTRACLASE

ACSM: COLEGIO AMERICANO DE MEDICINA DEL DEPORTE

OMS: ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

KG: KILOGRAMOS

W: VATIO

%: PORCENTAJE

CM: CENTIMETROS

IMC: ÍNDICE DE MASA CORPORAL

m²: METRO AL CUADRADO

H: HOMBRES

M: MUJERES

G: MUESTRA TOTAL

N: NEWTON

V_{md}: VELOCIDAD MEDIA

V_{mx}: VELOCIDAD MÁXIMA

F_{md}: FUERZA MEDIA

F_{mx}: FUERZA MÁXIMA

P_{wM}: POTENCIA MEDIA

P_{wmx}: POTENCIA MÁXIMA

MCD: MÍNIMO CAMBIO DETECTABLE

DE: DESVIACIÓN ESTANDAR

CV: COEFICIENTE MEDIO DE VARIACIÓN

EEM: ERROR ESTANDAR DE MEDICIÓN

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1.** Artículos más importantes publicados sobre evaluación de la fuerza en las poblaciones estudiadas _____ pág. 45
- Tabla 2.** Artículos publicados realizando el test 1RM en brazos y piernas en la población estudiada. _____ pág. 46
- Tabla 3.** Distribución de la muestra _____ pág. 64
- Tabla 4.** Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la fuerza máxima dinámica en el ejercicio leg extensión _____ pág. 65
- Tabla 5.** Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 30% del 1RM en el ejercicio leg extensión _____ pág. 66
- Tabla 6.** Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 40% del 1RM en el ejercicio leg extensión _____ pág. 66
- Tabla 7.** Resultados de la fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 50% del 1RM en el ejercicio leg extensión _____ pág. 66
- Tabla 8.** Resultados de la fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 60% del 1RM en el ejercicio leg extensión _____ pág. 66
- Tabla 9.** Resultados de la fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 70% del 1RM en el ejercicio leg extensión _____ pág. 67
- Tabla 10.** Resultados de la fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 80% del 1RM en el ejercicio leg extensión _____ pág. 67
- Tabla 11.** Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la fuerza máxima dinámica en el ejercicio bench press sentado _____ pág. 67
- Tabla 12.** Resultados de la fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 30% del 1RM en el ejercicio bench press _____ pág. 69

- Tabla 13.** Resultados de la fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 40% del 1RM en el ejercicio bench press _____ pág. 70
- Tabla 14.** Resultados de la fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 50% del 1RM en el ejercicio bench press _____ pág. 70
- Tabla 15.** Resultados de la fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 60% del 1RM en el ejercicio bench press _____ pág. 70
- Tabla 16.** Resultados de la fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 70% del 1RM en el ejercicio bench press _____ pág. 70
- Tabla 17.** Resultados de la fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 80% del 1RM en el ejercicio bench press _____ pág. 71
- Tabla 18.** Distribución de la muestra por edades _____ pág. 71
- Tabla 19.** Características generales de la muestra (media \pm SD) _____ pág. 73
- Tabla 20.** Valores de fuerza máxima dinámica (1RM) manifestados durante el ejercicio de leg extension y bench press según el sexo y la edad (media \pm SD) _____ pág. 75
- Tabla 21.** Valores de potencia media en el ejercicio leg extensión según el sexo y la edad (media \pm SD) _____ pág. 77
- Tabla 22.** Valores de potencia máxima en el ejercicio leg extensión según el sexo y la edad (media \pm SD) _____ pág. 79
- Tabla 23.** Valores de fuerza media en el ejercicio leg extensión según el sexo y la edad (media \pm SD) _____ pág. 81
- Tabla 24.** Valores de fuerza máxima en el ejercicio leg extensión según el sexo y la edad (media \pm SD) _____ pág. 84
- Tabla 25.** Valores de la velocidad media en el ejercicio leg extensión según el sexo y la edad (media \pm SD) _____ pág. 86

- Tabla 26.** Valores de la velocidad máxima en el ejercicio leg extensión según el sexo y la edad (media \pm SD) _____ pág. 88
- Tabla 27.** Valores de potencia media en el ejercicio bench press sentado según el sexo y la edad (media \pm SD) _____ pág. 90
- Tabla 28.** Valores de potencia máxima en el ejercicio bench press sentado según el sexo y la edad (media \pm SD) _____ pág. 92
- Tabla 29.** Valores de fuerza media en el ejercicio bench press sentado según el sexo y la edad (media \pm SD) _____ pág. 94
- Tabla 30.** Valores de fuerza máxima en el ejercicio bench press sentado según el sexo y la edad (media \pm SD) _____ pág. 96
- Tabla 31.** Valores de velocidad media en el ejercicio bench press sentado según el sexo y la edad (media \pm SD) _____ pág. 98
- Tabla 32.** Valores de velocidad máxima en el ejercicio bench press sentado según el sexo y la edad (media \pm SD) _____ pág. 100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de estudio 1 _____ pág. 52

Figura 2. Diseño del estudio 2 _____ pág. 53

Figura 3. Muestra del estudio _____ pág. 56

RESUMEN

RESUMEN

Diferentes estudios han demostrado la importancia de conocer y evaluar el nivel de condición física en la población desde edades tempranas (Rosa-Guillamón and García-Cantó, 2017; Redondo-Tébar *et al.*, 2019), así como conocer las deficiencias que se presentan en este indicador en todos los segmentos de población, ya que algunos de los hábitos establecidos en la infancia tienden a perpetuarse durante la edad adulta (Telama, 2009; Faigenbaum, Lloyd and Myer, 2013). Entre todas las capacidades físicas, la fuerza muscular, sus distintas manifestaciones y el acondicionamiento físico de las mismas están adquiriendo una gran relevancia en el ámbito de la salud, incluido el contexto de las edades tempranas (Bergeron *et al.*, 2015; ACSM, 2017; Zwolski, Quatman-Yates and Paterno, 2017). Sin embargo, la mayor parte de investigaciones realizadas hasta el momento han empleado como método de evaluación de la fuerza test o pruebas indirectas. Por tanto, en este contexto nos planteamos como objetivo general de esta investigación analizar la fuerza muscular de las extremidades superiores e inferiores en una población infantil y adolescente del estado de Sonora (México) y comparar su evolución en función de la edad cronológica y el sexo utilizando para ello el test de 1RM y un test de potencia muscular con cargas submáximas.

La investigación se llevó a cabo mediante dos estudios: el primero para determinar la repetitividad del sistema de medida empleado en la población objeto de estudio. El segundo consistió en estudiar la evolución de las distintas manifestaciones de la fuerza a lo largo de las distintas edades analizadas.

Para el desarrollo del estudio 1 se seleccionaron aleatoriamente 8 estudiantes de cada uno de los grupos de edad (9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 años), con la premisa de que 4 fueran varones y 4 mujeres. En total se analizaron los datos 56 sujetos (28 hombres y 28 mujeres). Cada participante realizó dos sesiones de evaluación de las manifestaciones de la fuerza realizadas en idénticas condiciones y separadas la primera de la segunda 3 días.

Para el desarrollo del estudio 2 se contó con una cifra total de 328 participantes (138 niños y 190 niñas) con edades comprendidas entre los 9 y los

15 años de edad. La evaluación daba comienzo con la toma de datos relativos al peso y a la talla. A continuación, se realizaba la evaluación de la fuerza máxima en piernas y en brazos, respectivamente. La segunda sesión de evaluación, programada con una separación de 7 días de la primera, fue utilizada para evaluar la potencia muscular en piernas y en brazos respectivamente.

En ambos estudios la evaluación de la fuerza máxima se realizó por medio de la prueba 1RM y la determinación de la potencia muscular se realizó en 6 intensidades diferentes, correspondientes al 30%, 40%, 50%, 60%, 70% y 80% del 1RM determinado previamente, mediante un transductor de posición lineal (T-Force System, Ergotech®) y el software asociado al mismo (v. 2.3). Todos los test se realizaron en los ejercicios de *leg extension* y de *bench press sentado* sobre una máquina Multiestación BH Nevada Plus®.

Los resultados del estudio 1 mostraron en el test 1RM un CCI de 0.960 en el ejercicio de *leg extension* y un CCI de 0.938 para el ejercicio de *bench press sentado*. La repetitividad determinada para la evaluación de la potencia media a distintos porcentajes del 1RM en el ejercicio de *leg extension* varió de 0,839 a 0,905. En el ejercicio de *bench press sentado* el CCI en los distintos porcentajes evaluados osciló entre 0,689 y 0,897.

Los principales resultados del estudio 2 mostraron los siguientes valores para el grupo de 9 años de edad en el test 1 RM *leg extension* (H) 49,7±9,9 kg.; (M) 47,0±11,3 kg. y en el test 1 RM *bench press sentado*: (H) 38.1±9.0 kg.; (M) 37.7±9.2 kg. frente a los obtenidos, respectivamente, en el grupo de más edad (15 años): (H) 104,4±13,9 kg.; (M) 92.6±21.9 kg.; (H) 88,8±16,3 kg.; (M) 58.5±12.1 kg. Los valores obtenidos en el test de potencia en el ejercicio *leg extension* para la variable potencia media al 60% del 1RM fueron de: (H) 131,2±46,1 W y (M) 128,4±27,1 W en el grupo de menos edad (9 años), frente a (H) 409,6±107,5 W y (M) 294,2±63,9 W en el grupo de más edad (15 años). En la misma prueba para el ejercicio *bench press sentado*, los valores respectivamente fueron de: (H) 79,7±20,3 W y (M) 69,8±16,5 W frente a (H) 284,1±82,4 W y (M) 138,8±52,2 W.

En base a estos resultados, las principales conclusiones de este trabajo son:

En primer lugar, la repetitividad de la prueba de 1RM para el ejercicio *leg extension* y para el ejercicio *bench press sentado* fue excelente.

En segundo lugar, la repetitividad de la prueba de potencia muscular varía de excelente a buena en función del grupo muscular evaluado.

En tercer lugar, el valor de fuerza máxima dinámica en los ejercicios de *leg extension* y de *bench press sentado* es diferente según la edad de los sujetos, aumentando a lo largo del periodo de crecimiento.

En cuarto lugar, el valor de potencia media durante el test de potencia muscular en los ejercicios de *leg extension* y de *bench press sentado* es diferente según la edad de los sujetos, aumentando a lo largo del periodo de crecimiento y siendo este incremento más abrupto a partir de los 12 años de edad.

En quinto lugar, el valor máximo de potencia media durante el test de potencia muscular manifestado en los ejercicios de *leg extension* y de *bench press sentado* se alcanza entre las resistencias externas del 60% y del 70% del 1RM.

ABSTRACT

ABSTRACT

Different studies have shown the importance of knowing and evaluating the level of physical condition in the population from an early age (Rosa-Guillamón and García-Cantó, 2017; Redondo-Tébar et al., 2019), as well as knowing the deficiencies that occur in this indicator in all population segments, since some of the habits established in childhood tend to be perpetuated during adulthood (Telama, 2009; Faigenbaum, Lloyd and Myer, 2013). Among all physical capacities, muscular strength, its different manifestations and their physical conditioning are acquiring great relevance in the field of health, including the context of early ages (Bergeron et al., 2015; ACSM, 2017; Zwolski, Quatman-Yates and Paterno, 2017). However, most of the studies carried out so far have used test or indirect tests as a method of evaluating strength. Therefore, in this context, our main goal is to analyze the muscular strength of the upper and lower extremities in a child and adolescent population of the state of Sonora (Mexico) and to compare its evolution based on chronological age and sex using the 1RM test and a muscle power test with submaximal loads.

The research was carried out through two studies: the first to determine the repeatability of the measurement system used in the population under study. The second one, consisted of studying the evolution of the different manifestations of force throughout the different ages analyzed.

For the development of study 1, 8 students were randomly selected from each of the age groups (9, 10, 11, 12, 13, 14, 15), with the premise that 4 were male and 4 female. In total, 56 subjects (28 men and 28 women) were analyzed. Each participant carried out two sessions of evaluation of the manifestations of force carried out in identical conditions and separated the first from the second 3 days.

For the development of study 2 there were a total number of 328 participants (138 boys and 190 girls) aged between 9 and 15 years old. The evaluation began with the collection of data related to weight and height. Next, the evaluation of the maximum strength in legs and arms, respectively, was

carried out. The second testing session, scheduled 7 days apart from the first, was used to assess muscle power in legs and arms respectively.

In both studies, the evaluation of maximum strength was carried out through the 1RM test and the determination of muscle power was carried out at 6 different intensities, corresponding to 30%, 40%, 50%, 60%, 70% and 80% 1RM previously determined, using a linear position transducer (T-Force System, Ergotech®) and its associated software (v. 2.3). All the tests were carried out in the leg extension and bench press exercises sitting on a BH Nevada Plus® Multistation machine.

The results of study 1 showed in the 1RM test a CCI of 0.960 in the leg extension exercise and a CCI of 0.938 for the seated bench press exercise. The repeatability determined for the evaluation of the mean power at different percentages of the 1RM in the leg extension exercise ranged from 0.839 to 0.905. In the seated bench press exercise, the ICC in the different percentages evaluated ranged between 0.689 and 0.897.

The main results of study 2 showed the following values for the 9-year-old group in test 1 RM leg extension (H) 49.7 ± 9.9 kg; (M) 47.0 ± 11.3 kg. and in test 1 RM bench press sitting: (H) 38.1 ± 9.0 kg.; (M) 37.7 ± 9.2 kg. compared to those obtained, respectively, in the oldest group (15 years): (H) 104.4 ± 13.9 kg.; (M) 92.6 ± 21.9 kg; (H) 88.8 ± 16.3 kg; (M) 58.5 ± 12.1 kg. The values obtained in the power test in the leg extension exercise for the variable mean power at 60% of the 1RM were: (H) 131.2 ± 46.1 W and (M) 128.4 ± 27.1 W in the youngest group (9 years), compared to (H) 409.6 ± 107.5 W and (M) 294.2 ± 63.9 W in the oldest group (15 years). In the same test for the seated bench press exercise, the values respectively were: (H) 79.7 ± 20.3 W and (M) 69.8 ± 16.5 W versus (H) 284.1 ± 82.4 W and (M) 138.8 ± 52.2 W.

Based on these results, the main conclusions of this work are:

1) The repeatability of the 1RM test for the leg extension and seated bench press exercise was excellent.

2) The repeatability of the muscle power test ranges from excellent to good depending on the muscle group tested.

3) The value of maximum dynamic force in the leg extension and seated bench press exercises is different according to the age of the subjects, increasing throughout the growth period.

4) Mean power values during muscle power test in the leg extension and seated bench press exercises is different according to the age of the subjects, increasing throughout the growth period and this increase being more abrupt after 12 years of age.

5) The maximum mean power value during the muscle power test manifested in the leg extension and seated bench press exercises is reached between the external resistances of 60% and 70% of the 1RM.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1 CONDICIÓN FÍSICA

El nivel de condición física es un parámetro importante como predictor de la calidad de vida y de la salud de una persona desde la infancia (Casas *et al.*, 2015) siendo determinante, además, como factor de riesgo cardiovascular, así como de la salud metabólica tanto en niños como en adolescentes (Ortega *et al.*, 2008; Redondo-Tébar *et al.*, 2019). Diferentes estudios han demostrado la importancia de conocer y evaluar el nivel de condición física en la población desde edades tempranas (Rosa-Guillamón and García-Cantó, 2017; Redondo-Tébar *et al.*, 2019), así como conocer las deficiencias que se presentan en este indicador en todos los segmentos de población, ya que algunos de los hábitos establecidos en la infancia tienden a perpetuarse durante la edad adulta (Telama, 2009; Faigenbaum, Lloyd and Myer, 2013).

La evidencia científica actual indica un aumento en la prevalencia de sobrepeso y obesidad en niños y adolescentes respecto a épocas pasadas (OMS, 2017), así como un descenso de los niveles de actividad física que estos practican en su vida diaria (Dumith *et al.*, 2011). Además, numerosos estudios han descrito las consecuencias negativas que todo ello provoca en la salud de la población infantil (Afshin *et al.*, 2017; Baceviciene, Jankauskiene and Emeljanovas, 2019).

A continuación, se presentan los principales problemas que acarrea el aumento de sobrepeso y el descenso de los niveles de actividad física en la población infantil (Singh *et al.*, 2013; Bhaskaran *et al.*, 2014; Antony *et al.*, 2015):

- Aumento del riesgo de padecer diabetes tipo 2.
- Riesgo de padecer algún tipo de cáncer.
- Riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares.
- Riesgo de padecer osteoartritis.

El concepto “condición física” se define como la capacidad de una persona para la actividad física o el ejercicio físico, la cual implica una construcción de

funciones (músculo-esquelética, cardio-respiratoria, endocrino-metabólica, hemato-circulatorio, endocrino-metabólica) y componentes (capacidad aeróbica, músculo-esquelética, capacidad motora, coordinación, equilibrio y composición corporal) implicados en el movimiento (Rosa-Guillamón and García-Cantó, 2017; Lang, Larouche and Tremblay, 2019).

Desde hace décadas han existido diferentes tipos de actividades físicas para toda la población con el objetivo de desarrollar y mejorar las capacidades físicas condicionales y coordinativas, dando lugar, en muchos casos, a un mejor nivel de condición física y a un estado de vida saludable en la población practicante. Sin embargo, la evidencia científica actual demanda una necesidad, cada vez mayor, de conocer y aplicar de forma segura y eficaz el ejercicio físico y contribuir así a alcanzar los objetivos previstos.

La Organización Mundial de la Salud indica que la inactividad física es uno de los factores asociados con el riesgo de mortalidad más importantes a nivel mundial, por lo cual, se aconseja la realización de actividad física de intensidad moderada a vigorosa con una frecuencia diaria y una duración de, al menos, 60 minutos en edades entre los 5 y los 17 años (OMS, 2013; ACSM, 2017). Sin embargo, aún existe una gran demanda respecto a conocer, desde la planificación del entrenamiento, cómo evaluar el estado de condición física en niños y adolescentes y cómo desarrollar programas individualizados de ejercicio físico con el citado grupo poblacional.

Entre todas las capacidades físicas, la fuerza muscular, sus distintas manifestaciones y el acondicionamiento físico de las mismas están adquiriendo una gran relevancia en el ámbito de la salud, incluido el contexto de las edades tempranas (Bergeron *et al.*, 2015; ACSM, 2017; Zwolski, Quatman-Yates and Paterno, 2017). Entre otras razones, la importancia de esta capacidad física se justifica en la mejora de la salud a lo largo del tiempo, las alteraciones positivas sobre la composición corporal y sobre la densidad mineral ósea (Strope *et al.*, 2015; Gómez-Bruton *et al.*, 2017; Stolzman *et al.*, 2019), la mejora de la coordinación motora (Faigenbaum and McFarland, 2016), la menor tasa de lesiones relacionadas con la práctica deportiva (Zwolski, Quatman-Yates and Paterno, 2017) y el aumento significativo en variables asociadas relacionadas

con la funcionalidad, como la potencia muscular (Lloyd *et al.*, 2014; Behringer *et al.*, 2016; Young *et al.*, 2017).

Por otra parte, la inactividad física y el sedentarismo durante la infancia y la adolescencia están provocando una cronificación de los casos de obesidad desde etapas infantiles hasta la etapa adulta, además de múltiples enfermedades crónicas de origen cardiovascular y metabólico en la edad infantil (OMS, 2017; Afshin *et al.*, 2017; Lang, Larouche and Tremblay, 2019; Stolzman *et al.*, 2019). En la literatura científica se ha descrito que la práctica regular de ejercicio físico adecuadamente prescrito es una de las estrategias más poderosas para evitar las consecuencias que produce el sedentarismo en diferentes ámbitos de la persona, esto es, tanto a nivel físico (Behm *et al.*, 2008; Rosa-Guillamón and García-Cantó, 2017; Lang, Larouche and Tremblay, 2019), como psicológico (Yu *et al.*, 2008; Schranz *et al.*, 2014) y social (Redondo-Tébar *et al.*, 2019).

Desde hace aproximadamente 20 años se ha producido evidencia científica suficiente que describe que el entrenamiento de la fuerza muscular y de sus diferentes manifestaciones es una estrategia eficaz en niños y adolescentes por los múltiples beneficios que este produce (Croix, 2007; Small *et al.*, 2008; Faigenbaum *et al.*, 2009; Behringer *et al.*, 2016; Lloyd *et al.*, 2016). Entidades como la Asociación Canadiense de Fisiología del Ejercicio (Behm *et al.*, 2008), la Asociación Americana de Pediatría o el Colegio Americano de Medicina del Deporte han descrito efectos positivos del entrenamiento de fuerza sobre niños y adolescentes, produciendo beneficios en la salud de estos tanto a corto, como a medio y a largo plazo (Gunter, Almstedt and Janz, 2012; Lloyd *et al.*, 2014; Faigenbaum and McFarland, 2016).

En diversas investigaciones se ha descrito que el rendimiento en habilidades motoras está relacionado inversamente con el sobrepeso y la obesidad durante el periodo de la infancia (Lopes *et al.*, 2011; Casas *et al.*, 2015; Behringer *et al.*, 2016). Además, se ha demostrado que el desarrollo y mejora de la fuerza muscular durante la etapa de crecimiento es un método eficaz para el aumento del rango de movimiento y la mejora de las habilidades motrices como saltar, correr y lanzar (Faigenbaum and Myer, 2010)(Faigenbaum and Myer, 2010; Faigenbaum, Lloyd and Myer, 2013; Behringer *et al.*, 2016). Por lo tanto,

la mejora de la fuerza muscular durante el periodo de crecimiento mediante intervenciones adecuadamente prescritas y, consecuentemente, de las habilidades motoras, es una buena estrategia para incrementar los niveles de actividad física en los niños, trayendo como consecuencia, una opción de un estilo de vida más saludable mediante el desarrollo de otras capacidades y habilidades motrices (Lopes *et al.*, 2011; Myer *et al.*, 2013).

1.2 EJERCICIO FÍSICO Y SALUD

Ya sea que un niño practique un deporte competitivo o solo participe en actividades físicas recreativas, es muy importante la participación en alguna actividad física durante la primera infancia, ya que es la etapa donde se presentan los cambios neuromusculares que traen como consecuencia una mejora en cuanto a las habilidades motoras y, consecuentemente, una buena base para el desarrollo óptimo de sus cualidades físicas (Lloyd *et al.*, 2016).

Durante muchos años se ha recomendado el empleo de entrenamientos aeróbicos como la base de cualquier rutina de ejercicio físico cuyo objetivo fuera mejorar la capacidad física en cualquier grupo de población, independientemente de sus características físicas. Sin embargo, se observó que en determinadas poblaciones (ej. personas con sobrepeso u obesidad) la condición patológica dificultaba la realización de determinadas actividades físicas (ej. correr, saltar...) y aumentaba el riesgo de padecer lesiones, además de generar en los participantes una percepción de aburrimiento y disconformidad, que traía como consecuencia una baja adherencia y un abandono de la práctica de la actividad física (Faigenbaum and Myer, 2010). Por lo cual, el entrenamiento aeróbico no era un método de entrenamiento tan eficiente para la población infantil y juvenil. A partir de aquí empezaron nuevos métodos de entrenamiento como es el orientado hacia la mejora de la fuerza muscular, que empezó a ganar popularidad por los efectos que producía.

La fuerza muscular ha tenido varios tabús o mitos sobre su acondicionamiento en edades tempranas. Esta serie de mitos se iniciaron con el estudio de Brown and Kimball (1983), en el cual se desaconsejaba el entrenamiento de la fuerza en este grupo poblacional porque producía un

crecimiento atrofiado y un daño en el cartílago del crecimiento (placa epifisaria) debido a que es más débil que el tejido adyacente, por lo cual, podría resultar más fácil su lesión como consecuencia de microtraumas repetitivos. Sin embargo, lo descrito anteriormente no ha sido apoyado por estudios científicos ni por observaciones clínicas posteriores (Virvidakis *et al.*, 1990; Courteix *et al.*, 1999). Más bien, lo que se ha descrito es todo lo contrario, de forma que el entrenamiento de fuerza ayudaría, entre otros aspectos, a la formación y al crecimiento óseo (Burt *et al.*, 2013; Dos Santos Cunha *et al.*, 2015; Strobe *et al.*, 2015; Gómez-Bruton *et al.*, 2017).

En la actualidad, el entrenamiento de fuerza es uno de los métodos de entrenamiento que está tomando mayor importancia para ser practicado entre los diferentes rangos de edad por sus múltiples beneficios. Además, cada vez hay más evidencias científicas sobre los beneficios que este entrenamiento tiene en niños y adolescentes, destacando, principalmente, los siguientes efectos positivos (Small *et al.*, 2008; Lloyd *et al.*, 2014; Faigenbaum and McFarland, 2016; Legerlotz *et al.*, 2016; ACSM, 2017):

- mejora en la salud ósea.
- disminución del tejido adiposo.
- mejora de la autopercepción.
- disminución del riesgo de lesión
- mejora de las habilidades motoras.

Uno de los efectos positivos más destacados que ocasiona el entrenamiento de fuerza en edad infantil es la repercusión que tiene sobre la salud ósea. Los temores y preocupaciones tradicionales de que el entrenamiento de fuerza afectaba negativamente al desarrollo esquelético han sido remplazados por evidencias que sustentan la idea de que la edad infantil es un buen momento para entrenar la fuerza y contribuir así a un adecuado desarrollo de la masa y estructura ósea (Hind and Burrows, 2007; Faigenbaum *et al.*, 2009; Legerlotz *et al.*, 2016; Gómez-Bruton *et al.*, 2017; Myers, Beam and Fakhoury, 2017). Por otra parte, también se ha descrito que tener una buena salud ósea en etapas infantiles puede repercutir positivamente en los efectos persistentes en la

edad adulta sobre su salud ósea (Gunter, Almstedt and Janz, 2012; Strobe *et al.*, 2015).

Otro beneficio importante del entrenamiento de fuerza en el citado grupo poblacional es el cambio que produce sobre la composición corporal. Hoy en día la prevalencia de obesidad entre niños y adolescentes sigue aumentando en todo el mundo (OMS, 2017). Existe un fuerte sustento científico que aconseja el entrenamiento de fuerza con niños y/o adolescentes ya que es un método eficiente y eficaz que produce modificaciones en su composición corporal (McGuigan *et al.*, 2009), generando aumento de masa magra (Yu *et al.*, 2008) y reducción de la adiposidad en el cuerpo (Benson, Torode and Fiatarone Singh, 2008). Asimismo, estos cambios en la composición corporal suelen producir como consecuencia un cambio positivo en la percepción que los niños y adolescentes tienen sobre su físico, tanto en aquellos con normopeso (Baceviciene, Jankauskiene and Emeljanovas, 2019) como con sobrepeso u obesidad (Yu *et al.*, 2008; Schranz *et al.*, 2014).

Otro de los beneficios que puede producir este entrenamiento en niños y adolescentes es la mejora sobre el rendimiento motor y sobre habilidades motoras de vital importancia tanto para las actividades de la vida diaria como para el desempeño deportivo (Lloyd *et al.*, 2014; Behringer *et al.*, 2016; Rosa-Guillamón and García-Cantó, 2017; Young *et al.*, 2017).

El entrenamiento de la fuerza en niños y adolescentes también tiene un efecto preventivo para disminuir la tasa de lesiones relacionadas con el deporte. Diferentes publicaciones científicas mencionan que el entrenamiento de fuerza reduce las posibilidades de sufrir una lesión en el futuro (Myer *et al.*, 2011; Faigenbaum and Myer, 2012; Zwolski, Quatman-Yates and Paterno, 2017).

1.3 EVOLUCIÓN, CRECIMIENTO, DESARROLLO

Los conceptos de crecimiento y desarrollo son términos que hacen referencia a los cambios que suceden en la persona desde el nacimiento hasta la edad adulta. Kenney, Wilmore and Costill (2014) definen los conceptos crecimiento, desarrollo y maduración de la siguiente manera:

- *Crecimiento*: aumento del tamaño corporal o de cualquiera de sus partes.
- *Desarrollo*: diferenciación celular para cumplir las distintas funciones especializadas (sistemas orgánicos) y, por lo tanto, refleja los cambios funcionales que acompañan el crecimiento.
- *Maduración*: proceso mediante el cual el cuerpo adquiere la configuración adulta y deviene completamente funcional. La maduración biológica es un proceso continuo que comienza prenatalmente hasta las primeras dos décadas. El tiempo de madurez es la edad cronológica en la que suceden eventos específicos de maduración, estos se pueden mediar mediante la velocidad máxima de la altura y la edad en la menarquia (Bergeron *et al.*, 2015).

Durante el periodo de crecimiento el rendimiento motor mejora paulatinamente a medida que aumenta la edad de los niños. Esto se produce por medio de las adaptaciones morfológicas de los músculos y de los tendones (Legerlotz *et al.*, 2016).

Los procesos que se presentan en cuanto al desarrollo de la fuerza no ocurren de la misma forma en hombres que en mujeres. En la etapa infantil se presentan muy pocas diferencias significativas entre ambos sexos. En cambio, cuando entran en la etapa de la pubertad las diferencias entre géneros sí existen, de forma que en los niños se presenta un incremento de la fuerza, mientras que las niñas llevan el mismo desarrollo gradual al de la infancia (Bergeron *et al.*, 2015).

La pubertad es el proceso de transición del crecimiento que pone fin a la niñez, suponiendo el comienzo a la maduración sexual. En esta etapa se presentan cambios neuromusculares en la fuerza, en la potencia muscular y en la coordinación intramuscular, además, sus valores suelen ser más altos en los niños que en las niñas (Stracciolini *et al.*, 2014), por lo cual, estas tienen mayor probabilidad de sufrir alguna lesión osteomuscular en las extremidades, ya que se produce un aumento de la masa corporal y de la altura, que no se acompaña de un aumento en las manifestaciones de la fuerza, hecho que sí ocurre en los niños (Zwolski, Quatman-Yates and Paterno, 2017).

En la adolescencia existen claras diferencias entre niños y niñas respecto a la estructura y el tamaño muscular, el patrón de activación y la función muscular; además de otros cambios fisiológicos que se manifiestan en los sistemas esquelético, cardiovascular, respiratorio, endocrino, etc. Estas diferencias van a afectar a la producción de fuerza y, por ello, a la diferencia en cuanto a los valores del rendimiento físico por factores como la edad, el tamaño corporal y la maduración sexual (Degache *et al.*, 2010; Lloyd *et al.*, 2016).

1.4 EJERCICIO Y CRECIMIENTO

El ejercicio físico tiene un papel muy importante en cuanto al crecimiento y al desarrollo de los niños y adolescentes ya que su práctica regular está asociada con efectos positivos sobre la salud de niños y adolescentes como parámetro de salud cardio-metabólica, ósea y musculoesquelética (García-Hermoso, Ramírez-Campillo and Izquierdo, 2019). Una buena condición física es un parámetro de salud de diversas aptitudes físicas como la capacidad cardiorrespiratoria, la fuerza o la resistencia aeróbica entre otros (Lang, Larouche and Tremblay, 2019). Por el contrario, un bajo nivel de estas aptitudes puede traer consecuencias negativas para la salud tanto a corto como a largo plazo (Antony *et al.*, 2015; Strobe *et al.*, 2015).

Por otra parte, se encuentran algunos cuestionamientos en cuanto a conocer cómo interactúan los efectos que se producen en la mejora de las capacidades físicas mediante el entrenamiento de fuerza, con las ganancias producidas por el proceso natural del crecimiento y maduración de los niños y adolescentes. En diversos estudios se menciona que hay una mayor eficiencia en cuanto a las ganancias de fuerza tras un entrenamiento de fuerza durante el periodo de crecimiento durante y después del pico más alto de su crecimiento (Parry *et al.*, 2016).

1.5 FUERZA MUSCULAR

1.5.1 CONCEPTO

Hoy en día se encuentran varias definiciones sobre el concepto de fuerza y sus diferentes manifestaciones. Boeckh-Behrens and Buskies, (2005) definen la

fuerza como la capacidad del sistema neuromuscular para superar obstáculos (de forma concéntrica y dinámica), contrarrestarlos (de forma excéntrica y dinámica) o sostenerlos (de forma estática o isométrica); con el objetivo de mejorar la salud, la forma física y el rendimiento deportivo. Zubillaga *et al.*, (2015) la definen como: “la capacidad física básica que nos permite crear una tensión muscular en un simple esfuerzo máximo para vencer una oposición o sobrecarga y está condicionada por la estructura del aparato locomotor y depende en parte de la estructura muscular” (Zubillaga *et al.*, 2015, p. 230).

El término fuerza se ha utilizado para identificar la fuerza máxima o de torque que puede ejercer un músculo y su longitud del brazo de palanca (la distancia perpendicular de la línea de acción de la fuerza al centro de rotación de la articulación) mediante la realización de ciertos movimientos, por ejemplo, la flexión del codo, la extensión de rodilla, etc. (Komi, 2003; Degache *et al.*, 2010).

En la literatura científica se define al entrenamiento de la fuerza como método especializado del acondicionamiento físico el cual implica el uso progresivo de cargas de resistencia, diferentes velocidades de movimiento y una variedad de modalidades de entrenamiento que incluyen máquinas de pesas, pesas libres (mancuernas), bandas elásticas, balones medicinales y ejercicios pliométricos (Faigenbaum and Myer, 2012).

Por tanto, el entrenamiento de fuerza se refiere a una metodología de entrenamiento que involucra varias técnicas de entrenamiento como son: las máquinas de musculación, peso libre, pliometría, ejercicios funcionales, etc.; con un aumento progresivo de las cargas con el fin de mejorar la resistencia muscular, la fuerza y la potencia, así como también la masa muscular (Myers, Beam and Fakhoury, 2017; Zwolski, Quatman-Yates and Paterno, 2017).

1.5.2 MANIFESTACIONES DE LA FUERZA

Al definir los conceptos de las diferentes manifestaciones de la fuerza, sucede igual que con el concepto de fuerza muscular, existen diferentes conceptos en la bibliografía y distintas clasificaciones. De acuerdo con el tipo de

contracción muscular producida, la resistencia a vencer o superar, da lugar a las diferentes manifestaciones de la fuerza consideradas tanto en el entrenamiento deportivo, como en la mejora de la capacidad para personas sanas como para personas con salud comprometida (Komi, 2003).

Tous (1999) clasifica las diferentes manifestaciones de la fuerza en tres niveles:

- Manifestaciones estáticas: en este tipo de manifestaciones existe un trabajo metabólico a nivel intramuscular y no existe trabajo mecánico. En esta manifestación incluye a la fuerza isométrica.

- Manifestaciones activas: el efecto de esta manifestación de fuerza es de un ciclo, simple y positivo, no se presenta un contramovimiento. Estas manifestaciones incluyen la fuerza máxima y submáxima, la fuerza dinámica y la fuerza explosiva máxima.

- Manifestaciones reactivas: la producción de fuerza es por un ciclo de doble trabajo muscular o un trabajo con el ciclo-estiramiento-acortamiento.

Las acciones musculares durante el movimiento pueden dar lugar a tres tipos de acciones diferentes. Komi, (2003) y Gonzales-Badillo and Izquierdo, (2013) clasifican las diferentes manifestaciones de la fuerza de acuerdo a las acciones musculares:

- El acortamiento o la acción dinámica concéntrica (superación de la resistencia externa, la fuerza externa actúa de manera contraria del movimiento).

- El alargamiento/estiramiento o la acción dinámica excéntrica (hay una cesión ante la resistencia externa, la fuerza externa actúa en el mismo sentido que el movimiento).

- Mantenimiento de su longitud o acción isométrica (la tensión fuerza muscular es equivalente a la resistencia externa, no existe movimiento ni, por supuesto, trabajo mecánico).

1.5.2.1 FUERZA MÁXIMA

Uno de los derivados de la condición física que ha tomado una gran relevancia ha sido la fuerza máxima, ya que es un parámetro para conocer el nivel de rendimiento muscular. Para poder comprender mejor qué significa esta variable se presentan algunas definiciones.

- Boeckh-Behrens and Buskies, (2005) definen a la fuerza máxima como la fuerza más alta que puede desarrollar el sistema neuromuscular en una contracción máxima espontánea (voluntaria).

- Kenney, Wilmore and Costill, (2014a) la definen como el peso máximo que puede levantar el individuo una sola vez, que a esto se le denomina 1 repetición máxima o 1RM.

1.5.2.2 POTENCIA MUSCULAR

La potencia muscular ha tenido varias definiciones, así como su determinación. A continuación, se presentan algunas definiciones que se pueden encontrar en la literatura científica sobre la potencia muscular.

- Kenney, Wilmore and Costill, (2014c) definen la potencia como la aplicación funcional de la fuerza muscular y la velocidad de movimiento. Donde la potencia = fuerza x distancia/tiempo, donde la fuerza = fuerza muscular y la distancia/tiempo = velocidad.

-González and Gorostiaga, (2002) la definen como la relación entre la fuerza aplicada y el tiempo empleado para ello en la manifestación de la máxima fuerza contra cualquier resistencia.

Los factores determinantes para la producción de potencia son las adaptaciones neuronales, las cuales activarán las motoneuronas de tipo II (Billeter and Hoppeler, 2003). Si bien, otros factores como la sección transversal del músculo y la longitud de los fascículos musculares también pueden determinar la producción de potencia muscular (Legerlotz *et al.*, 2016).

1.5.3 FACTORES QUE INTERVIEN EN EL DESARROLLO DE LA FUERZA MUSCULAR

Los componentes que determinan la fuerza muscular son de carácter morfológico y neurológico: constitución de fibras musculares, ángulo de peneación, coordinación inter e intramuscular y funcionamiento neuromuscular. Su manifestación depende de estos componentes mencionados ya que hay una estrecha relación con la magnitud de la carga y la velocidad del movimiento (González and Gorostíaga, 2002; Fröhlich *et al.*, 2010).

Estos factores estructurales y neuronales son importantes para reconocer los cambios en cuanto a la manifestación de la fuerza, ya sea por factores estructurales y neurologicos.

1.5.3.1 FACTORES ESTRUCTURALES

Los factores estructurales comprenden tres tipos: la masa muscular, el tipo de fibras musculares y el comportamiento de los sarcómeros en serie.

La masa muscular hace referencia al tamaño del músculo, que este a su vez depende del número y sección de las miofibrillas, de la cantidad de tejido conectivo y de los tejidos no contráctiles del músculo.

Las fibras musculares son las células del músculo esquelético encargadas de generar fuerza, de las cuales existen tres tipos de fibras musculares: fibras de contracción rápida (tipo IIb), fibras de contracción rápida-resistentes (tipo IIa) y fibras de contracción lenta (tipo I) (González and Gorostíaga, 2002).

Y, por último, la cantidad de sarcómeros en serie va a condicionar la capacidad del sujeto para generar fuerza, ya que el sarcómero es la unidad funcional de la fibra muscular del que forman parte los filamentos de actina y miosina, que son claves para la contracción muscular (Kenney, Wilmore and Costill, 2014a).

1.5.3.2 FACTORES NEURALES

La fuerza no es una propiedad exclusiva del músculo, sino de la eficacia del sistema nervioso para reclutar unidades motoras del músculo, estas estarán determinadas por los siguientes aspectos: el aumento de la activación de los músculos agonistas y la mejora de la coordinación intramuscular e intermuscular (González and Gorostíaga, 2002; Hüter-Becker, Schewe and Heipertz, 2006).

La activación de los músculos agonistas se mide de forma indirecta por medio de la actividad electromiográfica, que registra la actividad de la musculatura objeto de análisis. El entrenamiento de fuerza aumenta su actividad debido a un aumento en el número de unidades motoras activadas y/o a un incremento en la frecuencia de impulso nervioso de las unidades motoras. Este aumento en el número de unidades motoras se presenta de una forma más clara en las personas sedentarias que no están acostumbradas a realizar entrenamiento de fuerza, ya que no son capaces de reclutar todas las unidades motoras durante una contracción voluntaria máxima.

La coordinación intermuscular permite realizar de manera más eficiente y sincronizada entre los diferentes grupos musculares. Su mejora es consecuencia de que los músculos agonistas se activan de un modo más coordinado y los músculos antagonistas se contraigan menos y se necesite menos energía para producir la fuerza determinada (Hüter-Becker, Schewe and Heipertz, 2006; Kenney, Wilmore and Costill, 2014a).

Entendiendo todos estos procesos de desarrollo en cuanto a los cambios estructurales y neuronales del sistema musculoesquelético se ha documentado que estas ganancias pueden ser consecuencia de cambios en las conexiones entre las motoneuronas ubicadas en la medula espinal lo que permite que las unidades motoras actúen de manera más sincrónica y faciliten la contracción de la fuerza (Kenney, Wilmore and Costill, 2014a; Myers, Beam and Fakhoury, 2017).

1.5.4 MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA FUERZA

Para conocer cómo se presentan y/o se manifiestan las diferentes manifestaciones de la fuerza es importante tener un control sobre ellas. Cualquier control que se quiera aplicar sobre las mismas implica una medición de estas variables con el fin de tener información relevante sobre el nivel de condición física que tiene un individuo o los efectos que produce un determinado programa de entrenamiento. Mediante estas mediciones se busca la finalidad de que los entrenamientos sean más eficaces y eficientes para la búsqueda de mejores resultados mediante cargas/estímulos más precisos. Además, también es necesario este control para comprobar si los programas de actividad física son efectivos o no para la mejora de la capacidad entrenada o incluso para prescribir o dosificar la intensidad ideal para aplicar en cada ejercicio prescrito.

Se pueden evaluar las acciones isométricas y dinámicas desde cualquier longitud particular del músculo y/o el posicionamiento de las partes del cuerpo en relación con la fuerza medida directamente desde el músculo, fuerza en un punto en particular en relación con las partes del cuerpo o el torque en relación al eje de rotación (Komi, 2003).

A la hora de realizar una evaluación de una o varias manifestaciones de la fuerza, se deben de tener los siguientes aspectos (Izquierdo, 2008):

- Tener claro lo que se quiere medir. Buscar la validez de la medición, asegurarse que lo que se quiera medir es realmente lo que se mida.

- Conocer que el instrumento de medida es fiable. Es decir, ha de poseer una constancia y precisión suficiente, para que la magnitud que se mida se valore igual siempre que sea utilizado

- Considerar las circunstancias en las que se realiza la medición: hora, temperatura, actividades previas, etc.

Los métodos que existen para medir la fuerza de acuerdo con el tipo de activación muscular son dinámicos y estáticos.

1.5.4.1 MEDICIÓN ISOCINÉTICA

La medición isocinética consiste en realizar activaciones musculares concéntricas y excéntricas, en las que la velocidad de ejecución permanece constante durante la mayor parte del recorrido.

1.5.4.1.1 Instrumentos empleados en la medición isocinética

Las activaciones isocinéticas solo se pueden realizar en máquinas electrónicas especiales, que contienen un dispositivo que suele ser una célula de carga, que mide la fuerza ejercida en los diferentes ángulos de un movimiento realizado a una velocidad angular constante. Estas velocidades constantes se obtienen mediante la variación de la resistencia, que se va adaptando en cada uno de los puntos del movimiento a la fuerza desarrollada por el músculo, con el propósito de que la velocidad seleccionada se mantenga constante.

1.5.4.2 MEDICIÓN ISOINERCIAL

Mencionan González-Badillo and Izquierdo, (2013b) que cuando se mide una activación muscular isoinercial en acción concéntrica o en saltos, las principales manifestaciones medidas son la fuerza dinámica máxima y relativa, la fuerza explosiva, la potencia, el déficit de fuerza y la resistencia a la fuerza con cualquier carga.

1.5.4.2.1 Instrumentos empleados en la medición isoinercial

a) Pesos libres. Este método es el más común, fácil y con menor coste económico para medir la fuerza. Su uso nos proporciona información parcial sobre valores de fuerza máxima dinámica (máxima resistencia que se supera) o sobre el número de veces que se es capaz de vencer dicha resistencia. El método más empleado en la literatura científica para evaluar la fuerza máxima dinámica por medio de pesos libres se denomina una repetición máxima (1RM) que fue presentado a mediados del año 1945 por T.L. Delorme (Delorme, 1945)

para el uso de medicina física y la rehabilitación. Para determinar la resistencia máxima (1RM) se tendrá como objetivo levantar la mayor carga posible a través de una única repetición (Komi, 2003).

En varias investigaciones se han empleado tests para evaluar la fuerza máxima en la infancia utilizando cargas submáxima como el de 3, 8 o 10 RM en poblaciones de la infancia y la adolescencia, pero al realizar un alto número de repeticiones la prueba se orientaba más hacia las fuerzas submáxima que hacia la fuerza máxima, lo cual carecían de fiabilidad y no se podía conocer con alta precisión la fuerza máxima voluntaria (Demantova Gurjao *et al.*, 2005).

En varias investigaciones se ha demostrado la seguridad y la efectividad del uso del test de 1RM para evaluar la fuerza muscular en niños sanos con edades comprendidas entre los 6 y los 12 años, no presentándose ninguna lesión durante el periodo de evaluación y siendo bien tolerado el protocolo de evaluación por parte de todos los participantes (Faigenbaum, Milliken and Westcott, 2003; Arruda, Pianca and de Oliveira, 2011).

b) Medidor lineal de posición. Es un dispositivo electromecánico que mide el desplazamiento lineal del extremo libre a lo largo del tiempo. Está compuesto por un cable enrollado en forma de bobina sobre un tambor mecanizado. La rotación del eje del tambor es transmitida a través de un acoplamiento al dispositivo óptico o electrónico, siendo proporcional la longitud de desplazamiento del cable. Este instrumento, que se utilizó en nuestro trabajo, nos permite obtener, entre otras variables, los datos de la potencia (Cronin, Hing and McNair, 2004).

c) Plataforma de fuerza. Sirve para medir la fuerza en aquellos ejercicios en los que dicha magnitud se aplica contra el suelo en una zona localizada y reducida, este instrumento se utiliza más en los saltos. Puede informar sobre las fuerzas verticales y horizontales.

1.5.5 MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA FUERZA EN POBLACIÓN INFANTIL

En las primeras investigaciones sobre la evaluación de la fuerza en la etapa infantil (Pate *et al.*, 1993) se realizaron pruebas de campo como las sentadillas o el *push-up* para medir la fuerza máxima, con la finalidad de tener valores de mediciones de fuerza muscular relativas al peso y a la edad. Sin embargo, en estos estudios se observó que los instrumentos utilizados no eran válidos para evaluar la fuerza muscular absoluta, ya que al realizar varias repeticiones de un mismo ejercicio la evaluación se orientaba más hacia la fuerza resistencia que a la fuerza máxima.

A continuación, se presentan algunas baterías y estudios de investigación que han utilizado diferentes tipos de metodologías para evaluar la fuerza muscular en el periodo de crecimiento.

Una de las primeras y también más populares baterías para evaluar la aptitud física en niños y adolescentes en el ámbito escolar es la batería EUROFIT (Kemper and Van Mechelen, 1996; Tomkinson, Olds and Borms, 2007). En ella se recopilaron datos de 1.185.656 personas con edades comprendidas entre los 7 y los 18 años de 23 países europeos para conocer la variabilidad en el rendimiento de las pruebas de aptitud física. Para evaluar la fuerza muscular en las extremidades inferiores realizaron el *standing long jump test* y para evaluar la fuerza muscular en las extremidades superiores realizaron el *handgrip test* (Tomkinson, Olds and Borms, 2007).

Una de las primeras investigaciones sobre la evaluación de la fuerza máxima dinámica (1RM) fue realizada por Faigenbaum *et al.*, (1999) cuyo objetivo fue conocer los efectos de un entrenamiento de fuerza sobre el desarrollo de la fuerza y resistencia muscular en niños. Evaluaron a 43 niñas y niños en edades comprendidas entre los 5 y los 12 años. La fuerza muscular superior la evaluaron en el ejercicio *bench press* y la fuerza muscular de la parte inferior del cuerpo en el ejercicio *leg extention*.

En el año 2006 se publicó un estudio sobre la medición de la fuerza muscular isométrica (Eek, Kroksmark and Beckung, 2006), el cual analizó 149 niñas y niños entre 5 y 15 años, con el objetivo de establecer valores de

referencia de la fuerza muscular isométrica en brazos y piernas. En este trabajo se empleó la dinamometría manual para medir la fuerza muscular de los brazos y de las piernas.

Milliken *et al.*, (2008) realizaron un estudio cuyo objetivo fue comparar las pruebas de campo con la fuerza máxima (1RM) en niños. Evaluaron a 90 niños con edades comprendidas entre los 7 y los 12 años. Fueron evaluados por medio del ejercicio de *bench press*, utilizaron handgrip para los miembros superiores; y los ejercicios de *leg press*, *vertical jump* y *long jump* para las piernas.

Uno de los estudios de mayor relevancia en nuestro campo de conocimiento fue el estudio HELENA (Ortega *et al.*, 2011), el cual analizó los niveles de condición física en una muestra de 3428 adolescentes residentes en 9 países europeos con el objetivo de establecer valores normativos en función de la edad y el sexo en la población objeto de estudio. Para medir la fuerza muscular de la extremidad superior se emplearon pruebas indirectas como el *handgrip test* y el *bent arm hang test* y para la evaluación de la extremidad inferior, también se emplearon cuatro pruebas indirectas: *standing long jump test*, *squat jump test*, *countermovement jump test* y *Abalakov jump test*.

En la investigación de Tsiros *et al.*, (2011) evaluaron la confiabilidad del test de la dinamometría isocinética en niños. Se evaluaron a 11 niños de 10 a 13 años, en el cual utilizaron un dinamómetro isocinético Biodex®.

Otro estudio importante fue el estudio llamado IDEFICS (De Miguel-Etayo *et al.*, 2014). El objetivo fue establecer valores normativos de un conjunto de componentes de la aptitud física específicos del sexo y la edad en niños europeos. Se evaluaron a 10.302 niñas y niños con edades comprendidas entre los 6 y los 11 años de edad. La batería incluía el *handgrip test* para la fuerza muscular en los miembros superiores y el *standing long jump test* para los miembros inferiores.

En niños de Norteamérica se aplicó la evaluación de la fuerza muscular para proporcionar valores de referencia tanto para la parte superior como la parte inferior del cuerpo. Evaluaron a 1224 sujetos con edades comprendidas entre los 6 y los 15 años. Para los miembros superiores utilizaron el *modified pull up* y *grip strenght* y para los miembros inferiores el *knee extensión* (Ervin *et al.*, 2014).

En el estudio de Meylan *et al.*, (2015) se destaca la utilización de un transductor de posición lineal para evaluar la potencia muscular de los extensores de la rodilla. El objetivo fue cuantificar la confiabilidad de la fuerza máxima y la velocidad-potencia en las piernas. Evaluaron a 35 sujetos con edades comprendidas entre los 11 a los 15 años. Para determinar la potencia, utilizaron 5 cargas aleatorias al 80%, 100%, 120%, 140% y 160% de la masa corporal.

En el 2016 surge un programa francés que evalúa las aptitudes físicas relacionadas con la salud llamado “MOVE” (Vanhelst *et al.*, 2016). En este estudio participaron 174 jóvenes franceses con edades comprendidas entre los 8 y los 16 años. La aptitud física muscular de las piernas la evaluaron mediante el *standing long jump*.

En Latinoamérica se presenta un estudio de relevancia llamado “FUPRECOL” (Ramírez-Velez *et al.*, 2017). El objetivo fue establecer valores de referencia para la fuerza muscular en los miembros inferiores, en sujetos con edades comprendidas entre los 9 y los 18 años. Evaluaron a 8034 estudiantes sanos colombianos mediante el *standing long jump* para la fuerza muscular de las piernas. Además, investigaron la diferencia entre sexos y grupos de edades.

Otro estudio de relevancia fue el de Yin, Tang and Tao, (2018) que evaluó la fuerza muscular de todo el cuerpo en una población infantil con edades comprendidas entre los 10 y los 12 años. La muestra estaba compuesta por 245 participantes divididos por género y residencia urbana o rural. Para medir la fuerza muscular en las extremidades superiores se emplearon pruebas indirectas como el *handgrip* o el *knee bent push-up*. Para las extremidades inferiores se utilizó el *standing long jump* y el ejercicio de sentadillas. Se utilizó la prueba de la fuerza isocinetica para evaluar los 6 grupos musculares de los movimientos de flexión y extensión de la articulación del hombro, codo, muñeca, espalda, rodilla y tobillo. Concluyeron que la evaluación de la fuerza en las piernas puede dar la mayor validez para la evaluación de la fuerza muscular de todo el cuerpo y, además, esto tiene validez tanto para niños urbanos como niños rurales.

Las pruebas mencionadas en este apartado pueden ser un predictor de fuerza muscular en la población infantil. Estas pruebas se recomienda darle el valor y la importancia de hacer evaluaciones con instrumentos isocinéticos, que proporcionan información sobre la fuerza máxima en acciones musculares dinámicas, en donde en la mayoría de las actividades de la vida diaria son dinámicas, por lo cual es necesario conocer información sobre las acciones musculares concéntricas y excéntricas en situaciones dinámicas.

Una de las carencias en cuanto a la comprensión de la fuerza en esta etapa también es el equipo implementado, ya que la mayoría de los equipos comerciales están diseñados para la edad adulta, lo cual supone que los primeros conocimientos sobre los cambios de la fuerza con la edad y el sexo pudieron no haber sido muy precisos por el uso de equipos y protocolos inapropiados o inespecíficos para la población infantil (Croix, 2007).

Para poder hacer una elección para el protocolo adecuado se deberá tener en cuenta el grupo muscular a evaluar, el ángulo articular, el tipo de acción muscular y el patrón de movimiento (De Ste Croix, Deighan and Armstrong, 2003).

A continuación, se presentan dos tablas donde quedan recogidos los principales artículos que han realizado una evaluación de la fuerza en niños (Tabla 1) y aquellas investigaciones que han empleado el test de 1RM en población infantil y adolescente para medir la fuerza máxima dinámica (Tabla 2).

Tabla 1. Artículos más importantes publicados sobre evaluación de la fuerza en las poblaciones estudiadas.

ESTUDIO	POBLACIÓN	N	GÉNERO	EDAD (años)	PRUEBAS DE EVALUCIÓN
Pate et al., 1993	Niños sanos	94	56 ♀ 38 ♂	9 - 10	pull ups, push-ups, modifield pull-ups.
Faingenbaum et al., 1999	Niños sanos	43	11♀ 32♂	6 - 12	test 1 rm leg extension y chest press.
Eek et al., 2006	Niños sanos	146	73♀ 75♂	5 - 15	handheld dynamometer.
Tomkinson et al., 2007	Niños sanos	1,185,656	-	7 - 18	standing long jump test, handgrip test.
Milliken et al., 2008	Niños sanos	90	39♀ 51♂	7 - 12	handgrip strenght, vertical jump y long jump.
Ortega et al., 2011	Adolescentes	3428	1845♀ 1583♂	12 - 17	handgrip, bent arm hang, standing long jump, Bosco jumps (squat jump, counter movement jump and Abalakov jump).
Tsiros et al., 2011	Niños y Adolescentes	11	-	10 - 13	dinamómetro isocinético: extensión de rodilla isométrica y flexión de rodilla isocinética.
Miguel-Etayo et al., 2014	Niños sanos	10302	5223♀ 5079♂	6 - 11	handgrip strength test Y standing long jump test.
Meylan et al., 2015	Adolescentes	36	36♂	11 - 15	transductor de posición lineal: Leg press.
Vanhelst et al., 2016	Niños y Adolescentes	174	174 ♂	8 - 16	standing long jump.
Ramirez-Velez et al., 2017	Niños sanos	8034	4546♀ 3488♂	9 - 17	standing long jump.
Yin et al., 2018	Niños y Adolescentes	245	-	10 - 12	handgrip, knee bent push-up, standing long jump y sentadillas.

Leyenda: ♀: mujeres; ♂: hombres

Tabla 2. Artículos publicados realizando el test 1RM en brazos y piernas en la población estudiada.

ESTUDIO	POBLACIÓN	N	GÉNERO	EDAD (años)	EJERCICIO DE EVALUACIÓN 1RM
Faingenbaum et al., 1999	Niños sanos	43	11♀ 32♂	6 - 12	Test 1 RM leg extension y chest press.
Faingenbaum et al., 2003	Niños sanos	96	32♀ 64♂	6 - 12	Test 1 RM leg extension y standing chest press.
Milliken et al., 2008	Niños sanos	90	39♀ 51♂	7 - 12	1 RM chest pres y leg press.
Lubans et al., 2010	Adolescentes	106	52♀ 54♂	15	Test 1 RM: bench press y leg press.
Forberg et al., 2012	Niños sanos	39	21♀ 18♂	8 - 12	Test 1 RM: leg extension.
Keiner et al., 2013	Adolescentes deportistas	141	141♂	11 - 19	Test 1 RM: back squat.
Fernandez-Santos et al., 2016	Niños sanos	108	82♀ 26♂	6 - 12	Test 1 RM: bench press.
Negra et al., 2016	Adolescentes deportistas	23	23♂	12 - 13	Test 1 RM: half squat.
Crouter et al., 2017	Adolescentes obesos	30	30♂	8 - 14	Test 1 RM: chest press y leg press.
Othman et al., 2018	Niños y adolescentes	48	38♂	10 - 13	Test 1 RM: leg press.
Othman et al., 2019	Niños	42	-	10 - 13	Test 1 RM: leg press.

Leyenda: ♀: mujeres; ♂: hombres

CAPÍTULO 2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Considerando lo previamente expuesto en el apartado anterior, nos hemos propuesto los siguientes objetivos:

2.1 OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

- Evaluar la fuerza muscular de las extremidades superiores e inferiores en una población infantil y adolescente del estado de Sonora (México) y comparar su evolución en función de la edad cronológica y del sexo.

2.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO 1

- Determinar la fiabilidad test-retest del test 1 RM en el ejercicio de *leg extension* y de *bench press sentado*.

- Determinar la fiabilidad test-retest de un test de potencia muscular con carga incremental en el ejercicio de *leg extension* y de *bench press sentado*.

2.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO 2

- Evaluar la fuerza máxima dinámica (1RM) y la potencia muscular de los músculos extensores de la rodilla en una población infantil y adolescente del estado de Sonora (México).

- Evaluar la fuerza máxima dinámica (1RM) y la potencia muscular de los músculos flexores del pecho en una población infantil y adolescente del estado de Sonora (México).

- Estudiar el patrón de los cambios en la fuerza máxima dinámica y en la potencia muscular en función de la edad cronológica y del sexo de los participantes.

CAPÍTULO 3. DISEÑO

3. DISEÑO

La investigación se llevó a cabo mediante dos estudios: el primero para determinar la repetitividad del sistema de medida empleado en la población objeto de estudio. El segundo consistió en estudiar la evolución de las distintas manifestaciones de la fuerza (fuerza máxima dinámica y potencia muscular) a lo largo de las distintas edades analizadas. El diseño de cada estudio se detalla a continuación:

3.1 DISEÑO ESTUDIO 1

Este estudio, previo al inicio del estudio 2, partió de la necesidad de estudiar la repetitividad de los métodos de evaluación empleados y constatar la precisión de cada una de las pruebas de fuerza empleadas en población infantil y adolescente. La figura 1 representa el diseño:

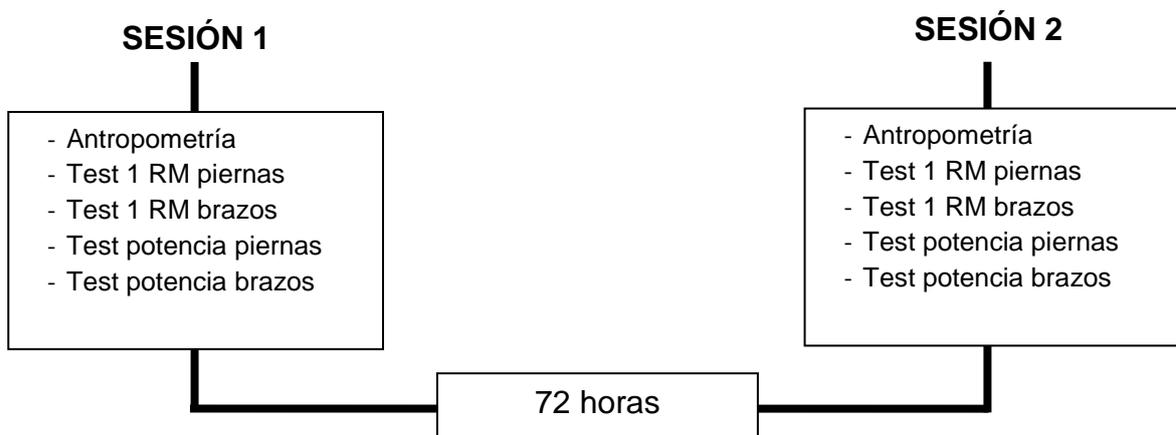


Figura 1. Diseño del estudio 1.

En este estudio los sujetos realizaron dos sesiones de evaluación de las manifestaciones de la fuerza realizadas en idénticas condiciones y separadas la primera de la segunda 3 días. De esta forma se pretendía verificar la concordancia entre los resultados de dos mediciones sucesivas de la fuerza máxima dinámica y de la potencia muscular bajo las mismas condiciones de medición y empleando los mismos instrumentos de medida. El procedimiento metodológico de este estudio se detalla en el apartado 4.3.

3.2 DISEÑO ESTUDIO 2

En este estudio se realizaron las evaluaciones de las manifestaciones de la fuerza. En primer lugar, se realizó una evaluación antropométrica de todos los sujetos, a continuación, la evaluación de la fuerza máxima dinámica en piernas y brazos. Posteriormente, tras el paso de 7 días, se les realizaba la evaluación de la potencia muscular tanto en piernas como en brazos. La figura 2 representa el diseño. El procedimiento metodológico de este estudio de detalla en el apartado 4.3.

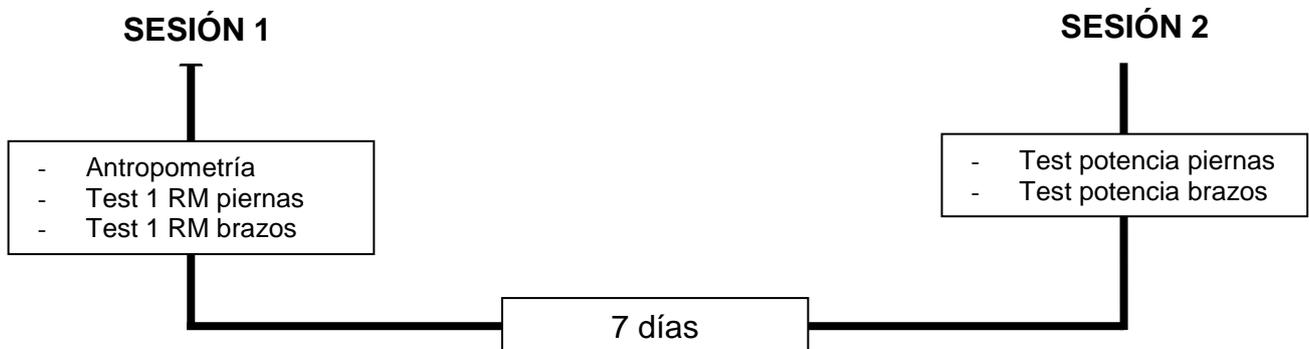


Figura 2. Diseño del estudio 2.

CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODO

4. MATERIAL Y MÉTODO

4.1 MUESTRA

En primer lugar, nos pusimos en contacto con una institución educativa privada de nivel básico que tiene alumnos matriculados entre los 6 y los 18 años y que se encuentra situada en la ciudad de Hermosillo (México). Este primer contacto fue utilizado para dar a conocer a sus directivos el proyecto de investigación y explicarles los detalles de este.

En segundo lugar, y tras la aprobación del proyecto por parte del equipo directivo, se celebró una reunión con los padres/madres y tutores legales del alumnado para informarles detalladamente del procedimiento y solicitar su consentimiento escrito, autorizando la participación de sus tutelados en la investigación. De esta manera, antes de comenzar la evaluación inicial de todos los participantes, estos mismos o sus familiares debían presentar ante los responsables del proyecto de investigación el consentimiento informado firmado por sus padres/madres o tutores legales, manifestando su conformidad para la participación y autorización voluntaria en este proyecto de investigación.

En tercer lugar, procedimos a seleccionar la muestra objeto de estudio (figura 3). En este sentido, la población del colegio era de 471 alumnos, de los cuales 312 estaban matriculados en la Etapa de Educación Primaria y 159 en la Etapa de Educación Secundaria.

Para el desarrollo del estudio 1, estudio de la repetitividad, se seleccionaron aleatoriamente 8 estudiantes de cada uno de los grupos de edad (9, 10, 11, 12, 13, 14, 15), con la premisa de que 4 fueran varones y 4 mujeres.

Para el desarrollo del estudio 2, contamos con una muestra de 339 participantes con edades comprendidas entre los 9 y los 15 años. De esa muestra inicial, fueron excluidos durante la toma de datos 11 personas por dos motivos: no asistir a la totalidad de las sesiones de evaluación programadas

y/o incompatibilidad de horarios entre el desarrollo del proyecto de investigación y actividades académicas organizadas por la propia institución escolar. Por tanto, 328 participantes fue la muestra final seleccionada sobre la que se llevó a cabo evaluación de las manifestaciones de la fuerza.

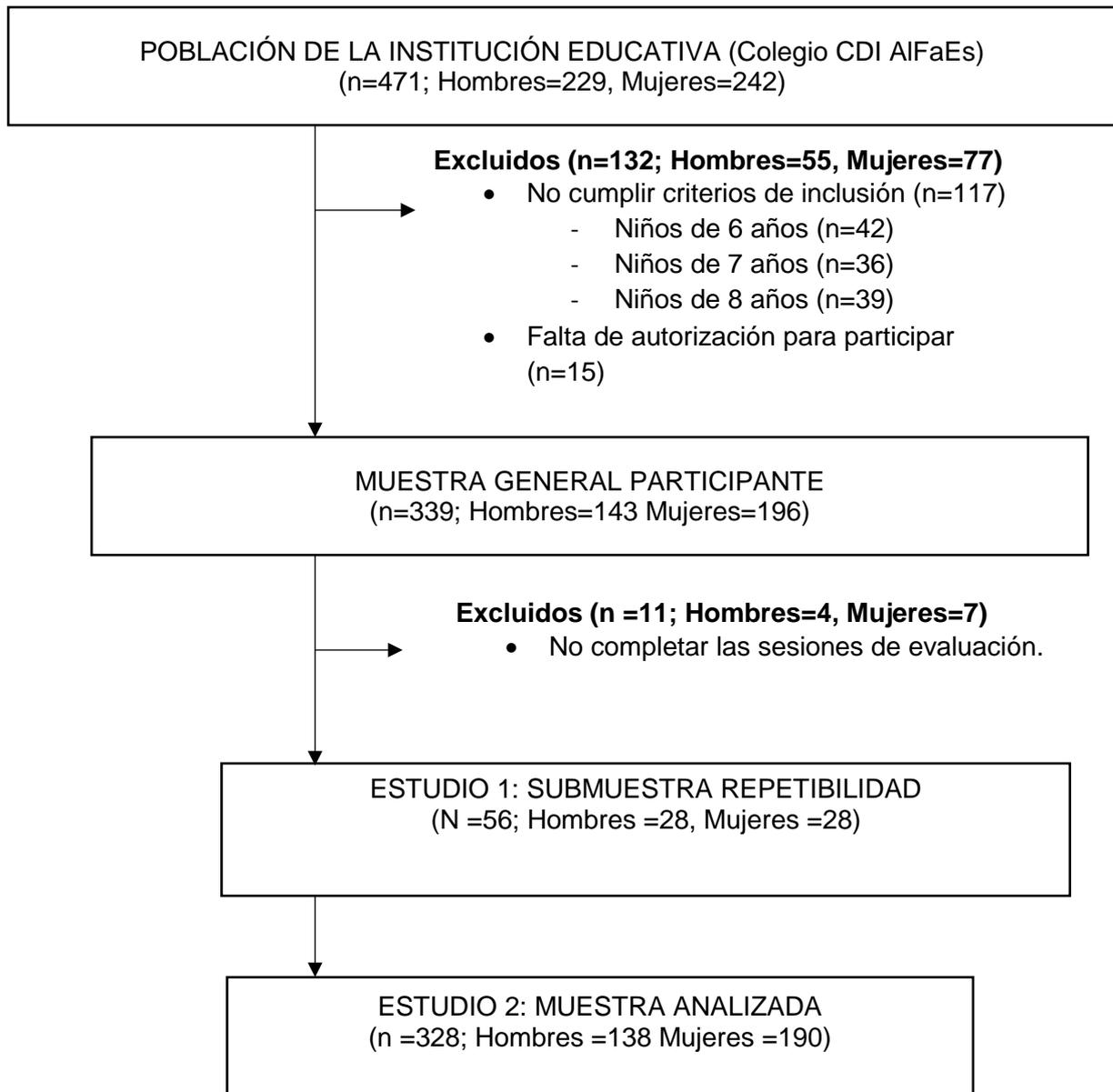


Figura 3. Muestra del estudio

Para el desarrollo de ambos estudios se contó con una cifra total de 328 participantes, de los cuales 138 eran niños y 190 niñas. Los criterios de exclusión fueron los siguientes: no tener ningún antecedente de trastorno

musculoesquelético ni ortopédico que pudiera afectar a su capacidad para realizar las pruebas de evaluación de las distintas manifestaciones de la fuerza y no asistir a la totalidad de las sesiones de evaluación programadas. Los criterios de inclusión fueron: ser alumno de la institución educativa en la que se desarrollaba el proyecto, haber hecho entrega del consentimiento informado firmado por sus padres/madres o tutores legales a los responsables del proyecto antes de realizar las sesiones de evaluación y que los participantes en el momento de la evaluación tuvieran edades comprendidas entre los 9 años y los 15 años.

4.2 MATERIAL

El material utilizado en la investigación ha sido el siguiente:

- Para medir el peso y la talla:
 - Estadímetro Seca 213.
 - Biompedancia Tanita SC331S.
- Para realizar los ejercicios de fuerza propuestos:
 - Máquina multiestación (BH® Nevada Plus, México).
- Para evaluar las diferentes manifestaciones de la fuerza:
 - Transductor de posición (T-Force System, Ergotech, software 2.3).

4.3 PROCEDIMIENTOS

El proceso de evaluación tuvo una duración de 20 semanas, comprendiendo el desarrollo de los dos estudios.

4.3.1 Protocolo del Estudio 1

1. El horario de evaluación fue de lunes a viernes entre las 8:00 h y las 13:00 h.
2. Las evaluaciones fueron realizadas por grupos de edad. Cada grupo estaba formado por 4 participantes.
3. Las evaluaciones se llevaron a cabo en orden de edad descendente, comenzando por los grupos de participantes más mayores.
4. Todos los participantes realizaron dos sesiones de familiarización previas al desarrollo de cada una de las evaluaciones de las manifestaciones de la fuerza con el objetivo de enseñar a los participantes cómo realizar la ejecución técnica de los movimientos requeridos en cada prueba. En cada sesión de familiarización cada participante realizó 3 series de 8 repeticiones con una carga estándar (9 kg. para el ejercicio de *leg extension* y 4,5 kg. para el ejercicio de press de pecho).
5. La evaluación daba comienzo con la toma de datos relativos al peso y a la talla. A continuación, se realizaba la evaluación de la fuerza máxima en piernas y en brazos respectivamente. Posteriormente, se realizaba la evaluación de la potencia muscular en piernas y en brazos respectivamente.
6. La segunda sesión de evaluación, programada con una separación de 3 días de la primera, fue utilizada para aplicar el mismo protocolo de evaluación a cada uno de los participantes bajo las mismas condiciones de evaluación.
7. Las pruebas de evaluación fueron realizadas por el investigador responsable de esta memoria, contando con apoyo puntual de los docentes del centro educativo.
8. Todas las sesiones de evaluación se llevaron a cabo presencialmente en las instalaciones deportivas de la institución educativa y se ejecutaron sobre una máquina Multiestación BH Nevada Plus®.

4.3.2 Protocolo del Estudio 2

1. El horario de evaluación fue de lunes a viernes entre las 8:00 h y las 13:00 h.
2. Las evaluaciones fueron realizadas por grupos de edad. Cada grupo estaba formado por 5 participantes.
3. Las evaluaciones se llevaron a cabo en orden de edad descendente, comenzando por los grupos de participantes más mayores.
4. Todos los participantes realizaron dos sesiones de familiarización previas al desarrollo de cada una de las evaluaciones de las manifestaciones de la fuerza con el objetivo de enseñar a los participantes cómo realizar la ejecución técnica de los movimientos requeridos en cada prueba. En cada sesión de familiarización cada participante realizó 3 series de 8 repeticiones con una carga estándar (9 kg. para el ejercicio de *leg extension* y 4,5 kg. para el ejercicio de press de pecho).
5. La evaluación daba comienzo con la toma de datos relativos al peso y a la talla. A continuación, se realizaba la evaluación de la fuerza máxima en piernas y en brazos respectivamente.
6. La segunda sesión de evaluación, programada con una separación de 7 días de la primera, fue utilizada para evaluar la potencia muscular en piernas y en brazos respectivamente.
7. Las pruebas de evaluación fueron realizadas por el investigador responsable de esta memoria, contando con apoyo puntual de los docentes del centro educativo.
8. Todas las sesiones de evaluación se llevaron a cabo presencialmente en las instalaciones deportivas de la institución educativa y se ejecutaron sobre una máquina Multiestación BH Nevada Plus®.

4.3.3 EVALUACIÓN DE LAS MANIFESTACIONES DE LA FUERZA

La evaluación de las diferentes manifestaciones de la fuerza analizadas en los participantes que conforman la muestra se ha realizado bilateralmente sobre la musculatura extensora de la rodilla y sobre la musculatura flexora del hombro.

4.3.3.1 EVALUACIÓN DE LA FUERZA MÁXIMA DINÁMICA

La evaluación de la fuerza máxima se realizó por medio de la prueba 1RM siguiendo los protocolos publicados por Faigenbaum *et al.*, (2009) y Fernandez-Gonzalo *et al.*, (2010).

4.3.3.1.1 EVALUACIÓN DE LA FUERZA MÁXIMA EN LA MUSCULATURA EXTENSORA DE LA RODILLA

Para el desarrollo de esta prueba el ejecutante debía situarse en posición de sentado sobre la máquina Multiestación BH Nevada Plus®, con la espalda recta y con las manos agarradas a las dos asas de la máquina, situadas junto al asiento. El rango de movimiento de la articulación de las rodillas durante la fase concéntrica se inició en 90° (inicio de la repetición) y debía finalizar próximo a los 180° (fin de la repetición).

El desarrollo de la prueba consistió en realizar una serie inicial de 10 repeticiones con una carga del 40% del peso corporal del participante. Tras un descanso de 3 minutos se inició la segunda serie, consistente en realizar 8 repeticiones con un aumento de 10 kilogramos sobre la carga inicial. A partir de esta serie los aumentos en la carga oscilaban entre los 5 y los 20 kg. El objetivo era que el participante consiguiera desplazar la carga impuesta en un rango completo de movimiento en dos ocasiones, si conseguía realizarlo, se aumentaba la carga de nuevo entre 5 y 20 kilogramos. Este ciclo (ejecución - descanso y ejecución con una nueva carga) se repetía en cada participante hasta llegar a una única repetición exitosa, siendo la carga impuesta en esta última serie la considerada como 1RM. En el supuesto de que el participante no levantara la carga impuesta, se reducía la carga para intentar realizar un nuevo intento. Durante la evaluación, el control de la intensidad fue regulado

mediante la escala OMNI RPE (Robertson et al., 2005), que se administraba al participante al término de cada serie y que orientaba al evaluador sobre la toma de decisiones a la hora de proponer los incrementos en la carga. Se estableció un límite máximo de 6 series para determinar el 1RM.

Durante el desarrollo de cada serie los participantes recibían estímulos verbales por parte del evaluador.

4.3.3.1.2 EVALUACIÓN DE LA FUERZA MÁXIMA EN LA MUSCULATURA FLEXORA DEL HOMBRO

Para el desarrollo de esta prueba el ejecutante debía situarse en posición de sentado sobre la máquina Multiestación BH Nevada Plus®, con la espalda recta y con las manos sujetas a las palancas de la máquina. Los brazos estaban situados inicialmente en abducción en referencia al eje vertical, con una flexión de codos de 45 grados. El rango de movimiento de la articulación del codo durante la fase concéntrica se inició en 90° (inicio de la repetición) y debía finalizar próximo a los 180° (fin de la repetición), realizando una extensión de codo.

El desarrollo de la prueba consistió en realizar una serie inicial de 10 repeticiones con una carga del 20% del peso corporal del participante. Tras un descanso de 3 minutos se inició la segunda serie, consistente en realizar 8 repeticiones con un aumento de 10 kilogramos sobre la carga inicial. A partir de esta serie los aumentos en la carga oscilaban entre los 5 y los 20 kg. El objetivo era que el participante consiguiera desplazar la carga impuesta en un rango completo de movimiento en dos ocasiones, si conseguía realizarlo, se aumentaba la carga de nuevo entre 5 y 20 kilogramos. Este ciclo (ejecución - descanso y ejecución con una nueva carga) se repetía en cada participante hasta llegar a una única repetición exitosa, siendo la carga impuesta en esta última serie la considerada como 1RM. En el supuesto de que el participante no levantara la carga impuesta, se reducía la carga para intentar realizar un nuevo intento. Durante la evaluación, el control de la intensidad fue regulado mediante la escala OMNI RPE (Robertson et al., 2005), que se administraba al participante al término de cada serie y que orientaba al evaluador sobre la

toma de decisiones a la hora de proponer los incrementos en la carga. Se estableció un límite máximo de 6 series para determinar el 1RM.

Durante el desarrollo de cada serie los participantes recibían estímulos verbales por parte del evaluador.

4.3.3.2 EVALUACIÓN DE LA POTENCIA MUSCULAR

4.3.3.2.1 Evaluación de la potencia en la musculatura extensora de la rodilla

Para el desarrollo de esta prueba el ejecutante debía situarse en posición de sentado sobre la máquina Multiestación BH Nevada Plus®, con la espalda recta y con las manos agarradas a las dos asas de la máquina, situadas junto al asiento. El rango de movimiento de la articulación de las rodillas durante la fase concéntrica se inició en 90° (inicio de la repetición) y debía finalizar próximo a los 180° (fin de la repetición).

La determinación de la potencia muscular se realizó en 6 intensidades diferentes, correspondientes al 30%, 40%, 50%, 60%, 70% y 80% del 1RM determinado previamente. Con cada una de las cargas, presentadas sucesivamente y en orden ascendente de peso, el participante debía realizar tres repeticiones a la máxima velocidad posible durante la fase concéntrica, con un intervalo de dos segundos entre cada repetición.

La potencia manifestada en cada una de las 6 intensidades propuestas se obtuvo mediante un transductor de posición lineal con una frecuencia de muestreo de 1000 Hz (T-Force System, Ergotech®) y el software asociado al mismo (v. 2.3). Para el análisis estadístico se ha considerado, en cada una de las cargas, la repetición en la que se obtuvo el mayor valor de potencia.

4.3.3.2.2 Evaluación de la potencia en la musculatura flexora del hombro

Para el desarrollo de esta prueba el ejecutante debía situarse en posición de sentado sobre la máquina Multiestación BH Nevada Plus®, con la espalda recta y con las manos sujetas a las palancas de la máquina. Los brazos estaban situados inicialmente en abducción en referencia al eje vertical, con una flexión de codos de 45 grados. El rango de movimiento de la articulación del codo durante la fase concéntrica se inició en 90° (inicio de la repetición) y

debía finalizar próximo a los 180° (fin de la repetición), realizando una extensión de codo.

La determinación de la potencia muscular se realizó en 6 intensidades diferentes, correspondientes al 30%, 40%, 50%, 60%, 70% y 80% del 1RM determinado previamente. Con cada una de las cargas, presentadas sucesivamente y en orden ascendente de peso, el participante debía realizar tres repeticiones a la máxima velocidad posible durante la fase concéntrica, con un intervalo de dos segundos entre cada repetición.

La potencia manifestada en cada una de las 6 intensidades propuestas se obtuvo mediante un transductor de posición lineal con una frecuencia de muestreo de 1000 Hz (T-Force System, Ergotech®) y el software asociado al mismo (v. 2.3). Para el análisis estadístico se ha considerado, en cada una de las cargas, la repetición en la que se obtuvo el mayor valor de potencia.

4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

4.4.1 ANÁLISIS REALIZADO EN EL ESTUDIO 1

Los datos se presentan como medias \pm desviaciones estándar (DE) y rangos. La normalidad de los datos se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Las diferencias entre el test y el retest se analizaron mediante la prueba *t*-de Student; Para determinar los límites de confianza como medidas de confiabilidad absoluta, se utilizó el coeficiente medio de variación (CV) de los CV test-retest individuales y se utilizó el método de Bland-Altman en la variable fuerza máxima dinámica para la evaluación visual de la fiabilidad de las medidas y los límites de concordancia. La repetitividad se calculó determinando las estimaciones del coeficiente de correlación intraclass (CCI) y sus intervalos de confianza del 95% basados en efectos aleatorios bidireccionales, concordancia absoluta y medición de un solo evaluador (CCI_{2,1}) (Koo et al., 2016). Además, la propuesta de Rosner (1982) se utilizó para realizar una interpretación cualitativa del resultado del CCI; por tanto, CCI < 0,4 indica baja fiabilidad, $0,4 \leq \text{CCI} \leq 0,75$ indica fiabilidad de regular a buena y $\text{CCI} \geq 0,76$ indica fiabilidad excelente. La confiabilidad absoluta se evaluó

utilizando el error estándar de medición (ESM) y el cambio mínimo detectable (MCD) se calculó tanto en términos absolutos como en porcentaje. El nivel de significación estadística se estableció en el 5%. Todos los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico SPSS versión 25 (SPSS Inc, Chicago, IL, EE. UU.).

4.4.2 ANÁLISIS REALIZADO EN EL ESTUDIO 2

Los datos se presentan como medias \pm desviaciones estándar (DE) y rangos. La normalidad de los datos se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Para la comparación de medias entre los sexos dentro de un mismo grupo se ha utilizado la prueba *t*-student. Para comparar las diferentes manifestaciones de la fuerza entre los distintos grupos de edad se ha realizado un ANOVA, empleándose la prueba post-hoc de Bonferroni cuando fue pertinente.

En todas las pruebas se ha exigido un nivel mínimo de significación de $p \leq 0,05$.

Se ha utilizado el programa informático SPSS®25.0, EEUU.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

5. RESULTADOS

5.1 RESULTADOS ESTUDIO 1

5.1.1 CARACTERÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LA MUESTRA

Los datos que caracterizan la muestra sobre la que se ha realizado el estudio 1 se presentan en la tabla 3. En ella se presentan los datos de los participantes agrupados por edades. El total de los participantes en este primer estudio fue de 56 sujetos, de los cuales 28 eran hombres y 28 mujeres.

Tabla 3. Distribución de la muestra

Edad	N
9 años	8 (4 Hombres /4 Mujeres)
10 años	8 (4 Hombres /4 Mujeres)
11 años	8 (4 Hombres/4 Mujeres)
12 años	8 (4 Hombres/4 Mujeres)
13 años	8 (4 Hombres/4 Mujeres)
14 años	8 (4 Hombres/4 Mujeres)
15 años	8 (4 Hombres/4 Mujeres)

5.1.2 VALORES DE FUERZA MÁXIMA DINÁMICA EN EXTENSORES DE LA RODILLA

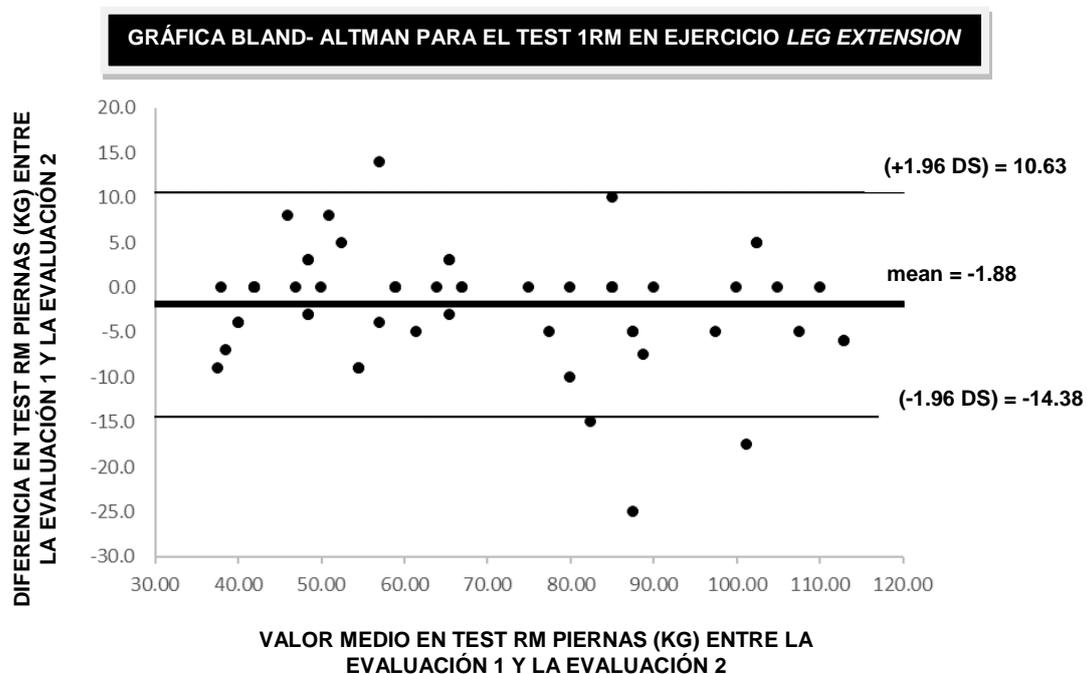
Los datos obtenidos en la variable fuerza máxima dinámica en el ejercicio *leg extension* en el test y el retest se presentan en la tabla 4. Además, en la misma tabla se presentan los valores de fiabilidad de esta variable.

Tabla 4. Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la fuerza máxima dinámica en el ejercicio *leg extension*.

Variable	Media \pm DS	T-test (p)	CCI	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MCD	MCD (%)
RM 1 (Kg)	68.47 \pm 22.59	0.000	0.96	0.93-0.98	0.046	0.052	0.000	0.202	4.62	12.82	18.47
RM 2 (Kg)	70.35 \pm 23.80										

RM 1 = fuerza máxima dinámica en el ejercicio *leg extension* obtenida en el test inicial. RM 2= fuerza máxima dinámica en el ejercicio *leg extension* obtenida en el retest; DS: desviación estándar; T-test (p) = valor de *p* en la prueba t-student; CCI, coeficiente correlación intraclase; IC 95%, intervalo de confianza del CCI al 95%; CV, coeficiente de variación; Min.: valor mínimo del CV; Max.: valor máximo del CV; EEM: error estándar de la medida (valor absoluto); MCD: mínimo cambio detectable (valor absoluto); MCD%: MCD expresado en porcentaje.

La confiabilidad inter-evaluación (gráfico Bland-Altman) de la fuerza máxima dinámica en el ejercicio *leg extension* se muestra en la gráfica 1. Para los grupos musculares de las extremidades inferiores, el análisis indica los valores medios de las dos evaluaciones realizadas.



Grafica 1. Gráfica Bland-Altman del límite de acuerdo (la línea superior muestra el límite superior; la línea inferior muestra el límite inferior) en las 2 evaluaciones de la fuerza máxima dinámica (1RM) en el ejercicio *leg extension*.

5.1.3 VALORES DE POTENCIA MUSCULAR EN EXTENSORES DE LA RODILLA

Los datos obtenidos para la potencia muscular media en los seis porcentajes de carga evaluados en el ejercicio *leg extension* en las tablas que se muestran a continuación (tabla 5 – tabla 10). Además, en cada tabla se presentan los valores de fiabilidad de esta variable en cada uno de los porcentajes medidos.

Tabla 5. Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 30% del 1RM en el ejercicio *leg extension*.

Variable	Media±DS	T-test (p)	CCI	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MCD	MCD (%)
PwM 30%-1 (W)	162.02±55.47	0.000	0.847	0.753-0.907	0.122	0.105	0.003	0.517	21.75	60.29	36.85
PwM 30%-2 (W)	165.21±56.19										

PwM 30%-1 = potencia media evaluada al 30% del 1RM en el test inicial. PwM 30%- 2= potencia media evaluada al 30% del 1RM en el retest; DS: desviación estándar; T-test (p) = valor de p en la prueba t-student; CCI, coeficiente correlación intraclase; IC 95%, intervalo de confianza del CCI al 95%; CV, coeficiente de variación; Min.: valor mínimo del CV; Max.: valor máximo del CV; EEM: error estándar de la medida (valor absoluto); MCD: mínimo cambio detectable (valor absoluto); MCD%: MCD expresado en porcentaje.

Tabla 6. Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 40% del 1RM en el ejercicio *leg extension*.

Variable	Media±DS	T-test (p)	CCI	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MCD	MCD (%)
PwM 40%-1 (W)	190.45±64.48	0.000	0.889	0.818-0.933	0.096	0.102	0.001	0.456	21.21	58.79	30.42
PwM 40%-2 (W)	196.08±63.28										

PwM 40%-1 = potencia media evaluada al 40% del 1RM en el test inicial. PwM 40%- 2= potencia media evaluada al 40% del 1RM en el retest; DS: desviación estándar; T-test (p) = valor de p en la prueba t-student; CCI, coeficiente correlación intraclase; IC 95%, intervalo de confianza del CCI al 95%; CV, coeficiente de variación; Min.: valor mínimo del CV; Max.: valor máximo del CV; EEM: error estándar de la medida (valor absoluto); MCD: mínimo cambio detectable (valor absoluto); MCD%: MCD expresado en porcentaje.

Tabla 7. Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 50% del 1RM en el ejercicio *leg extension*.

Variable	Media±DS	T-test (p)	CCI	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MCD	MCD (%)
PwM 50%-1 (W)	214.61±70.54	0.000	0.875	0.785-0.927	0.096	0.075	0.003	0.296	26.24	72.74	32.96
PwM 50%-2 (W)	226.80±77.83										

PwM 50%-1 = potencia media evaluada al 50% del 1RM en el test inicial. PwM 50%- 2= potencia media evaluada al 50% del 1RM en el retest; DS: desviación estándar; T-test (p) = valor de p en la prueba t-student; CCI, coeficiente correlación intraclase; IC 95%, intervalo de confianza del CCI al 95%; CV, coeficiente de variación; Min.: valor mínimo del CV; Max.: valor máximo del CV; EEM: error estándar de la medida (valor absoluto); MCD: mínimo cambio detectable (valor absoluto); MCD%: MCD expresado en porcentaje.

Tabla 8. Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 60% del 1RM en el ejercicio *leg extension*.

Variable	Media±DS	T-test (p)	CCI	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MCD	MCD (%)
PwM 60%-1 (W)	232.93±74.15	0.000	0.905	0.839-0.944	0.083	0.064	0.001	0.293	24.31	67.38	28.33
PwM 60%-2 (W)	242.76±83.69										

PwM 60%-1 = potencia media evaluada al 60% del 1RM en el test inicial. PwM 60%- 2= potencia media evaluada al 60% del 1RM en el retest; DS: desviación estándar; T-test (p) = valor de p en la prueba t-student; CCI, coeficiente correlación intraclase; IC 95%, intervalo de confianza del CCI al 95%; CV, coeficiente de variación; Min.: valor mínimo del CV; Max.: valor máximo del CV; EEM: error estándar de la medida (valor absoluto); MCD: mínimo cambio detectable (valor absoluto); MCD%: MCD expresado en porcentaje.

Tabla 9. Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 70% del 1RM en el ejercicio *leg extension*.

Variable	Media±DS	T-test (p)	CCI	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MCD	MCD (%)
PwM 70%-1 (W)	234.21±76.00	0.000	0.863	0.77-0.917	0.101	0.081	0.001	0.311	28.64	79.38	33.49
PwM 70%-2 (W)	239.90±79.31										

PwM 70%-1 = potencia media evaluada al 70% del 1RM en el test inicial. PwM 70%- 2= potencia media evaluada al 70% del 1RM en el retest; DS: desviación estándar; T-test (p) = valor de p en la prueba t-student; CCI, coeficiente correlación intraclase; IC 95%, intervalo de confianza del CCI al 95%; CV, coeficiente de variación; Min.: valor mínimo del CV; Max.: valor máximo del CV; EEM: error estándar de la medida (valor absoluto); MCD: mínimo cambio detectable (valor absoluto); MCD%: MCD expresado en porcentaje.

Tabla 10. Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 80% del 1RM en el ejercicio *leg extension*.

Variable	Media±DS	T-test (p)	CCI	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MCD	MCD (%)
PwM 80%-1 (W)	214.44±76.93	0.000	0.839	0.737-0.903	0.130	0.109	0.001	0.452	33.17	91.94	41.64
PwM 80%-2 (W)	227.11±88.26										

PwM 80%-1 = potencia media evaluada al 80% del 1RM en el test inicial. PwM 80%- 2= potencia media evaluada al 80% del 1RM en el retest; DS: desviación estándar; T-test (p) = valor de p en la prueba t-student; CCI, coeficiente correlación intraclase; IC 95%, intervalo de confianza del CCI al 95%; CV, coeficiente de variación; Min.: valor mínimo del CV; Max.: valor máximo del CV; EEM: error estándar de la medida (valor absoluto); MCD: mínimo cambio detectable (valor absoluto); MCD%: MCD expresado en porcentaje.

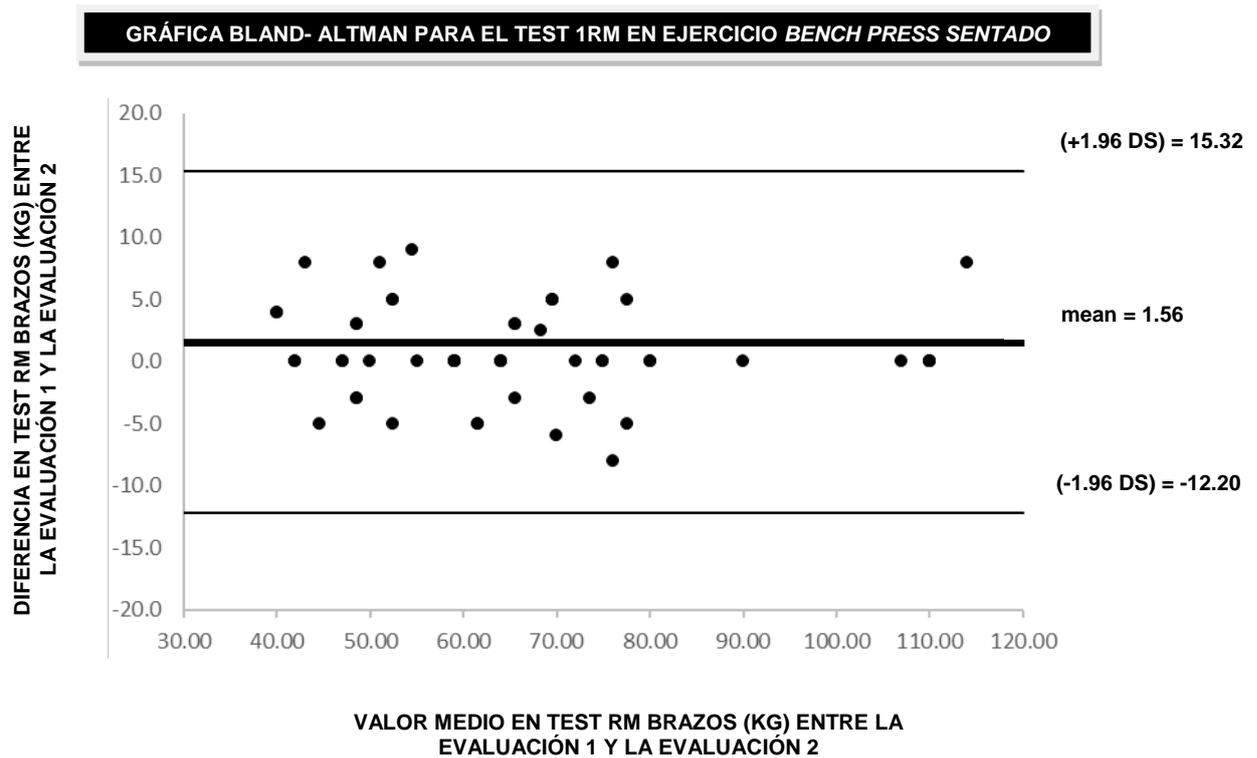
5.1.4 VALORES DE FUERZA MÁXIMA DINÁMICA EN FLEXORES DEL HOMBRO

Los valores obtenidos en la evaluación de la fuerza máxima dinámica (1RM) en el ejercicio *bench press sentado* se presentan en la tabla 11. Los resultados obtenidos de la confiabilidad inter-evaluación están representados en el gráfico Bland-Altman (gráfica 2). Para los grupos musculares de los brazos, el análisis indica los valores medios de las dos evaluaciones realizadas.

Tabla 11. Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la fuerza máxima dinámica en el ejercicio *bench press sentado*.

Variable	Media±DS	T-test (p)	CCI	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MCD	MCD (%)
1RM 1(kg)	66.15±19.48	0.000	0.938	0.897-0.964	0.052	0.154	0.000	1.157	5.04	13.96	21.36
1RM 2(kg)	64.59±21.10										

RM 1 = fuerza máxima dinámica en el ejercicio *bench press sentado* obtenida en el test inicial. RM 2= fuerza máxima dinámica en el ejercicio *bench press sentado* obtenida en el retest; DS: desviación estándar; T-test (p) = valor de p en la prueba t-student; CCI, coeficiente correlación intraclase; IC 95%, intervalo de confianza del CCI al 95%; CV, coeficiente de variación; Min.: valor mínimo del CV; Max.: valor máximo del CV; EEM: error estándar de la medida (valor absoluto); MCD: mínimo cambio detectable (valor absoluto); MCD%: MCD expresado en porcentaje.



Grafica 2. Gráfica Bland-Altman del límite de acuerdo (la línea superior muestra el límite superior; la línea inferior muestra el límite inferior) en las 2 evaluaciones de la fuerza máxima dinámica (1RM) en el ejercicio *bench press sentado*.

5.1.5 VALORES DE POTENCIA MUSCULAR EN FLEXORES DEL HOMBRO

Los valores obtenidos en la evaluación de la potencia muscular en el ejercicio *bench press sentado* se presentan en las tablas que se muestran a continuación (tabla 12 – tabla 17).

Tabla 12. Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 30% del 1RM en el ejercicio *bench press sentado*.

Variable	Media±DS	T-test (p)	CCI	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MCD	MCD (%)
PwM 30%-1 (W)	103.30±49.30	0.000	0.854	0.764-0.912	0.108	0.104	0.003	0.651	18.01	49.91	49.35
PwM 30%-2 (W)	99.00±45.18										

PwM 30%-1 = potencia media evaluada al 30% del 1RM en el test inicial. PwM 30%- 2= potencia media evaluada al 30% del 1RM en el retest; DS: desviación estándar; T-test (p) = valor de *p* en la prueba t-student; CCI, coeficiente correlación intraclass; IC 95%, intervalo de confianza del CCI al 95%; CV, coeficiente de variación; Min.: valor mínimo del CV; Max.: valor máximo del CV; EEM: error estándar de la medida (valor absoluto); MCD: mínimo cambio detectable (valor absoluto); MCD%: MCD expresado en porcentaje.

Tabla 13. Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 40% del 1RM en el ejercicio *bench press sentado*.

Variable	Media±DS	T-test (p)	CCI	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MCD	MCD (%)
PwM 40%-1 (W)	118.44±55.70	0.000	0.877	0.800-0.926	0.073	0.094	0.000	0.641	18.90	52.39	45.07
PwM 40%-2 (W)	114.06±52.44										

PwM 40%-1 = potencia media evaluada al 40% del 1RM en el test inicial. PwM 40%-2= potencia media evaluada al 40% del 1RM en el retest; DS: desviación estándar; T-test (p) = valor de *p* en la prueba t-student; CCI, coeficiente correlación intraclase; IC 95%, intervalo de confianza del CCI al 95%; CV, coeficiente de variación; Min.: valor mínimo del CV; Max.: valor máximo del CV; EEM: error estándar de la medida (valor absoluto); MCD: mínimo cambio detectable (valor absoluto); MCD%: MCD expresado en porcentaje.

Tabla 14. Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 50% del 1RM en el ejercicio *bench press sentado*.

Variable	Media±DS	T-test (p)	CCI	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MCD	MCD (%)
PwM 50%-1 (W)	123.94±59.19	0.000	0.897	0.831-0.938	0.076	0.083	0.001	0.536	18.56	51.43	41.76
PwM 50%-2 (W)	122.38±56.93										

PwM 50%-1 = potencia media evaluada al 50% del 1RM en el test inicial. PwM 50%-2= potencia media evaluada al 50% del 1RM en el retest; DS: desviación estándar; T-test (p) = valor de *p* en la prueba t-student; CCI, coeficiente correlación intraclase; IC 95%, intervalo de confianza del CCI al 95%; CV, coeficiente de variación; Min.: valor mínimo del CV; Max.: valor máximo del CV; EEM: error estándar de la medida (valor absoluto); MCD: mínimo cambio detectable (valor absoluto); MCD%: MCD expresado en porcentaje.

Tabla 15. Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 60% del 1RM en el ejercicio *bench press sentado*.

Variable	Media±DS	T-test (p)	CCI	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MCD	MCD (%)
PwM 60%-1 (W)	123.64±58.68	0.000	0.834	0.733-0.899	0.098	0.108	0.001	0.796	23.29	64.55	52.73
PwM 60%-2 (W)	121.20±56.10										

PwM 60%-1 = potencia media evaluada al 60% del 1RM en el test inicial. PwM 60%-2= potencia media evaluada al 60% del 1RM en el retest; DS: desviación estándar; T-test (p) = valor de *p* en la prueba t-student; CCI, coeficiente correlación intraclase; IC 95%, intervalo de confianza del CCI al 95%; CV, coeficiente de variación; Min.: valor mínimo del CV; Max.: valor máximo del CV; EEM: error estándar de la medida (valor absoluto); MCD: mínimo cambio detectable (valor absoluto); MCD%: MCD expresado en porcentaje.

Tabla 16. Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 70% del 1RM en el ejercicio *bench press sentado*.

Variable	Media±DS	T-test (p)	CCI	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MCD	MCD (%)
PwM 70%-1 (W)	118.09±57.74	0.000	0.747	0.602-0.843	0.101	0.120	0.001	0.796	26.16	72.50	63.80
PwM 70%-2 (W)	109.18±45.63										

PwM 70%-1 = potencia media evaluada al 70% del 1RM en el test inicial. PwM 70%-2= potencia media evaluada al 70% del 1RM en el retest; DS: desviación estándar; T-test (p) = valor de *p* en la prueba t-student; CCI, coeficiente correlación intraclase; IC 95%, intervalo de confianza del CCI al 95%; CV, coeficiente de variación; Min.: valor mínimo del CV; Max.: valor máximo del CV; EEM: error estándar de la medida (valor absoluto); MCD: mínimo cambio detectable (valor absoluto); MCD%: MCD expresado en porcentaje.

Tabla 17. Resultados de fiabilidad entre las dos evaluaciones de la potencia muscular al 80% del 1RM en el ejercicio *bench press* sentado.

Variable	Media±DS	T-test (p)	CCI	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MCD	MCD (%)
PwM 80%-1 (W)	105.92±54.96	0.000	0.689	0.523-0.805	0.118	0.130	0.000	0.917	27.13	75.19	73.53
PwM 80%-2 (W)	98.59±41.55										

PwM 80%-1 = potencia media evaluada al 80% del 1RM en el test inicial. PwM 80%- 2= potencia media evaluada al 80% del 1RM en el retest; DS: desviación estándar; T-test (p) = valor de *p* en la prueba t-student; CCI, coeficiente correlación intraclass; IC 95%, intervalo de confianza del CCI al 95%; CV, coeficiente de variación; Min.: valor mínimo del CV; Max.: valor máximo del CV; EEM: error estándar de la medida (valor absoluto); MCD: mínimo cambio detectable (valor absoluto); MCD%: MCD expresado en porcentaje.

5.2 RESULTADOS ESTUDIO 2

5.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MUESTRA

Los datos que caracterizan a la muestra sobre la que se ha realizado el estudio 2 se presentan en la tabla 18. En ella se muestra la cantidad total de sujetos que participaron tanto por edades, así como por sexo.

El total de los participantes que componen el estudio 2 es de 328 sujetos, de los cuales 138 son hombres y 190 son mujeres. En cifras porcentuales sobre el total de la muestra, las mujeres representan el 59% de los casos y los hombres el 41%.

Tabla 18. Distribución de la muestra por edades

Edad	N
9 años	54 (21 Hombres/33 Mujeres)
10 años	46 (14 Hombres/ 32 Mujeres)
11 años	48 (25 Hombres/ 23 Mujeres)
12 años	57 (29 Hombres/ 28 Mujeres)
13 años	46 (24 Hombres/ 22 Mujeres)
14 años	51(15 Hombres/ 36 Mujeres)
15 años	26 (10 Hombres/ 16 Mujeres)

A continuación, se presentan los datos característicos de la muestra total agrupados por edad, presentando los valores medios de altura, peso, índice de masa corporal, masa grasa y masa magra.

En Tabla 19 se presentan las características descriptivas de la muestra en función del sexo y de los distintos grupos de edad para las variables peso, talla, IMC, masa magra y masa grasa. Al estudiar las diferencias entre sexos en cada una de las variables por cada grupo de edad observamos que existen diferencias significativas entre hombres y mujeres en los grupos de 13, 14 y 15 años en el porcentaje de masa grasa y en el porcentaje de masa magra, siendo siempre superior el valor en el grupo de hombres respecto al obtenido en el grupo de mujeres.

Al estudiar las diferencias entre las personas de un mismo sexo en cada uno de los grupos de edad observamos que en la variable peso corporal los hombres de 9, 10 y 11 años presentan un valor significativamente menor cuando se comparan sus valores con los valores obtenidos por sus iguales de 13, 14 y 15 años indistintamente. Al analizar los resultados de esta variable en los grupos de mujeres, observamos que las mujeres de 9 y 10 años presentan un valor significativamente menor cuando se comparan sus valores con los valores obtenidos por sus iguales de 12, 13, 14 y 15 años indistintamente. De igual forma, también se ha observado que las mujeres de los grupos de edad de 9, 10, 11 y 12 años presentan un valor significativamente menor cuando se comparan sus valores con los valores obtenidos por sus iguales de 14 y 15 años indistintamente.

Tabla 19. Características generales de la muestra (media \pm SD).

Grupo	Sexo	N	Peso (kg)	Talla (cm)	IMC (kg /m ²)	Grasa (kg)	% Grasa	Magro (kg)	% Magro
9 años	H	21	35,6 \pm 7,8	137,0 \pm 5,3	18,8 \pm 3,1	7,2 \pm 4,2	19,3 \pm 8,4	28,4 \pm 5,7	80,6 \pm 8,4
	M	33	33,1 \pm 7,5	135,5 \pm 6,4	17,9 \pm 3,3	10,1 \pm 16,6	28,1 \pm 44,7	25,6 \pm 3,3	79,3 \pm 9,2
	G	54	34,1 \pm 7,7	136,1 \pm 6,0	18,3 \pm 3,3	9,0 \pm 13,2	24,7 \pm 35,4	26,7 \pm 4,6	79,8 \pm 8,9
10 años	H	14	36,9 \pm 8,7	141,5 \pm 9,5	18,1 \pm 2,5	6,4 \pm 3,9	16,6 \pm 6,0	30,4 \pm 5,5	83,3 \pm 6,0
	M	32	34,0 \pm 8,2	140,5 \pm 6,2 ^a	17,1 \pm 3,2	6,6 \pm 4,8	18,0 \pm 8,1	26,7 \pm 6,0	79,8 \pm 15,2
	G	46	34,9 \pm 8,4	140,8 \pm 7,3	17,5 \pm 3,0	6,6 \pm 4,6	17,6 \pm 7,5	27,9 \pm 6,1	79,8 \pm 8,9
11 años	H	25	38,2 \pm 8,2	145,2 \pm 7,2 ^a	18,0 \pm 2,7	6,5 \pm 4,0	16,5 \pm 7,8	31,6 \pm 6,0	83,4 \pm 7,8
	M	23	38,9 \pm 10,5	145,9 \pm 7,3 ^{ab}	18,2 \pm 4,2	8,3 \pm 6,6	19,1 \pm 9,7	30,6 \pm 4,6 ^a	80,9 \pm 9,7
	G	48	38,6 \pm 9,3	145,6 \pm 7,2	18,1 \pm 3,5	7,4 \pm 5,5	17,7 \pm 8,8	31,2 \pm 5,4	82,2 \pm 8,8
12 años	H	29	50,9 \pm 12,5 ^{abc}	153,7 \pm 8,1 ^{abc}	20,9 \pm 5,6	10,3 \pm 7,0	18,7 \pm 8,5	40,7 \pm 7,3 ^{abc}	81,3 \pm 8,6
	M	28	44,3 \pm 8,9 ^{ab}	154,2 \pm 5,7 ^{abc}	18,5 \pm 2,7	9,2 \pm 5,1	19,6 \pm 7,5	35,1 \pm 4,8 ^{ab}	80,4 \pm 7,5
	G	57	47,7 \pm 11,4	154,0 \pm 7,0	19,7 \pm 4,6	9,8 \pm 6,2	19,1 \pm 8,0	38,0 \pm 6,8	80,9 \pm 8,0
13 años	H	24	52,6 \pm 14,4 ^{abc}	161,8 \pm 7,0 ^{abcd}	20,0 \pm 5,0	9,3 \pm 9,5	15,2 \pm 10,3	43,3 \pm 6,8 ^{abc}	84,7 \pm 10,3
	M	22	51,01 \pm 12,3 ^{abc}	158,0 \pm 5,9 ^{abc}	20,2 \pm 3,9	12,2 \pm 7,6	22,4 \pm 8,7*	38,7 \pm 5,7 ^{abc}	77,5 \pm 8,7*
	G	46	51,9 \pm 13,4	160,1 \pm 6,7	20,1 \pm 4,5	10,7 \pm 8,7	18,7 \pm 10,2	41,2 \pm 6,7	81,3 \pm 10,2
14 años	H	15	58,2 \pm 14,8 ^{abc}	164,0 \pm 6,5 ^{abcd}	21,4 \pm 4,4	10,9 \pm 9,5	16,6 \pm 10,0	47,2 \pm 6,6 ^{abcd}	83,3 \pm 10,0
	M	36	53,5 \pm 8,4 ^{abcd}	158,0 \pm 5,2 ^{abc}	21,4 \pm 3,3 ^{abc}	14,1 \pm 5,5 ^b	25,5 \pm 6,3*	39,3 \pm 3,5 ^{abcd}	74,4 \pm 6,3*
	G	51	54,9 \pm 10,8	159,8 \pm 6,3	21,4 \pm 3,7	13,2 \pm 7,0	22,9 \pm 8,5	41,7 \pm 5,9	77,0 \pm 8,5
15 años	H	10	62,6 \pm 11,3 ^{abc}	172,4 \pm 8,5 ^{abcde}	21,0 \pm 3,6	9,2 \pm 4,7	14,3 \pm 5,1	53,4 \pm 8,6 ^{abcde}	85,6 \pm 5,1
	M	16	55,7 \pm 10,7 ^{abcd}	160,5 \pm 5,7 ^{abcd}	22,9 \pm 6,5 ^{abcd}	14,9 \pm 6,9	25,6 \pm 6,6*	39,1 \pm 7,7 ^{abc}	71,4 \pm 13,7*
	G	26	58,4 \pm 11,3	165,1 \pm 9,0	22,2 \pm 5,6	12,7 \pm 6,7	21,2 \pm 8,2	4,7 \pm 10,6	76,9 \pm 13,1

Leyenda: IMC, índice de masa corporal; Grasa, masa grasa expresado en kilogramos; Magra, masa magra expresado en kilogramos; : * p \leq 0,05 = Diferencia Significativa entre sexos; a p \leq 0,05 = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 9 años; b p \leq 0,05 = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 10 años; c p \leq 0,05 = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 11 años; d p \leq 0,05 = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 12 años; e p \leq 0,05 = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 13 años; f p \leq 0,05 = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 14 años

En cuanto a la variable talla, se presentan diferencias significativas en los hombres de 9 años respecto a los grupos de edad comprendidos entre los 11 y los 15 años, siendo mayor el valor de estos últimos. También, se observa una diferencia significativa entre los grupos de edad de 10 y 11 años cuando se comparan con los resultados obtenidos por los grupos de 12 a 15 años, siendo también mayor el valor obtenidos por estos últimos. Al analizar esta variable en los grupos de las mujeres, observamos que las mujeres de 9, 10 y 11 años presentan un valor significativamente menor cuando se comparan con los obtenidos por sus iguales de 12, 13, 14 y 15 años.

En la variable IMC, al analizar los resultados de esta variable se observa solo en el grupo de mujeres de 9, 10 y 11 años valores significativamente menores cuando se comparan sus valores con los obtenidos por sus iguales de 14 y 15 años.

Al analizar las diferencias entre las personas de un mismo sexo en cada uno de los grupos de edad, observamos que en la variable masas magra (kg.) los hombres de 9, 10 y 11 años presentan valores significativamente menores cuando se comparan sus valores con los obtenidos por sus iguales de 12, 13, 14 y 15 años. Al estudiar esta variable en los grupos de mujeres, observamos que las de 9 y 10 años presentan un valor significativamente menor cuando se comparan sus valores con los obtenidos por sus iguales de 13, 14 y 15 años.

5.2.2 EVALUACIÓN DE LA FUERZA MÁXIMA DINÁMICA EN EXTENSORES DE RODILLA Y FLEXORES DE HOMBRO

En la tabla 20 se presentan los valores medios de las variables 1RM en el ejercicio *leg extension* y 1RM en el ejercicio *bench press sentado* por grupos de edad y por sexo.

Tabla 20. Valores de fuerza máxima dinámica (1 RM) manifestados durante el ejercicio de leg extension y bench press según el sexo y la edad (media \pm SD).

		1 RM Leg extension (kg)	1 RM Bench press sentado (kg)
9 años	H (21)	49,7 \pm 9,9	38.1 \pm 9.0
	M (33)	47,0 \pm 11,3	37.7 \pm 9.2
	G (54)	48,2 \pm 10,7	37,9 \pm 9,0
10 años	H (14)	53,0 \pm 11,2	45.2 \pm 10.3
	M (32)	41,8 \pm 9,9*	40.7 \pm 9.4
	G (46)	45,3 \pm 11,4	42,1 \pm 9,8
11 años	H (25)	51,1 \pm 9,3	52.5 \pm 6.0
	M (23)	47,6 \pm 10,8	56.6 \pm 13.8 ^{ab}
	G (48)	49,3 \pm 10,2	54,7 \pm 10,9
12 años	H (29)	64,9 \pm 17,1 ^{ac}	64.9 \pm 14.1 ^{ab}
	M (28)	55,9 \pm 18,9	62.3 \pm 15.1 ^{ab}
	G (57)	60,6 \pm 18,3	63,7 \pm 14,5
13 años	H (24)	77,2 \pm 12,5 ^{abcd}	66.7 \pm 11.9 ^{abc}
	M (22)	80,3 \pm 19,6 ^{abcd}	53.7 \pm 6.9 ^{ab*}
	G (46)	78,5 \pm 15,8	61,2 \pm 11,9
14 años	H (15)	80,0 \pm 15,3 ^{abcd}	77.2 \pm 21.4 ^{abcd}
	M (36)	85,3 \pm 17,6 ^{abcd}	58.4 \pm 13.4 ^{ab*}
	G (51)	83,8 \pm 17,0	64,5 \pm 18,5
15 años	H (10)	104,4 \pm 13,9 ^{abcdef}	92.6 \pm 21.9 ^{abcde}
	M (16)	88,8 \pm 16,3 ^{abcd}	58.5 \pm 12.1 ^{ab*}
	G (26)	95,2 \pm 17,0	71,5 \pm 23,3

* $p \leq 0,05$ = Diferencia Significativa entre sexos; a $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 9 años; b $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 10 años; c $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 11 años; d $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 12 años; e $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 13 años; f $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 14 años.

En esta tabla se observan diferencias significativas entre sexos en la extensión de rodilla solo en el grupo de 10 años, siendo superior el valor de los hombres respecto al de las mujeres. Sin embargo, en la variable 1RM *bench press sentado* se observan diferencias significativas entre sexos en los grupos de edad de 13,14 y 15 años, siendo siempre superior el valor en el grupo de hombres.

Al estudiar las diferencias entre las personas de un mismo sexo en cada uno de los grupos de edad observamos que en la variable 1RM en el ejercicio *leg extension* los valores de los grupos de edad de 13, 14 y 15 años son significativamente mayores al compararlos con los obtenidos por los grupos de edad 9, 10, 11 y 12 años en ambos sexos. Al analizar estas diferencias en la variable 1RM en el ejercicio *bench press sentado*, se observa que los valores obtenidos por los hombres de 14 y 15 años son significativamente mayores que

los obtenidos por los grupos de edad 9, 10, 11 y 12 años. Aunque también se observan diferencias cuando comparamos los valores obtenidos entre los grupos de edad de 11, 12, 13, 14 y 15 años con los de 9 y 10 en los hombres. Al analizar la variable de 1RM en el ejercicio *bench press sentado* en los grupos de mujeres de 9 y 10 años observamos que presentan un valor significativamente menor cuando se comparan sus valores con los valores obtenidos por sus iguales de 11, 12, 13, 14 y 15 años indistintamente.

5.2.3 EVALUACIÓN DE LA POTENCIA MUSCULAR EN EXTENSORES DE RODILLA

5.2.3.1 POTENCIA MEDIA

En la tabla 21 se presentan los datos de la variable potencia media por grupos de edad y por sexo en el ejercicio *leg extension* evaluados del 30% al 80% del 1RM. Al estudiar las diferencias entre sexos por cada grupo de edad observamos que existen diferencias significativas entre hombres y mujeres en los grupos de 10 y de 15 años en todos los porcentajes evaluados, siendo superior el valor en el grupo de hombres respecto al de las mujeres.

Tabla 21. Valores de potencia media en el ejercicio *leg extension* según el sexo y la edad (media \pm SD).

Grupo	Sexo	PwM 30% (W)	PwM 40% (W)	PwM 50% (W)	PwM 60% (W)	PwM 70% (W)	PwM 80% (W)
9 años	H (21)	89,5 \pm 31,4	105,0 \pm 36,5	124,0 \pm 43,4	131,2 \pm 46,1	127,4 \pm 48,6	110,5 \pm 42,4
	M (33)	84,6 \pm 19,3	106,1 \pm 23,4	122,2 \pm 26,6	128,4 \pm 27,1	130,1 \pm 28,8	119,1 \pm 29,0
	G (54)	87,0 \pm 25,7	105,6 \pm 30,2	123,1 \pm 35,3	129,8 \pm 37,1	128,8 \pm 39,2	115,0 \pm 35,9
10 años	H (14)	101,1 \pm 30,0	122,2 \pm 32,5	145,9 \pm 38,9	154,4 \pm 34,2	158,7 \pm 35,3	145,1 \pm 35,7
	M (32)	82,0 \pm 22,3*	102,9 \pm 22,5*	119,6 \pm 27,8*	129,0 \pm 28,2*	131,0 \pm 27,8*	119,5 \pm 26,4*
	G (46)	88,4 \pm 26,3	109,4 \pm 27,4	128,4 \pm 33,8	137,5 \pm 32,2	140,3 \pm 32,8	128,1 \pm 31,8
11 años	H (25)	116,1 \pm 26,7	144,9 \pm 27,4	167,0 \pm 33,3	181,1 \pm 33,4	177,2 \pm 45,4	176,1 \pm 43,0 ^a
	M (23)	117,9 \pm 31,1	140,0 \pm 39,4	160,5 \pm 40,2	172,6 \pm 40,9	170,2 \pm 47,9	161,8 \pm 61,3
	G (48)	117,1 \pm 28,8	142,3 \pm 34,1	163,6 \pm 36,9	176,6 \pm 37,4	173,5 \pm 46,3	168,2 \pm 53,7
12 años	H (29)	151,2 \pm 37,8 ^{ab}	189,6 \pm 42,1 ^{abc}	223,7 \pm 60,0 ^{abc}	248,5 \pm 70,9 ^{abc}	247,7 \pm 74,3 ^{abc}	222,3 \pm 57,4 ^{ab}
	M (28)	147,5 \pm 48,0 ^{abc}	179,7 \pm 57,4 ^{abc}	215,9 \pm 59,3 ^{abc}	239,1 \pm 69,0 ^{abc}	235,5 \pm 73,2 ^{abc}	218,1 \pm 74,8 ^{abc}
	G (57)	149,5 \pm 42,7	184,9 \pm 49,9	220,0 \pm 59,3	244,0 \pm 69,5	241,8 \pm 73,3	220,2 \pm 66,2
13 años	H (24)	178,4 \pm 41,5 ^{abc}	215,7 \pm 38,1 ^{abc}	253,0 \pm 53,8 ^{abc}	284,3 \pm 48,8 ^{abc}	300,1 \pm 55,8 ^{abcd}	286,2 \pm 48,3 ^{abcd}
	M (22)	170,7 \pm 43,2 ^{abc}	210,9 \pm 53,3 ^{abc}	239,0 \pm 49,1 ^{abc}	262,6 \pm 47,2 ^{abc}	284,9 \pm 58,8 ^{abc}	270,2 \pm 63,7 ^{abc}
	G (46)	175,1 \pm 41,9	213,6 \pm 44,8	247,0 \pm 51,7	274,9 \pm 48,8	293,5 \pm 56,9	279,2 \pm 55,4
14 años	H (15)	169,3 \pm 49,0 ^{abc}	227,0 \pm 58,9 ^{abc}	260,9 \pm 72,1 ^{abc}	289,1 \pm 61,8 ^{abc}	313,4 \pm 66,8 ^{abcd}	308,8 \pm 73,1 ^{abcd}
	M (36)	189,0 \pm 52,2 ^{abcd}	237,3 \pm 59,2 ^{abcd}	276,9 \pm 63,6 ^{abcd}	309,2 \pm 67,0 ^{abcd}	320,6 \pm 63,8 ^{abcd}	308,8 \pm 84,2 ^{abcd}
	G (51)	183,4 \pm 51,6	234,4 \pm 58,6	272,4 \pm 65,7	303,5 \pm 65,5	318,6 \pm 64,0	308,9 \pm 80,3
15 años	H (10)	266,8 \pm 64,5 ^{abcdef}	323,5 \pm 78,9 ^{abcdef}	365,1 \pm 94,2 ^{abcdef}	409,6 \pm 107,5 ^{abcdef}	434,0 \pm 89,8 ^{abcdef}	449,9 \pm 87,9 ^{abcdef}
	M (16)	190,4 \pm 53,1 ^{abcd*}	222,1 \pm 51,9 ^{abc*}	264,8 \pm 70,0 ^{abc*}	294,2 \pm 63,9 ^{abc*}	307,4 \pm 73,2 ^{abcd*}	292,4 \pm 74,7 ^{abcd*}
	G (26)	219,5 \pm 67,8	260,8 \pm 79,6	303,1 \pm 92,4	338,2 \pm 99,0	355,7 \pm 100,0	352,5 \pm 110,5

PwM = potencia media; * $p \leq 0,05$ = Diferencia Significativa entre sexos; a $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 9 años; b $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 10 años; c $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 11 años; d $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 12 años; e $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 13 años; f $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 14 años

Al estudiar las diferencias entre las personas de un mismo sexo en cada uno de los grupos de edad observamos que en la variable potencia media los valores de los hombres de 13, 14 y 15 años son significativamente mayores que los obtenidos por sus iguales de 9, 10 y 11 años en todos los porcentajes evaluados. Además, se observa que el grupo de 15 años tiene valores significativamente más altos que el resto de los grupos. Al comparar los valores de esta variable en el grupo de mujeres en función de la edad en cada uno de los porcentajes evaluados, observamos que las mujeres de 12, 13, 14 y 15 años presentan un valor significativamente mayor cuando se comparan sus valores con los obtenidos por sus iguales de 9, 10 y 11 años en todos los porcentajes evaluados.

5.2.3.2 POTENCIA MÁXIMA

En la tabla 22 se presentan los valores medios de la variable potencia máxima por grupos de edad y por sexo en el ejercicio *leg extension* evaluados del 30% al 80% del 1RM. Al estudiar las diferencias entre sexos en cada una de las variables por cada grupo de edad observamos que existen diferencias significativas entre hombres y mujeres en los grupos de 10 y 15 años en todos los porcentajes evaluados; siendo superior el valor en el grupo de hombres respecto al de las mujeres. Al comparar los resultados de los distintos grupos de edad en cada uno de los porcentajes en el grupo de los hombres observamos que, en los valores obtenidos por los grupos de 13, 14 y 15 años son significativamente mayores al compararlos con los obtenidos por los grupos de edad 9, 10, 11 años en todos los porcentajes evaluados.

Tabla 22. Valores de potencia máxima en el ejercicio *leg extension* según el sexo y la edad (media \pm SD).

Grupo	Sexo	Pwmx 30% (W)	Pwmx 40% (W)	Pwmx 50% (W)	Pwmx 60% (W)	Pwmx 70% (W)	Pwmx 80% (W)
9 años	H (21)	202,3 \pm 91,4	249,6 \pm 107,0	274,6 \pm 118,7	282,6 \pm 123,3	244,2 \pm 106,6	221,3 \pm 95,0
	M (33)	191,8 \pm 45,6	231,2 \pm 55,4	271,1 \pm 81,8	278,8 \pm 69,6	261,7 \pm 57,8	227,4 \pm 72,8
	G (54)	196,9 \pm 70,9	240,2 \pm 84,0	272,9 \pm 100,2	280,7 \pm 98,2	253,2 \pm 84,5	224,5 \pm 83,3
10 años	H (14)	244,6 \pm 81,1	282,5 \pm 91,4	322,1 \pm 99,3	355,6 \pm 88,0	322,1 \pm 83,4	288,8 \pm 79,4
	M (32)	183,4 \pm 56,8*	222,3 \pm 55,2*	264,3 \pm 64,1*	259,6 \pm 63,3*	252,1 \pm 69,6*	222,3 \pm 62,9*
	G (46)	203,8 \pm 71,1	242,4 \pm 73,9	283,6 \pm 81,1	291,6 \pm 84,8	275,5 \pm 80,6	244,5 \pm 74,8
11 años	H (25)	266,5 \pm 91,0	333,7 \pm 82,1	378,3 \pm 94,3	384,7 \pm 95,6	351,6 \pm 102,1	347,4 \pm 103,3
	M (23)	249,9 \pm 70,5	305,7 \pm 77,8	334,7 \pm 89,8	357,3 \pm 79,2b	331,4 \pm 87,6	295,2 \pm 108,1
	G (148)	257,6 \pm 80,0	318,6 \pm 80,1	354,9 \pm 93,3	370,0 \pm 87,1	340,8 \pm 93,9	318,6 \pm 107,9
12 años	H (29)	356,3 \pm 118,5 ^a	433,9 \pm 115,2 ^{ab}	502,5 \pm 145,2 ^{abc}	518,2 \pm 143,5 ^{abc}	499,1 \pm 155,8 ^{abc}	437,8 \pm 125,5 ^{ab}
	M (28)	345,4 \pm 119,4 ^{abc}	393,7 \pm 129,6 ^{ab}	445,2 \pm 122,4 ^{abc}	488,0 \pm 133,2 ^{abc}	456,8 \pm 142,0 ^{abc}	399,8 \pm 128,4 ^{abc}
	G (57)	351,1 \pm 118,0	414,6 \pm 122,9	474,9 \pm 136,6	503,7 \pm 138,2	478,4 \pm 149,3	418,5 \pm 127,2
13 años	H (24)	415,5 \pm 131,3 ^{abc}	500,3 \pm 107,2 ^{abc}	538,4 \pm 113,8 ^{abc}	585,3 \pm 98,4 ^{abc}	584,5 \pm 126,0 ^{abc}	538,0 \pm 113,2 ^{abc}
	M (22)	379,3 \pm 97,4 ^{abc}	442,4 \pm 100,4 ^{abc}	488,1 \pm 103,0 ^{abc}	524,9 \pm 86,7 ^{abc}	532,3 \pm 97,0 ^{abc}	485,5 \pm 95,8 ^{abc}
	G (46)	399,8 \pm 117,8	475,1 \pm 107,0	516,5 \pm 110,8	559,0 \pm 97,2	561,8 \pm 115,9	515,1 \pm 107,9
14 años	H (15)	417,1 \pm 166,6 ^{abc}	521,3 \pm 177,2 ^{abc}	587,6 \pm 182,4 ^{abc}	631,5 \pm 178,1 ^{abc}	630,1 \pm 163,5 ^{abc}	583,1 \pm 133,3 ^{abc}
	M (36)	423,6 \pm 126,3 ^{abc}	520,4 \pm 137,8 ^{abcd}	577,8 \pm 137,7 ^{abcd}	609,0 \pm 137,4 ^{abcd}	599,3 \pm 141,5 ^{abcd}	538,8 \pm 151,4 ^{abcd}
	G (51)	421,7 \pm 137,0	520,7 \pm 147,9	580,6 \pm 149,6	615,5 \pm 148,3	608,1 \pm 146,8	551,5 \pm 146,3
15 años	H (10)	693,7 \pm 228,8 ^{abcdef}	748,7 \pm 215,7 ^{abcdef}	832,6 \pm 211,5 ^{abcdef}	884,5 \pm 230,0 ^{abcdef}	876,9 \pm 213,0 ^{abcdef}	842,5 \pm 165,3 ^{abcdef}
	M (16)	452,7 \pm 142,0 ^{abcd*}	518,9 \pm 158,2 ^{abcd*}	550,9 \pm 153,5 ^{abc*}	588,0 \pm 108,2 ^{abc*}	572,5 \pm 133,7 ^{abc*}	532,2 \pm 133,4 ^{abcd*}
	G (26)	544,5 \pm 211,7	606,5 \pm 210,7	658,3 \pm 222,4	701,0 \pm 217,6	688,5 \pm 222,7	650,4 \pm 210,0

Pwmx = potencia máxima; * $p \leq 0,05$ = Diferencia Significativa entre sexos; a $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 9 años; b $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 10 años; c $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 11 años; d $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 12 años; e $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 13 años; f $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 14 años

Además, se observa que el grupo de 15 años de hombres tiene valores significativamente más altos que el resto de los grupos de su mismo sexo.

Al estudiar estos resultados entre las mujeres, observamos que las mujeres de 12, 13, 14 y 15 años presentan un valor significativamente mayor cuando se comparan sus valores con los valores obtenidos por sus iguales de 9, 10 y 11 años en todos los porcentajes evaluados.

5.2.3.3 FUERZA MEDIA

En la tabla 23 se presentan los datos de la variable fuerza media por grupos de edad y por sexo en el ejercicio *leg extension* evaluados del 30% al 80% de su 1RM. Al estudiar las diferencias entre sexos por cada grupo de edad observamos que existen diferencias significativas entre hombres y mujeres solo en el grupo de 15 años en todos los porcentajes evaluados; siendo superior el valor en el grupo de hombres respecto al de las mujeres.

Al estudiar las diferencias entre las personas de un mismo sexo en cada uno de los grupos de edad, observamos en la variable de fuerza media los valores de los hombres de 9, 10, 11 y 12 años presentan un valor significativamente menor cuando se comparan sus valores con los valores obtenidos por sus iguales de 14 y 15 años indistintamente en todos los porcentajes evaluados. Además, se observa que el grupo de 15 años tiene valores significativamente más altos que el resto de los grupos en los porcentajes del 40% al 80%.

Tabla 23. Valores de fuerza media en el ejercicio *leg extension* según el sexo y la edad (media \pm SD).

Grupo	Sexo	Fmd 30% (N)	Fmd 40% (N)	Fmd 50% (N)	Fmd 60% (N)	Fmd 70% (N)	Fmd 80% (N)
9 años	H (21)	139,7 \pm 32,9	149,5 \pm 29,7	190,4 \pm 40,6	224,5 \pm 47,7	265,7 \pm 57,8	301,06 \pm 67,1
	M (33)	142,0 \pm 37,3	152,0 \pm 36,4	191,1 \pm 48,6	229,3 \pm 52,1	269,1 \pm 64,7	301,91 \pm 75,5
	G (54)	112,0 \pm 26,8	150,8 \pm 32,9	190,8 \pm 44,3	227,0 \pm 49,4	267,5 \pm 60,7	301,5 \pm 70,6
10 años	H (14)	164,3 \pm 32,9	180,2 \pm 36,5	221,1 \pm 50,2	266,8 \pm 55,4	310,9 \pm 68,4	353,88 \pm 81,0
	M (32)	125,0 \pm 33,2*	160,5 \pm 34,4	195,3 \pm 44,2	241,1 \pm 48,9	281,1 \pm 59,0	314,34 \pm 71,0
	G (46)	123,5 \pm 28,3	167,1 \pm 35,9	204,0 \pm 47,2	249,7 \pm 51,9	291,1 \pm 63,0	327,5 \pm 75,7
11 años	H (25)	148,1 \pm 30,1	207,1 \pm 24,4 ^a	258,7 \pm 34,9 ^a	307,6 \pm 38,9 ^a	365,8 \pm 43,0 ^a	416,24 \pm 46,9 ^a
	M (23)	142,2 \pm 34,9	221,7 \pm 54,0 ^{ab}	279,9 \pm 67,3 ^{ab}	336,9 \pm 82,4 ^{ab}	391,4 \pm 93,7 ^{ab}	442,83 \pm 107,2 ^{ab}
	G (48)	164,5 \pm 32,3	215,0 \pm 43,1	270,1 \pm 55,2	323,4 \pm 66,9	379,6 \pm 75,0	430,9 \pm 85,8
12 años	H (29)	180,8 \pm 47,3 ^a	260,5 \pm 60,0 ^{abc}	328,4 \pm 70,7 ^{abc}	386,6 \pm 84,1 ^{abc}	444,2 \pm 78,1 ^{abc}	502,56 \pm 92,1 ^{abc}
	M (28)	142,4 \pm 30,4	272,2 \pm 63,3 ^{ab}	341,2 \pm 79,1 ^{ab}	407,5 \pm 93,3 ^{ab}	479,3 \pm 110,5 ^{ab}	542,60 \pm 130,6 ^{ab}
	G (57)	200,7 \pm 45,3	266,2 \pm 61,4	334,6 \pm 74,5	396,7 \pm 88,4	461,5 \pm 96,1	523,0 \pm 114,1
13 años	H (24)	193,2 \pm 32,2 ^{ac}	310,3 \pm 49,1 ^{abcd}	385,8 \pm 64,6 ^{abcd}	463,4 \pm 79,4 ^{abcd}	540,0 \pm 90,6 ^{abcd}	615,60 \pm 107,3 ^{abcd}
	M (22)	152,4 \pm 18,2	316,7 \pm 72,8 ^{abc}	396,1 \pm 90,1 ^{abc}	472,6 \pm 110,5 ^{abc}	552,8 \pm 126,2 ^{abc}	631,21 \pm 148,2 ^{abc}
	G (46)	235,8 \pm 46,9	313,1 \pm 59,8	390,3 \pm 75,9	467,5 \pm 93,0	545,6 \pm 106,3	622,4 \pm 125,2
14 años	H (15)	228,9 \pm 64,6 ^{abcd}	314,8 \pm 60,6 ^{abcd}	392,8 \pm 74,4 ^{abcd}	467,0 \pm 88,9 ^{abcd}	544,6 \pm 103,8 ^{abcd}	622,25 \pm 117,8 ^{abcd}
	M (36)	171,0 \pm 40,2 ^b	342,1 \pm 66,1 ^{abcd}	427,3 \pm 80,7 ^{abcd}	510,5 \pm 97,9 ^{abcd}	596,4 \pm 112,9 ^{abcd}	681,97 \pm 132,1 ^{abcd}
	G (51)	249,7 \pm 49,1	334,3 \pm 65,1	417,4 \pm 79,7	498,1 \pm 96,4	581,7 \pm 111,7	664,9 \pm 129,7
15 años	H (10)	281,4 \pm 60,9 ^{abcde}	427,8 \pm 50,6 ^{abcdef}	525,8 \pm 57,0 ^{abcdef}	637,1 \pm 65,9 ^{abcdef}	738,8 \pm 77,6 ^{abcdef}	834,65 \pm 85,1 ^{abcdef}
	M (16)	188,9 \pm 54,6 ^{abcd*}	344,7 \pm 69,1 ^{abcd*}	435,4 \pm 75,4 ^{abcd*}	516,2 \pm 100,6 ^{abcd*}	607,4 \pm 110,3 ^{abcd*}	690,27 \pm 128,0 ^{abcd*}
	G (26)	278,8 \pm 52,2	376,4 \pm 74,0	469,9 \pm 81,1	562,3 \pm 105,9	657,5 \pm 117,0	745,3 \pm 132,5

Fmd = fuerza media; * $p \leq 0,05$ = Diferencia Significativa entre sexos; a $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 9 años; b $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 10 años; c $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 11 años; d $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 12 años; e $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 13 años; f $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 14 años

Al comparar los valores de esta variable en el grupo de mujeres en función de la edad en cada uno de los porcentajes evaluados, observamos que las mujeres de 9 y 10 años presentan un valor significativamente menor cuando se comparan sus valores con los obtenidos por sus iguales de 11, 12, 13, 14 y 15 años en los porcentajes del 40% al 80% de su 1RM.

5.2.3.4 FUERZA MÁXIMA

En la tabla 24 se presentan los valores medios de la variable fuerza máxima por grupos de edad y por sexo en el ejercicio *leg extension* evaluados del 30% al 80% de su 1RM. Al estudiar las diferencias entre sexos en cada una de las variables por cada grupo de edad observamos que existen diferencias significativas entre hombres y mujeres solo en el grupo de 15 años en los porcentajes del 30% al 60% de su 1RM evaluado; siendo superior el valor en el grupo de hombres respecto al de las mujeres.

Al comparar los resultados de los distintos grupos de edad en cada uno de los porcentajes en el grupo de hombres, observamos en los valores obtenidos por los grupos de 9 y 10 años presentan un valor significativamente menor cuando se comparan sus valores con los valores obtenidos por sus iguales de 13, 14 y 15 años en los porcentajes del 50% al 80% de su 1RM. Además, se observa que el grupo de 15 años tiene valores significativamente más altos del 50% al 80% que el resto de los grupos. Al estudiar estos resultados entre las mujeres, observamos que las mujeres de 9, 10, y 11 años presentan un valor significativamente menor cuando se comparan sus valores con los valores obtenidos por sus iguales de 13, 14 y 15 años en los porcentajes del 40% al 70% del 1RM.

Tabla 24. Valores de fuerza máxima en el ejercicio *leg extension* según el sexo y la edad (media \pm SD).

Grupo	Sexo	Fmx 30% (N)	Fmx 40% (N)	Fmx 50% (N)	Fmx 60% (N)	Fmx 70% (N)	Fmx 80% (N)
9 años	H (21)	293,8 \pm 96,5	354,9 \pm 152,9	388,4 \pm 184,3	412,0 \pm 167,7	450,2 \pm 177,4	485,2 \pm 184,6
	M (33)	282,0 \pm 83,2	305,9 \pm 56,6	377,3 \pm 139,7	384,3 \pm 120,8	413,5 \pm 103,0	463,3 \pm 118,3
	G (54)	287,8 \pm 89,0	329,8 \pm 115,3	382,8 \pm 160,9	397,9 \pm 144,3	431,4 \pm 143,4	474,0 \pm 152,6
10 años	H (14)	330,7 \pm 107,4	386,9 \pm 136,7	394,6 \pm 107,4	487,4 \pm 136,3	524,2 \pm 174,1	560,8 \pm 161,1
	M (32)	245,5 \pm 62,5*	319,8 \pm 83,8	351,9 \pm 97,4	381,0 \pm 98,1	442,1 \pm 138,1	438,2 \pm 110,3
	G (46)	273,9 \pm 88,7	342,2 \pm 107,4	366,2 \pm 101,4	416,5 \pm 121,5	469,5 \pm 153,7	479,1 \pm 140,0
11 años	H (25)	339,8 \pm 80,4	425,1 \pm 109,6	489,1 \pm 95,9	536,5 \pm 135,8	649,1 \pm 182,1	674,6 \pm 194,0
	M (23)	318,4 \pm 78,7	395,4 \pm 99,8	458,9 \pm 103,8	532,0 \pm 151,5	598,1 \pm 174,5	690,7 \pm 259,6
	G (48)	328,3 \pm 79,2	409,1 \pm 104,2	472,9 \pm 100,1	534,1 \pm 142,7	621,7 \pm 177,6	683,6 \pm 229,8
12 años	H (29)	406,8 \pm 114,0 ^a	538,4 \pm 199,0 ^a	622,6 \pm 191,0 ^{ab}	738,0 \pm 297,0 ^a	731,0 \pm 193,0 ^a	834,4 \pm 326,9 ^a
	M (28)	396,9 \pm 104,4 ^{ab}	467,5 \pm 120,0 ^{ab}	585,8 \pm 164,4 ^{ab}	663,6 \pm 210,1 ^{ab}	759,2 \pm 263,0 ^{ab}	864,5 \pm 312,0 ^{ab}
	G (57)	402,1 \pm 108,6	504,3 \pm 168,1	604,9 \pm 178,0	702,3 \pm 259,2	744,9 \pm 228,3	849,8 \pm 316,6
13 años	H (24)	455,8 \pm 105,3 ^{ac}	603,6 \pm 146,0 ^{abc}	650,3 \pm 124,1 ^{ab}	821,6 \pm 287,2 ^{abc}	1043,3 \pm 528,5 ^{abcd}	1012,7 \pm 372,5 ^{abc}
	M (22)	419,1 \pm 102,9 ^{ab}	554,8 \pm 168,6 ^{abc}	648,2 \pm 173,5 ^{abc}	738,9 \pm 174,1 ^{abc}	863,9 \pm 207,9 ^{abc}	1010,6 \pm 322,4 ^{ab}
	G (46)	439,9 \pm 104,6	582,4 \pm 156,1	649,5 \pm 145,6	785,6 \pm 245,2	965,1 \pm 425,1	1011,8 \pm 347,1
14 años	H (15)	453,6 \pm 176,3 ^a	585,5 \pm 189,6 ^a	705,3 \pm 292,9 ^{ab}	840,5 \pm 331,4 ^{ab}	908,4 \pm 393,3 ^{ab}	922,0 \pm 257,8 ^{ab}
	M (36)	469,4 \pm 123,3 ^{abc}	589,6 \pm 133,5 ^{abcd}	766,2 \pm 262,9 ^{abcd}	922,1 \pm 307,3 ^{abcd}	984,4 \pm 290,6 ^{abcd}	1183,7 \pm 507,6 ^{abcd}
	G (51)	464,9 \pm 138,4	588,5 \pm 149,2	748,8 \pm 269,6	898,8 \pm 312,5	962,8 \pm 320,1	1109,0 \pm 463,1
15 años	H (10)	647,0 \pm 159,1 ^{abcdef}	795,0 \pm 187,7 ^{abcd}	1011,5 \pm 308,5 ^{abcdef}	1302,2 \pm 447,2 ^{abcdef}	1277,0 \pm 426,2 ^{abcdef}	1330,9 \pm 324,1 ^{abcdef}
	M (16)	445,7 \pm 146,2 ^{abc*}	577,0 \pm 156,0 ^{abc*}	690,8 \pm 170,6 ^{bc*}	785,5 \pm 182,9 ^{bc*}	990,7 \pm 419,0 ^{abc}	1084,1 \pm 424,0 ^{abc}
	G (26)	522,4 \pm 178,1	660,1 \pm 196,8	813,0 \pm 276,2	982,3 \pm 395,2	1099,8 \pm 435,0	1178,1 \pm 399,7

Fmx = fuerza máxima; * $p \leq 0,05$ = Diferencia Significativa entre sexos; a $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 9 años; b $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 10 años; c $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 11 años; d $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 12 años; e $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 13 años; f $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 14 años

5.2.3.5 VELOCIDAD MEDIA

En la tabla 25 se presentan los datos de la variable velocidad media por grupos de edad y por sexo en el ejercicio *leg extension* evaluados del 30% al 80% de su 1RM. Al estudiar las diferencias entre sexos por cada grupo de edad observamos que existen diferencias significativas entre hombres y mujeres de 11, 12 y 15 años en los porcentajes del 40% y 60% de su 1RM, siendo superior el valor en el grupo de hombres respecto al de las mujeres,

Al estudiar las diferencias entre las personas de un mismo sexo en cada uno de los grupos de edad, observamos en la variable de velocidad media de los hombres de 12, 13, 14 y 15 años presentan un valor significativamente mayor cuando se compara sus valores con los obtenidos por sus iguales de 9 años al 80% de su 1RM.

Al comparar los valores de esta variable en los grupos de mujeres en función de la edad en cada uno de los porcentajes evaluados, observamos que las mujeres de 14 años presentan un valor significativamente mayor cuando se comparan sus valores con los obtenidos por sus iguales de 10 y 11 años en los porcentajes evaluados del 50% y 60% de su 1RM.

Tabla 25. Valores de velocidad media en el ejercicio *leg extension* según el sexo y la edad (media \pm SD).

Grupo	Sexo	Vmd 30% (m/s)	Vmd 40% (m/s)	Vmd 50% (m/s)	Vmd 60% (m/s)	Vmd 70% (m/s)	Vmd 80% (m/s)
9 años	H (21)	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1
	M (33)	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,0	0,6 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1
	G (54)	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1
10 años	H (14)	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,0	0,6 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0
	M (32)	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0
	G (46)	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,6 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0
11 años	H (25)	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1
	M (23)	0,7 \pm 0,1*	0,6 \pm 0,1*	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0*	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0
	G (48)	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1
12 años	H (29)	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,0	0,6 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0 ^a
	M (28)	0,7 \pm 0,1*	0,6 \pm 0,1*	0,6 \pm 0,0*	0,5 \pm 0,0*	0,4 \pm 0,0*	0,4 \pm 0,0*
	G (57)	0,7 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0
13 años	H (24)	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,0	0,6 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0 ^a
	M (22)	0,7 \pm 0,0	0,6 \pm 0,0	0,6 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0*	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0
	G (46)	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,0	0,6 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0
14 años	H (15)	0,7 \pm 0,0	0,7 \pm 0,0	0,6 \pm 0,0	0,6 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0 ^a
	M (36)	0,7 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1 ^c	0,6 \pm 0,0 ^{bc}	0,5 \pm 0,0 ^{bc}	0,5 \pm 0,0 ^c	0,4 \pm 0,1
	G (51)	0,7 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,0	0,6 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,1
15 años	H (10)	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0 ^a
	M (16)	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,0*	0,6 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0*	0,5 \pm 0,0*	0,4 \pm 0,1*
	G (26)	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,1

Vmd = velocidad media; * p \leq 0,05 = Diferencia Significativa entre sexos; a p \leq 0,05 = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 9 años; b p \leq 0,05 = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 10 años; c p \leq 0,05 = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 11 años; d p \leq 0,05 = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 12 años; e p \leq 0,05 = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 13 años; f p \leq 0,05 = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 14 años

5.2.3.6 VELOCIDAD MÁXIMA

En la tabla 26 se presentan los valores medios de la variable velocidad máxima por grupos de edad y por sexo en el ejercicio *leg extension* evaluados del 30% al 80% de su 1RM. Al estudiar las diferencias entre sexos en cada una de las variables por cada grupo de edad observamos que existen diferencias significativas entre hombres y mujeres en los grupos de 11 y 12 años en los porcentajes del 50% y 60% de su 1RM; siendo superior el valor en el grupo de hombres respecto al de las mujeres.

Al comparar los resultados de los distintos grupos de edad en cada uno de los porcentajes en el grupo de hombres observamos los valores obtenidos por los grupos de 12, 13, 14 y 15 años son significativamente mayor cuando se compara sus valores con los obtenidos por sus iguales de 9 años al 70% de su 1RM.

Al estudiar este resultado entre las mujeres, observamos que las de 14 años presentan un valor significativamente mayor cuando se comparan sus valores con los valores obtenidos por sus iguales de 11 años del 50%, 60% y 70% de su 1RM.

Tabla 26. Valores de velocidad máxima en el ejercicio *leg extension* según el sexo y la edad (media \pm SD).

Grupo	Sexo	Vmx 30% (m/s)	Vmx 40% (m/s)	Vmx 50% (m/s)	Vmx 60% (m/s)	Vmx 70% (m/s)	Vmx 80% (m/s)
9 años	H (21)	1,3 \pm 0,2	1,1 \pm 0,2	1,0 \pm 0,2	0,8 \pm 0,2	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1
	M (33)	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,0	0,6 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1
	G (54)	1,3 \pm 0,2	1,1 \pm 0,2	1,0 \pm 0,2	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1
10 años	H (14)	1,2 \pm 0,2	1,1 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1
	M (32)	1,2 \pm 0,2	1,0 \pm 0,2	1,0 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1
	G (46)	1,2 \pm 0,2	1,1 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1
11 años	H (25)	1,3 \pm 0,3	1,2 \pm 0,1	1,0 \pm 0,2	0,9 \pm 0,2	0,8 \pm 0,2	0,7 \pm 0,2
	M (23)	1,2 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1*	0,8 \pm 0,1*	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1
	G (48)	1,2 \pm 0,2	1,1 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1
12 años	H (29)	1,3 \pm 0,2	1,2 \pm 0,2	1,1 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1 ^a	0,7 \pm 0,1
	M (28)	1,3 \pm 0,2	1,1 \pm 0,1*	1,0 \pm 0,1*	0,9 \pm 0,1*	0,8 \pm 0,1*	0,6 \pm 0,1*
	G (57)	1,3 \pm 0,2	1,2 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1
13 años	H (24)	1,3 \pm 0,3	1,2 \pm 0,2	1,1 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1 ^a	0,9 \pm 0,1 ^a	0,8 \pm 0,1
	M (22)	1,3 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1*	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1
	G (46)	1,3 \pm 0,2	1,2 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1
14 años	H (15)	1,3 \pm 0,2	1,3 \pm 0,2	1,1 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1 ^a	0,9 \pm 0,1 ^a	0,8 \pm 0,1 ^a
	M (36)	1,3 \pm 0,2	1,2 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1 ^c	0,9 \pm 0,1 ^c	0,8 \pm 0,1 ^c	0,7 \pm 0,1
	G (51)	1,3 \pm 0,2	1,2 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1
15 años	H (10)	1,5 \pm 0,2	1,3 \pm 0,2	1,2 \pm 0,2	1,0 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1 ^a	0,9 \pm 0,1 ^a
	M (16)	1,3 \pm 0,2	1,1 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1*	0,9 \pm 0,0	0,8 \pm 0,1*	0,7 \pm 0,1*
	G (26)	1,4 \pm 0,2	1,2 \pm 0,2	1,1 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1

Vmx = velocidad máxima; * $p \leq 0,05$ = Diferencia Significativa entre sexos; a $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 9 años; b $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 10 años; c $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 11 años; d $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 12 años; e $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 13 años; f $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 14 años

5.2.4 EVALUACIÓN DE LA POTENCIA MUSCULAR EN FLEXORES DEL HOMBRO

5.2.4.1 POTENCIA MEDIA

En la tabla 27 se presentan los valores medios de la variable potencia media por grupos de edad y por sexo en el ejercicio *bench press sentado* evaluados del 30% al 80% del 1RM. Al estudiar las diferencias entre sexos en cada una de las variables por cada grupo de edad observamos que existen diferencias significativas entre hombres y mujeres en los grupos de 12, 13, 14 y 15 años en todos los porcentajes evaluados; siendo superior el valor en el grupo de hombres respecto al de las mujeres.

Al comparar los resultados de los distintos grupos de edad en cada uno de los porcentajes en el grupo de hombres observamos que los valores obtenidos por los grupos de 9, 10 y 11 años son significativamente menores que los obtenidos por los grupos de 13, 14 y 15 años en todos los porcentajes evaluados. Además, se observa que el grupo de 15 años tiene valores significativamente más altos que el resto de los grupos.

Al estudiar estos resultados entre las mujeres, observamos que las de 13, 14 y 15 años presentan un valor significativamente mayor cuando se comparan sus valores con los obtenidos por sus iguales de 9 y 10 en los porcentajes del 50% al 80%. También se ha observado que en los valores de los grupos de 14 y 15 años son significativamente mayores cuando se compara sus resultados con los obtenidos en los grupos de 9, 10, 11 y 12 años en los porcentajes del 50% al 70%.

Tabla 27. Valores de potencia media en el ejercicio *bench press sentado* según el sexo y la edad (media \pm SD).

Grupo	Sexo	PwM 30% (W)	PwM 40% (W)	PwM 50% (W)	PwM 60% (W)	PwM 70% (W)	PwM 80% (W)
9 años	H (21)	60,3 \pm 19,7	70,8 \pm 20,8	77,2 \pm 20,0	79,7 \pm 20,3	81,5 \pm 24,5	69,5 \pm 21,9
	M (33)	50,4 \pm 14,3	60,7 \pm 16,3	66,9 \pm 16,0	69,8 \pm 16,5	67,3 \pm 15,2	61,5 \pm 17,9
	G (54)	55,1 \pm 17,6	65,6 \pm 19,0	71,8 \pm 18,6	74,6 \pm 18,9	74,3 \pm 21,3*	65,4 \pm 20,1
10 años	H (14)	71,4 \pm 15,4	77,9 \pm 17,8	86,0 \pm 20,4	88,7 \pm 17,9	86,4 \pm 16,6	73,5 \pm 14,0
	M (32)	51,2 \pm 12,6*	59,1 \pm 12,2*	64,3 \pm 13,7*	67,0 \pm 14,7*	68,1 \pm 15,4*	62,1 \pm 17,6
	G (46)	58,3 \pm 16,6	65,7 \pm 16,9	72,0 \pm 19,2	74,7 \pm 18,9	74,6 \pm 18,0	66,2 \pm 17,2
11 años	H (25)	69,4 \pm 17,3	83,2 \pm 20,2	92,4 \pm 20,4	96,0 \pm 21,9	92,7 \pm 21,7	82,3 \pm 19,2
	M (23)	66,5 \pm 18,8	73,9 \pm 21,5	82,9 \pm 22,3	83,7 \pm 28,4	81,2 \pm 30,0	75,3 \pm 26,0
	G (48)	67,9 \pm 18,0	78,3 \pm 21,2	87,4 \pm 21,8	89,4 \pm 26,1	86,6 \pm 26,9	78,7 \pm 23,1
12 años	H (29)	101,0 \pm 36,2 ^{ac}	118,2 \pm 44,3 ^{abc}	132,8 \pm 53,1 ^{abc}	136,4 \pm 55,1 ^{abc}	128,2 \pm 53,0 ^a	113,8 \pm 49,6 ^{ab}
	M (28)	72,2 \pm 23,1 ^{ab*}	85,1 \pm 26,9*	95,6 \pm 31,3 ^{ab*}	97,4 \pm 31,1 ^{ab*}	95,0 \pm 31,1*	85,4 \pm 26,2*
	G (57)	87,5 \pm 33,8	102,6 \pm 40,4	115,3 \pm 47,7	118,1 \pm 49,1	112,6 \pm 46,8	100,2 \pm 42,2
13 años	H (24)	107,6 \pm 24,1 ^{abc}	132,7 \pm 26,2 ^{abc}	144,3 \pm 26,6 ^{abc}	152,9 \pm 30,3 ^{abc}	145,4 \pm 32,0 ^{abc}	134,1 \pm 32,0 ^{abc}
	M (22)	72,6 \pm 19,7*	92,7 \pm 21,3 ^{ab*}	107,3 \pm 21,3 ^{ab*}	107,2 \pm 25,5 ^{ab*}	104,5 \pm 30,1 ^{ab*}	95,9 \pm 28,4 ^{ab*}
	G (46)	92,4 \pm 28,2	115,3 \pm 31,2	128,2 \pm 30,5	133,0 \pm 36,2	127,6 \pm 37,0	118,7 \pm 35,7
14 años	H (15)	132,3 \pm 46,0 ^{abc}	159,9 \pm 58,9 ^{abcd}	175,8 \pm 60,8 ^{abcd}	188,6 \pm 64,6 ^{abcd}	187,7 \pm 55,7 ^{abcd}	164,0 \pm 51,6 ^{abcde}
	M (36)	83,8 \pm 25,9 ^{ab*}	105,7 \pm 29,5*	120,9 \pm 30,2 ^{abcd*}	127,5 \pm 29,1 ^{abcd*}	124,4 \pm 32,9 ^{abcd*}	114,0 \pm 31,8 ^{abcd*}
	G (51)	98,9 \pm 40,0	122,6 \pm 47,6	138,0 \pm 48,8	146,5 \pm 51,3	144,2 \pm 50,4	130,3 \pm 45,4
15 años	H (10)	195,8 \pm 60,5 ^{abcdef}	248,6 \pm 73,0 ^{abcdef}	272,3 \pm 85,1 ^{abcdef}	284,1 \pm 82,4 ^{abcdef}	287,8 \pm 95,1 ^{abcdef}	281,2 \pm 90,8 ^{abcdef}
	M (16)	91,5 \pm 41,8 ^{abc*}	113,6 \pm 52,0 ^{abcd*}	125,5 \pm 52,8 ^{abcd*}	138,8 \pm 52,2 ^{abcd*}	129,5 \pm 58,2 ^{abcd*}	113,5 \pm 49,7 ^{abc*}
	G (26)	128,0 \pm 69,8	160,9 \pm 88,1	176,9 \pm 95,9	189,7 \pm 94,5	185,0 \pm 104,9	178,8 \pm 106,9

PwM = potencia media; * $p \leq 0,05$ = Diferencia Significativa entre sexos; a $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 9 años; b $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 10 años; c $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 11 años; d $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 12 años; e $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 13 años; f $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 14 años

5.2.4.2 POTENCIA MÁXIMA

En la tabla 28 se presentan los valores medios de la variable potencia máxima por grupos de edad y por sexo en el ejercicio *bench press sentado* evaluados del 30% al 80% de su 1RM. Al estudiar las diferencias entre sexos en cada una de las variables por cada grupo de edad observamos que existen diferencias significativas entre hombres y mujeres en los grupos de 12, 13, 14 y 15 años en todos los porcentajes evaluados; siendo superior el valor en el grupo de hombres respecto al de las mujeres.

Al comparar los resultados de los distintos grupos de edad en cada uno de los porcentajes en el grupo de hombres observamos que los valores obtenidos por los grupos de 9, 10 y 11 años son significativamente menores al compararlos con los obtenidos por los grupos de edad 14 y 15 años indistintamente en todos los porcentajes evaluados. Además, se observa que el grupo de 15 años tiene valores significativamente más altos que el resto de los grupos.

Al estudiar estos resultados entre las mujeres, observamos que las de 9 y 10 años presentan un valor significativamente menor cuando se comparan sus valores con los obtenidos por sus iguales de 14 y 15 años en todos los porcentajes evaluados.

Tabla 28. Valores de potencia máxima en el ejercicio *bench press sentado* según el sexo y la edad (media \pm SD).

Grupo	Sexo	Pwmx30% (W)	Pwmx40% (W)	Pwmx50% (W)	Pwmx60% (W)	Pwmx70% (W)	Pwmx80% (W)
9 años	H (21)	126,6 \pm 36,5	145,2 \pm 38,8	164,6 \pm 55,8	154,7 \pm 50,6	154,3 \pm 44,5	127,8 \pm 56,9
	M (33)	98,0 \pm 31,7*	115,0 \pm 33,9*	132,9 \pm 38,3*	130,3 \pm 35,4	122,4 \pm 40,9*	103,1 \pm 35,0
	G (54)	111,6 \pm 36,6	129,4 \pm 39,0	148,0 \pm 49,5	141,9 \pm 44,5	138,0 \pm 45,2	115,2 \pm 48,0
10 años	H (14)	133,1 \pm 32,2	148,8 \pm 40,1	161,3 \pm 39,9	163,9 \pm 29,4	150,2 \pm 29,9	130,8 \pm 28,3
	M (32)	99,3 \pm 28,1*	113,6 \pm 26,5*	132,1 \pm 34,0*	139,0 \pm 38,8	123,8 \pm 28,7*	105,9 \pm 27,9*
	G (46)	111,2 \pm 33,5	126,0 \pm 35,7	142,4 \pm 38,4	147,8 \pm 37,4	133,1 \pm 31,5	114,7 \pm 30,2
11 años	H (25)	143,7 \pm 36,3	162,0 \pm 45,5	177,1 \pm 41,4	182,8 \pm 48,3	164,4 \pm 40,3	141,9 \pm 34,4
	M (23)	127,5 \pm 35,5	140,2 \pm 36,9	154,5 \pm 38,5	159,9 \pm 50,4	148,3 \pm 51,4	127,6 \pm 43,7
	G (48)	135,0 \pm 36,4	150,3 \pm 42,1	165,0 \pm 41,0	170,6 \pm 50,2	155,8 \pm 46,8	134,4 \pm 39,8
12 años	H (29)	199,7 \pm 86,4 ^a	216,4 \pm 93,1 ^a	233,7 \pm 92,1	245,4 \pm 104,9 ^a	213,1 \pm 80,3	181,1 \pm 69,7
	M (28)	137,1 \pm 37,9 ^{ab*}	159,1 \pm 42,6 ^{ab*}	175,2 \pm 46,6 ^{b*}	176,0 \pm 45,6 ^{a*}	158,2 \pm 47,3*	137,3 \pm 45,0*
	G (57)	170,2 \pm 74,4	189,4 \pm 78,6	206,2 \pm 79,3	212,7 \pm 88,9	187,3 \pm 71,8	160,1 \pm 62,6
13 años	H (24)	192,6 \pm 42,8 ^a	222,0 \pm 49,5 ^a	254,2 \pm 54,5 ^{abc}	247,2 \pm 54,4 ^a	242,5 \pm 61,2 ^{abc}	207,5 \pm 50,3 ^{abc}
	M (22)	123,3 \pm 36,4*	157,1 \pm 28,3*	169,9 \pm 32,5*	168,7 \pm 35,7*	159,3 \pm 39,0*	148,6 \pm 35,0*
	G (46)	162,5 \pm 52,8	193,8 \pm 52,5	217,5 \pm 62,3	213,0 \pm 61,1	206,3 \pm 66,8	183,7 \pm 53,1
14 años	H (15)	246,9 \pm 88,1 ^{abc}	271,6 \pm 99,2 ^{abc}	295,4 \pm 98,9 ^{abc}	306,0 \pm 89,2 ^{abc}	286,0 \pm 79,8 ^{abc}	243,2 \pm 65,0 ^{abc}
	M (36)	147,9 \pm 44,4 ^{ab*}	175,2 \pm 45,7 ^{ab*}	191,3 \pm 47,1 ^{ab*}	204,8 \pm 52,2 ^{abc*}	198,6 \pm 57,4 ^{abc*}	177,5 \pm 45,2 ^{abcd*}
	G (51)	178,8 \pm 76,1	205,3 \pm 79,9	223,7 \pm 82,3	236,4 \pm 80,4	225,8 \pm 76,2	199,0 \pm 60,4
15 años	H (10)	387,3 \pm 133,8 ^{abcdef}	436,0 \pm 142,0 ^{abcdef}	448,0 \pm 142,7 ^{abcdef}	465,3 \pm 174,0 ^{abcdef}	454,2 \pm 174,2 ^{abcdef}	426,2 \pm 167,9 ^{abcdef}
	M (16)	163,9 \pm 84,8 ^{ab*}	187,3 \pm 97,4 ^{ab*}	199,0 \pm 90,1 ^{ab*}	210,2 \pm 84,8 ^{ab*}	198,0 \pm 91,9 ^{ab*}	172,1 \pm 73,3 ^{ab*}
	G (26)	242,1 \pm 148,9	274,4 \pm 164,8	286,2 \pm 162,6	299,5 \pm 172,3	287,7 \pm 175,0	270,9 \pm 171,4

Pwmx = potencia máxima; * $p \leq 0,05$ = Diferencia Significativa entre sexos; a $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 9 años; b $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 10 años; c $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 11 años; d $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 12 años; e $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 13 años; f $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 14 años

5.2.4.3 FUERZA MEDIA

En la tabla 29 se presentan los valores medios de la variable fuerza media por grupos de edad y por sexo en el ejercicio *bench press sentado* evaluados del 30% al 80% de su 1RM. Al estudiar las diferencias entre sexos en cada una de las variables por cada grupo de edad observamos que existen diferencias significativas entre hombres y mujeres en los grupos de 10, 12, 13, 14 y 15 años en los porcentajes del 40% al 80% del 1RM evaluados; siendo superior el valor en el grupo de hombres respecto al de las mujeres.

Al comparar los resultados de los distintos grupos de edad en cada uno de los porcentajes en el grupo de hombres observamos que los valores obtenidos por los grupos de 9, 10 y 11 años son significativamente menores al compararlos con los obtenidos por los grupos de edad 14 y 15 años indistintamente en todos los porcentajes evaluados. Además, se observa que el grupo de 15 años tiene valores significativamente más altos que el resto de los grupos.

Al estudiar estos resultados entre las mujeres, observamos que las mujeres de 9, 10, 11 y 12 años presentan un valor significativamente menor cuando se comparan sus valores con los obtenidos por sus iguales de 14 y 15 años indistintamente en todos los porcentajes evaluados de su 1RM.

Tabla 29. Valores de fuerza media en el ejercicio *bench press sentado* según el sexo y la edad (media \pm SD).

Grupo	Sexo	Fmd 30% (N)	Fmd 40% (N)	Fmd 50% (N)	Fmd 60% (N)	Fmd 70% (N)	Fmd 80% (N)
9 años	H (21)	109,6 \pm 25,1	189,7 \pm 37,4	234,0 \pm 47,0	279,2 \pm 52,9	329,3 \pm 63,5	373,7 \pm 72,6
	M (33)	115,5 \pm 28,6	186,5 \pm 50,4	233,5 \pm 58,7	280,1 \pm 68,9	315,8 \pm 64,7	359,4 \pm 77,4
	G (54)	141,0 \pm 34,9	188,1 \pm 44,2	233,8 \pm 52,8	279,7 \pm 61,1	322,4 \pm 63,7	366,4 \pm 74,5
10 años	H (14)	136,6 \pm 26,6	208,2 \pm 47,2	260,2 \pm 55,1	309,7 \pm 64,5	361,9 \pm 71,4	416,7 \pm 88,9
	M (32)	116,9 \pm 27,3*	167,4 \pm 43,0*	203,6 \pm 50,8*	248,3 \pm 58,2*	290,3 \pm 70,3*	323,5 \pm 83,1*
	G (46)	138,8 \pm 37,8	181,8 \pm 48,2	223,5 \pm 58,5	269,9 \pm 66,6	315,5 \pm 77,8	356,3 \pm 95,3
11 años	H (25)	157,1 ^a \pm 18,6	199,6 \pm 36,9	249,4 \pm 47,8	300,4 \pm 56,4	350,4 \pm 64,9	396,4 \pm 74,9
	M (23)	170,8 \pm 39,9 ^{ab}	185,2 \pm 47,3	233,2 \pm 55,1	278,4 \pm 62,6	330,3 \pm 74,1	372,6 \pm 87,0
	G (48)	145,0 \pm 32,5	191,9 \pm 42,9	240,7 \pm 51,9	288,6 \pm 60,2	339,6 \pm 69,9	384,0 \pm 81,4
12 años	H (29)	194,9 \pm 43,2 ^{abc}	243,4 \pm 63,6 ^a	303,1 \pm 78,6 ^a	363,8 \pm 95,3 ^a	426,2 \pm 108,9 ^a	479,0 \pm 126,7 ^a
	M (28)	206,9 \pm 47,5 ^{ab}	192,2 \pm 39,7*	240,2 \pm 46,2*	286,2 \pm 53,4*	336,3 \pm 65,0*	374,8 \pm 71,1*
	G (57)	162,7 \pm 44,3	219,3 \pm 59,2	273,5 \pm 72,1	327,2 \pm 87,0	383,9 \pm 100,8	429,0 \pm 115,5
13 años	H (24)	234,2 \pm 38,9 ^{abcd}	258,9 \pm 34,8 ^{ac}	327,6 \pm 43,5 ^{ac}	387,1 \pm 50,1 ^{ac}	454,1 \pm 59,2 ^{ac}	512,9 \pm 66,7 ^{ac}
	M (22)	237,8 \pm 56,8 ^{abc}	208,4 \pm 30,2*	262,2 \pm 37,7 ^{b*}	310,3 \pm 42,4*	366,1 \pm 50,5 ^{b*}	408,5 \pm 55,2*
	G (46)	175,5 \pm 33,7	236,9 \pm 41,2	299,1 \pm 52,2	353,7 \pm 60,3	415,8 \pm 70,5	470,6 \pm 80,5
14 años	H (15)	237,6 \pm 48,0 ^{abcd}	298,0 \pm 85,7 ^{abc}	369,7 \pm 105,1 ^{abc}	448,7 \pm 129,9 ^{abcd}	510,9 \pm 148,5 ^{abc}	590,7 \pm 165,0 ^{abcd}
	M (36)	254,5 \pm 49,4 ^{abcd}	232,5 \pm 55,6 ^{abcd*}	285,4 \pm 66,6 ^{abc*}	343,6 \pm 77,5 ^{abcd*}	401,4 \pm 89,7 ^{abcd*}	460,5 \pm 104,0 ^{abcd*}
	G (51)	189,0 \pm 55,4	252,9 \pm 72,3	311,6 \pm 88,6	376,3 \pm 107,3	435,5 \pm 120,9	503,0 \pm 139,5
15 años	H (10)	314,2 \pm 33,8 ^{abcdef}	383,0 \pm 79,5 ^{abcdef}	474,1 \pm 100,1 ^{abcdef}	572,7 \pm 129,4 ^{abcdef}	664,6 \pm 143,1 ^{abcdef}	750,8 \pm 163,9 ^{abcdef}
	M (16)	256,9 \pm 50,1 ^{abcd*}	250,6 \pm 60,2 ^{abcd*}	310,8 \pm 76,5 ^{abcd*}	370,3 \pm 89,1 ^{abcd*}	433,7 \pm 104,0 ^{abcd*}	492,8 \pm 130,1 ^{abcd*}
	G (26)	221,3 \pm 71,4	297,0 \pm 92,1	368,0 \pm 115,1	441,2 \pm 141,8	514,5 \pm 161,5	593,2 \pm 190,2

Fmd = fuerza media; * $p \leq 0,05$ = Diferencia Significativa entre sexos; a $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 9 años; b $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 10 años; c $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 11 años; d $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 12 años; e $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 13 años; f $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 14 años

5.2.4.4 FUERZA MÁXIMA

En la tabla 30 se presentan los valores medios de la variable fuerza máxima por grupos de edad y por sexo en el ejercicio *bench press sentado* evaluados del 30% al 80% de su 1RM. Al estudiar las diferencias entre sexos en cada una de las variables por cada grupo de edad observamos que existen diferencias significativas entre hombres y mujeres en los grupos de 12, 13, 14 y 15 años en todos los porcentajes evaluados; siendo superior el valor en el grupo de hombres respecto al de las mujeres.

Al comparar los resultados de los distintos grupos de edad en cada uno de los porcentajes en el grupo de hombres observamos que los valores obtenidos por los grupos de 9, 10, 11, 12 y 13 años son significativamente menores al compararlos con los obtenidos por el grupo de edad de 15 años en todos los porcentajes evaluados.

Al estudiar estos resultados entre las mujeres, observamos que las de 9, 10 y 11 años presentan un valor significativamente mayor cuando se comparan sus valores con los obtenidos por sus iguales de 14 y 15 años en los porcentajes del 40% al 80% de su 1RM.

Tabla 30. Valores de fuerza máxima en el ejercicio *bench press sentado* según el sexo y la edad (media \pm SD).

Grupo	Sexo	Fmx 30% (N)	Fmx 40% (N)	Fmx 50% (N)	Fmx 60% (N)	Fmx 70% (N)	Fmx 80% (N)
9 años	H (21)	263,3 \pm 54,7	320,9 \pm 69,4	372,3 \pm 79,0	417,9 \pm 101,3	508,0 \pm 127,6	513,2 \pm 130,2
	M (33)	256,8 \pm 59,4	294,9 \pm 79,0	352,1 \pm 92,4	387,7 \pm 89,5	425,8 \pm 106,5	444,0 \pm 106,0
	G (54)	259,9 \pm 56,6	307,3 \pm 74,9	361,8 \pm 85,8	402,1 \pm 95,3	465,9 \pm 123,0*	477,8 \pm 122,0
10 años	H (14)	290,1 \pm 61,3	349,4 \pm 107,0	390,5 \pm 102,4	469,4 \pm 122,8	526,9 \pm 100,4	528,4 \pm 107,6
	M (32)	257,9 \pm 72,3	283,8 \pm 56,8*	310,4 \pm 71,7*	343,7 \pm 65,5*	389,5 \pm 86,9*	414,5 \pm 93,5*
	G (46)	269,3 \pm 69,6	306,9 \pm 83,0	338,6 \pm 91,0	387,9 \pm 107,1	437,8 \pm 112,4	454,6 \pm 111,8
11 años	H (25)	266,5 \pm 51,2	352,8 \pm 73,9	420,7 \pm 106,5	453,2 \pm 111,1	506,9 \pm 117,1	528,0 \pm 116,6
	M (23)	266,1 \pm 63,8	303,8 \pm 56,8*	366,9 \pm 88,7	418,2 \pm 94,8	461,4 \pm 107,2	472,5 \pm 124,9
	G (48)	266,3 \pm 57,6	326,6 \pm 69,0	391,9 \pm 99,9	434,5 \pm 102,9	482,5 \pm 112,9	498,9 \pm 122,8
12 años	H (29)	334,2 \pm 115,9	438,0 \pm 143,6 ^a	483,9 \pm 148,2	595,8 \pm 201,9	630,9 \pm 200,2	660,5 \pm 230,3
	M (28)	274,1 \pm 53,8*	335,1 \pm 73,7*	383,5 \pm 78,5*	435,9 \pm 99,3*	476,2 \pm 112,5*	547,0 \pm 146,7*
	G (57)	305,9 \pm 96,1	389,5 \pm 126,2	436,6 \pm 129,7	520,4 \pm 179,5	558,0 \pm 180,9	606,1 \pm 201,2
13 años	H (24)	352,7 \pm 90,5	445,5 \pm 87,6 ^a	521,3 \pm 109,3 ^a	586,3 \pm 97,1	665,2 \pm 128,2	726,1 \pm 159,9 ^{ac}
	M (22)	266,4 \pm 53,8*	343,7 \pm 56,0*	417,1 \pm 71,4 ^{b*}	468,2 \pm 78,3 ^{b*}	522,8 \pm 96,6 ^{b*}	573,2 \pm 96,9*
	G (46)	315,1 \pm 87,3	401,2 \pm 90,5	475,9 \pm 107,2	534,9 \pm 106,3	603,2 \pm 134,7	664,2 \pm 156,1
14 años	H (15)	446,6 \pm 150,7 ^{abcd}	525,1 \pm 213,7 ^{abc}	632,5 \pm 227,6	712,7 \pm 283,8 ^{ac}	802,6 \pm 270,5 ^{abc}	913,1 \pm 410,6 ^{abcd}
	M (36)	292,2 \pm 81,4*	380,8 \pm 94,4 ^{abc*}	468,6 \pm 122,7 ^{abcd*}	529,3 \pm 132,9 ^{abcd*}	577,8 \pm 141,0 ^{abc*}	663,9 \pm 210,5 ^{abc*}
	G (51)	340,3 \pm 128,3	425,7 \pm 155,4	519,7 \pm 177,4	586,4 \pm 207,9	647,8 \pm 215,1	745,0 \pm 309,4
15 años	H (10)	522,1 \pm 161,8 ^{abcde}	678,7 \pm 176,8 ^{abcde}	857,6 \pm 298,8 ^{abcdef}	1111,8 \pm 660,3 ^{abcdef}	1006,5 \pm 267,6 ^{abcde}	1125,8 \pm 289,1 ^{abcde}
	M (16)	326,4 \pm 140,3*	407,0 \pm 164,1 ^{abc*}	485,4 \pm 148,5 ^{abc*}	556,0 \pm 153,8 ^{abcd*}	663,4 \pm 214,4 ^{abcd*}	724,0 \pm 287,9 ^{abc*}
	G (26)	394,9 \pm 172,8	502,1 \pm 211,1	615,7 \pm 274,4	750,6 \pm 476,1	783,5 \pm 282,6	880,3 \pm 344,8

Fmx = fuerza máxima; * $p \leq 0,05$ = Diferencia Significativa entre sexos; a $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 9 años; b $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 10 años; c $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 11 años; d $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 12 años; e $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 13 años; f $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 14 años

5.2.4.5 VELOCIDAD MEDIA

En la tabla 31 se presentan los valores medios de la variable velocidad media por grupos de edad y por sexo en el ejercicio *bench press sentado* evaluados del 30% al 80% de su 1RM. Al estudiar las diferencias entre sexos en cada una de las variables por cada grupo de edad observamos que existen diferencias significativas entre hombres y mujeres en los grupos de 13, 14 y 15 años en los porcentajes de 40% al 70% del 1RM evaluados; siendo superior el valor en el grupo de hombres respecto al de las mujeres.

Al comparar los resultados de los distintos grupos de edad en cada uno de los porcentajes en el grupo de los hombres observamos que los valores obtenidos por los grupos de 9, 10 y 11 años son significativamente menores al compararlos con los obtenidos por los grupos de edad 13, 14 y 15 años en los porcentajes del 30% al 70% del 1RM evaluados. Además, se observa en los grupos de 9, 10, 11 y 12 años tiene valores significativamente más bajo que en el grupo de 15 años.

Al estudiar estos resultados entre las mujeres, observamos que las mujeres de 9 y 10 años presentan un valor significativamente menor cuando se comparan sus valores con los valores obtenidos por sus iguales de 12, 13, 14 y 15 años en los porcentajes del 50% y 60% evaluados de su 1RM.

Tabla 31. Valores de velocidad media en el ejercicio *bench press sentado* según el sexo y la edad (media \pm SD).

Grupo	Sexo	Vmd 30% (m/s)	Vmd 40% (m/s)	Vmd 50% (m/s)	Vmd 60% (m/s)	Vmd 70% (m/s)	Vmd 80% (m/s)
9 años	H (21)	0,4 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,1 \pm 0,0
	M (33)	0,3 \pm 0,0*	0,3 \pm 0,0*	0,2 \pm 0,0*	0,2 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,1 \pm 0,0
	G (54)	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,1 \pm 0,0
10 años	H (14)	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,1 \pm 0,0
	M (32)	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0
	G (46)	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0
11 años	H (25)	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0
	M (23)	0,4 \pm 0,0 ^a	0,4 \pm 0,0 ^a	0,3 \pm 0,0 ^a	0,3 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0
	G (48)	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0
12 años	H (29)	0,5 \pm 0,0 ^{abc}	0,4 \pm 0,0 ^{ab}	0,4 \pm 0,0 ^{ab}	0,3 \pm 0,0 ^{ab}	0,3 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0
	M (28)	0,5 \pm 0,1 ^a	0,4 \pm 0,1 ^{ab}	0,3 \pm 0,0 ^{ab}	0,3 \pm 0,0 ^{ab}	0,2 \pm 0,0 ^a	0,2 \pm 0,0
	G (57)	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0
13 años	H (24)	0,5 \pm 0,0 ^{abc}	0,5 \pm 0,0 ^{abc}	0,4 \pm 0,0 ^{abc}	0,3 \pm 0,0 ^{abc}	0,3 \pm 0,0 ^{ab}	0,2 \pm 0,0 ^{ab}
	M (22)	0,5 \pm 0,0 ^{a*}	0,4 \pm 0,0 ^{a*}	0,4 \pm 0,0 ^{ab*}	0,3 \pm 0,0 ^{ab*}	0,2 \pm 0,0 ^{a*}	0,2 \pm 0,0
	G (46)	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0
14 años	H (15)	0,5 \pm 0,0 ^{abc}	0,5 \pm 0,0 ^{abc}	0,4 \pm 0,0 ^{abc}	0,4 \pm 0,0 ^{abc}	0,3 \pm 0,0 ^{abc}	0,2 \pm 0,0 ^{ab}
	M (36)	0,5 \pm 0,0 ^{a*}	0,4 \pm 0,0 ^{ab*}	0,4 \pm 0,0 ^{ab*}	0,3 \pm 0,0 ^{abc*}	0,3 \pm 0,0 ^{abc*}	0,2 \pm 0,0 ^a
	G (51)	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,2 \pm 0,0
15 años	H (10)	0,6 \pm 0,0 ^{abcde}	0,6 \pm 0,0 ^{abcde}	0,5 \pm 0,0 ^{abcde}	0,4 \pm 0,0 ^{abcd}	0,4 \pm 0,0 ^{abcde}	0,3 \pm 0,0 ^{abcdef}
	M (16)	0,4 \pm 0,0 [†]	0,4 \pm 0,0 ^{a*}	0,4 \pm 0,0 ^{ab*}	0,3 \pm 0,0 ^{ab*}	0,2 \pm 0,0 ^{a*}	0,2 \pm 0,0 [*]
	G (26)	0,56 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1

Vmd = velocidad media; * $p \leq 0,05$ = Diferencia Significativa entre sexos; a $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 9 años; b $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 10 años; c $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 11 años; d $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 12 años; e $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 13 años; f $p \leq 0,05$ = Dif, Sig, al comparar la muestra del mismo sexo de 14 años

5.2.4.6 VELOCIDAD MÁXIMA

En la tabla 32 se presentan los valores medios de la variable velocidad máxima por grupos de edad y por sexo en el ejercicio *bench press sentado* evaluados del 30% al 80% de su 1RM. Al estudiar las diferencias entre sexos en cada una de las variables por cada grupo de edad observamos que existen diferencias significativas entre hombres y mujeres en los grupos de 13, 14 y 15 años en los porcentajes del 30% al 70% de su 1RM; siendo superior el valor en el grupo de hombres respecto al de las mujeres.

Al comparar los resultados de los distintos grupos de edad en cada uno de los porcentajes en el grupo de hombres observamos que los valores obtenidos por los grupos de 9 y 10 años son significativamente menores al compararlos con los obtenidos por los grupos de edad 13, 14 y 15 años en los porcentajes del 30% al 60% del 1RM.

Al estudiar estos resultados entre las mujeres, observamos que las de 9 años presentan un valor significativamente menor cuando se comparan sus valores con los valores obtenidos por sus iguales de 14 y 15 años en los porcentajes del 40%, 50% y 60% evaluados de su 1RM.

Tabla 32. Valores de velocidad máxima en el ejercicio *bench press sentado* según el sexo y la edad (media \pm SD).

Grupo	Sexo	Vmx 30% (m/s)	Vmx 40% (m/s)	Vmx 50% (m/s)	Vmx 60% (m/s)	Vmx 70% (m/s)	Vmx 80% (m/s)
9 años	H (21)	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1
	M (33)	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,0*	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0*	0,2 \pm 0,0
	G (54)	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1
10 años	H (14)	0,6 \pm 0,0	0,6 \pm 0,0	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0
	M (32)	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,1
	G (46)	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0
11 años	H (25)	0,8 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0
	M (23)	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0
	G (48)	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0
12 años	H (29)	0,9 \pm 0,1 ^{ab}	0,7 \pm 0,1 ^{ab}	0,6 \pm 0,1 ^{ab}	0,5 \pm 0,1 ^b	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0
	M (28)	0,8 \pm 0,1 ^a	0,6 \pm 0,1 ^{a*}	0,6 \pm 0,1 ^{ab}	0,5 \pm 0,1 ^{ab}	0,4 \pm 0,1 ^a	0,3 \pm 0,0
	G (57)	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,3 \pm 0,0
13 años	H (24)	0,8 \pm 0,1 ^{ab}	0,7 \pm 0,1 ^{ab}	0,6 \pm 0,0 ^{ab}	0,5 \pm 0,0 ^{ab}	0,4 \pm 0,0 ^b	0,4 \pm 0,0
	M (22)	0,7 \pm 0,1*	0,6 \pm 0,0*	0,5 \pm 0,1 ^{a*}	0,4 \pm 0,1*	0,4 \pm 0,0*	0,3 \pm 0,0
	G (46)	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0
14 años	H (15)	0,9 \pm 0,1 ^{ab}	0,8 \pm 0,1 ^{ab}	0,6 \pm 0,1 ^{ab}	0,6 \pm 0,1 ^{ab}	0,5 \pm 0,0 ^{ab}	0,4 \pm 0,1
	M (36)	0,8 \pm 0,1 ^{a*}	0,6 \pm 0,1 ^{a*}	0,6 \pm 0,0 ^{ab*}	0,5 \pm 0,0 ^{ab*}	0,4 \pm 0,0 ^{ab*}	0,3 \pm 0,0 ^a
	G (51)	0,8 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,1
15 años	H (10)	1,1 \pm 0,1 ^{abcde}	1,0 \pm 0,1 ^{abcde}	0,8 \pm 0,1 ^{abcde}	0,7 \pm 0,1 ^{abc}	0,6 \pm 0,1 ^{abcd}	0,5 \pm 0,1 ^{abcd}
	M (16)	0,7 \pm 0,1*	0,6 \pm 0,1 ^{a*}	0,5 \pm 0,1 ^{a*}	0,5 \pm 0,1 ^{ab*}	0,4 \pm 0,1*	0,3 \pm 0,1*
	G (26)	0,8 \pm 0,2	0,7 \pm 0,2	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1

Vmx = velocidad máxima; * $p \leq 0,05$ = Diferencia Significativa entre sexos; a $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 9 años; b $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 10 años; c $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 11 años; d $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 12 años; e $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 13 años; f $p \leq 0,05$ = Dif. Sig. al comparar la muestra del mismo sexo de 14 años

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN

6. DISCUSIÓN

6.1 DISCUSIÓN ESTUDIO 1

El principal objetivo del estudio 1 fue observar la fiabilidad del test-retest de la fuerza máxima dinámica y de la potencia media en los ejercicios de *leg extension* y de *bench press sentado* en niños y adolescentes. Los principales resultados se presentan de las tablas 4 a la 10, donde se describe entre otros elementos, los resultados del CCI en cada una de las variables estudiadas.

Nuestros datos mostraron que la repetitividad de la evaluación del 1RM tanto en el ejercicio de *leg extension* como en el ejercicio *bench press sentado* fue muy buena, resultando valores de 0.960 para el ejercicio de la extremidad inferior y de 0.938 para el ejercicio de la extremidad superior. Son pocos los estudios sobre la fiabilidad del test-retest de 1RM en niños menores de 16 años pero nuestros datos sí parecen ser concordantes con lo que se ha descrito en las pocas referencias publicadas en grupos etarios similares. En este sentido, el trabajo de Meylan et al. (2015) estudió una muestra de 36 varones entre 11 y 15 años a las que evaluó la fuerza máxima dinámica de la extremidad inferior mediante el ejercicio *leg press*, obteniendo valores de CCI de 0.95 y de EEM de 6. En otro estudio con un objetivo similar (21 sujetos con edad media de los participantes de $10,4 \pm 1,2$ años), Faigenbaum et al., (1998) describió un CCI de 0.93 para el ejercicio de *leg press* ($77,2 \pm 26,2$ kg. – $83,6 \pm 27,2$ kg.) y de 0,98 para el ejercicio de *chest press* ($25,7 \pm 5,2$ kg. – $26,0 \pm 5,4$ kg.). Por otra parte, en una revisión sistemática reciente que analizó 32 artículos en poblaciones de 16 a 85 años, el CCI en el ejercicio de *leg extension* osciló entre 0,74 y 0,99, y en el ejercicio de *press de pecho* varió entre 0,96 y 0,99 (Grgic et al., 2020). Por tanto, y siendo conscientes de que estos resultados deben ser analizados con cautela debido a las diferencias metodológicas que existen entre los diferentes estudios citados, el empleo del test de 1RM para determinar la intensidad máxima de trabajo en niños sí parece ser una herramienta adecuada para prescribir entrenamiento de fuerza de forma precisa en esta población frente a otras alternativas, como por ejemplo, los test submáximos (Faigenbaum et al., 1998).

La repetitividad determinada para la evaluación de la potencia media a distintos porcentajes del 1RM (30% hasta 80%) en el ejercicio de *leg extension* varió de

"fiabilidad buena a excelente" (CCI: 0,839-0,905). Este dato fue mayor al mostrado en el ejercicio de *bench press sentado*, que si bien cualitativamente lo podemos situar en el mismo rango, el CCI en los distintos porcentajes evaluados osciló entre 0,689 y 0,897. Los estudios que analizan la repetibilidad de la potencia muscular en niños son limitados y en la mayoría de las ocasiones miden la repetitividad de la capacidad de salto como una estimación indirecta de la fuerza muscular, ya sea sola o en el contexto de otras pruebas físicas (Ayán-Pérez *et al.*, 2017; Gillen *et al.*, 2018). No hemos encontrado muchas referencias que nos permitan comparar nuestros datos con los reportados en otras investigaciones, sin embargo, en uno de los pocos estudios que plantean un objetivo parecido con una metodología similar, como es el trabajo de Meylan *et al.* (2015), sí se observó que los datos obtenidos son algo mejores que los nuestros. El trabajo citado midió la potencia en un ejercicio de prensa de piernas con cargas a diferentes porcentajes del peso corporal en 36 varones con un rango de edad entre 11 y 15 años de edad, obteniendo valores de CCI entre 0,92 y 0,96. La diferencia entre estos datos consideramos que podría ser explicada por dos tipos de factores, por un lado y principalmente, las diferencias procedimentales empleadas para llevar a cabo la evaluación de la variable objeto de estudio y, por otro lado, las diferencias en la muestra objeto de investigación, más homogénea y de menor tamaño la empleada por Meylan *et al.* (2015).

Además de proporcionar información sobre repetitividad, el CCI permite determinar el error aleatorio del método y el valor del mínimo cambio detectable para el cual los cambios observados entre las mediciones realizadas a lo largo del tiempo son genuinos y no es probable que sean atribuibles al azar del error inherente del método utilizado. En la prueba de 1RM encontramos un error aleatorio del método de 4,62 kg. para el ejercicio de *leg extension* y de 5,04 kg para el ejercicio de *bench press sentado*. La magnitud mínima de cambio que sería detectable en esta misma variable en el ejercicio *leg extension* fue de 12,82 kg, que se expresó como un porcentaje de 18,47% entre medidas sucesivas. En el ejercicio de *bench press sentado*, el MCD fue de 13,96 (21,36%), es decir, un poco mayor que el ejercicio de *leg extension*. Existen pocos estudios en los que se haga explícito el MCD de repetibilidad pero hemos recogido aquí las aportaciones realizadas por Santos *et al.* (2013), que realizó una investigación con veintiún niños sanos de entre 5 y 12 años para determinar la repetibilidad de la fuerza y la potencia de los flexores y extensores de rodilla en un dispositivo isocinético. Aunque los autores no presentaron el valor porcentual del MCD, nosotros, utilizando los valores proporcionados para los extensores de rodilla,

calculamos que el MDC expresado porcentualmente fue del 28% para el torque pico y del 36,4% para la potencia, es decir, valores superiores a los encontrados por nuestro estudio (Santos et al, 2013).

Con este estudio, además de analizar la repetibilidad y el MCD de la evaluación de la fuerza muscular y la potencia muscular en niños antes de la adolescencia, pretendemos subrayar la importancia práctica del estudio para evaluar de forma fiable estas manifestaciones de la fuerza por parte de los profesionales y a través de ello, obtener información sobre el estado actual de “nuestros deportistas”, prescribir de forma más precisa el entrenamiento de fuerza en niños y determinar si los cambios producidos en las variables son debidas a los efectos del entrenamiento o a errores en el la medición de la variable.

6.2 DISCUSIÓN ESTUDIO 2

El principal objetivo del estudio 2 fue conocer cómo evoluciona la fuerza máxima dinámica y la potencia muscular de los músculos extensores de la rodilla y de los músculos flexores del pecho a lo largo del periodo de crecimiento, reafirmando, como ya han puesto de manifiesto otros investigadores, que el rendimiento muscular medido a través de la fuerza máxima dinámica y de la potencia muscular se puede evaluar con éxito en niños y adolescentes (Fry *et al.*, 2015).

La fuerza muscular es un variable muy importante no solo como factor determinante del rendimiento físico de niños y adolescentes sin también como determinante de salud (Smith *et al.*, 2014). Además, se ha demostrado, no solo en esta investigación, que la fuerza muscular aumenta significativamente durante el periodo de crecimiento e independientemente del grupo muscular examinado (Gillen *et al.*, 2019).

De forma particular en esta investigación se ha observado que en la variable fuerza máxima dinámica, a partir de los 13 años, los varones muestran más rendimiento en el ejercicio *bench press sentado* que las mujeres, pudiéndose atribuir estas diferencias a la influencia hormonal (aumento en la producción de testosterona) producida durante la adolescencia en los varones, ya que la testosterona es un factor importante que influye en las diferencias de fuerza entre niños y niñas y puede contribuir a las diferencias de fuerza relacionadas con el sexo en distintas acciones físicas (Sale, 1989; Round *et al.*, 1999) En los grupos de menos edad no se han

detectado diferencias significativas en función del sexo, unos datos que concuerda con los descritos por Faigenbaum *et al.*, (2003) en una muestra de niños y niñas de 6 a 12 años de edad donde los valores medios en el *leg press* fueron de $17,8 \pm 7,9$ kg y en el *press de pecho sentado* fueron de $20,5 \pm 5,9$ kg en los niños; los valores medios en el *leg press* fue de $19,3 \pm 7,3$ kg y los valores medios en el *press de pecho sentado* fue $22,0 \pm 6,5$ kg en las niñas; y con los descritos por Milliken *et al.*, (2008) en una muestra de niños y niñas con edades comprendidas entre los 7 y los 12 años donde los valores medios fueron en el *leg press* de $62,9 \pm 19,4$ kg para los niños y $66,0 \pm 21,1$ kg para las niñas. Los valores medios para el *chest press* fueron de $21,0 \pm 5,5$ kg para los niños y $21,8 \pm 7,3$ kg para las niñas. Por otra parte, el hecho de no encontrar diferencias significativas sólidas en la musculatura de la extremidad inferior entre sexos consideramos que podría ser debido a que el uso de la musculatura de las extremidades inferiores es continuo durante las actividades de la vida diaria independientemente de la edad (ej. apoyo del peso corporal al caminar, transporte de la mochila escolar, correr, saltar...). Sin embargo, el uso de las extremidades superiores se limita predominantemente a acciones de precisión que soportan cargas relativamente bajas (Kern, Semmler and Enoka, 2001; Sinam *et al.*, 2015). Por tanto, esta podría ser la razón por la cual, a medida que aumenta el peso corporal, la fuerza muscular aumenta más en las extremidades inferiores que en las superiores y solo cuando ocurre el aumento hormonal anabólico, alrededor de la pubertad, es cuando el aumento de la fuerza muscular de las extremidades superiores se vuelve más significativo (Ramos *et al.*, 1998).

Por otra parte, ha quedado contrastado que a medida que aumenta la edad los valores de fuerza máxima dinámica van siendo mayores, apreciándose diferencias significativas entre los grupos de mayor edad (13-14-15 años) y los de menor edad (9-10-11-12 años). Trabajos similares, como el de Fry *et al.* (2015), describieron que en niños de entre 3 y 7 años las mejoras en el rendimiento relacionadas con la edad están más relacionadas con el aumento del tamaño corporal y, potencialmente, con un aumento del volumen muscular, que con el control neuromuscular. Sin embargo, los cambios en la fuerza muscular se vuelven más complejos a medida que los niños se acercan a la adolescencia, en este sentido, además de los cambios hormonales que acontecen en este periodo dando lugar a aumentos sustanciales de la fuerza (Round *et al.*, 1999), también se producen modificaciones a lo largo del crecimiento en los componentes estructural y neural del sistema muscular (ej. aumento de la coordinación neuromuscular, mejora del reclutamiento de unidades motoras (Cohen,

1988; Blimkie, 1989; Sale, 1989) lo que hace más complejo el estudio de estos cambios desde un único punto de vista.

Antes de iniciar la discusión referida a la potencia muscular, consideramos necesario destacar que el instrumento de medida utilizado en este trabajo para determinar los valores de potencia (transductor de posición lineal), no se emplea a menudo para la valoración de la fuerza dinámica en niños y adolescentes; razón por la cual nos será difícil analizar nuestros datos frente a otros estudios de investigación. Sin embargo, discutiremos nuestros datos con los pocos trabajos que han medido la potencia media tratando de acercarse a las edades de nuestro estudio con instrumentos de evaluación lo más similares posible.

La importancia de conocer la potencia mecánica producida en un ejercicio radica en que esta define el grado de eficiencia con la que el sistema neuromuscular actúa al realizar un movimiento específico, ya que expresa la cantidad de trabajo producido en un tiempo determinado y por ende es la llave como un componente integral para conocer el rendimiento muscular (Gutiérrez, 1999). Menciona Cronin and Sleivert, (2005) que la potencia media realizada durante un ejercicio es un índice de la eficiencia con la que la fuerza muscular se transmite mediante los segmentos corporales. Es por eso por lo que puede ser un indicador de la capacidad neuromuscular para realizar movimientos ante determinadas resistencias.

Al analizar la potencia media en el rango de resistencias externas empleadas (30% - 80% de 1RM), el mayor valor de potencia se alcanzó en torno al 60% del 1RM, una circunstancia ampliamente descrita en la bibliografía que aborda estas cuestiones en población adulta (Sayers, 2010) y que concuerda con lo descrito en población joven (Soriano, Suchomel and Marín, 2017). Sin embargo, nuestro dato contrasta con lo descrito por Orange *et al.*, (2019), quienes en el ejercicio de *bench press* y *back squat* observaron que el valor medio y pico de potencia se alcanzó con cargas inferiores a las observadas en nuestro trabajo (40% de 1RM). Esta disparidad puede ser en parte explicada porque, aunque los ejercicios examinados poseen algunas similitudes biomecánicas, la intención del movimiento empleado en el citado estudio puede alterar el perfil fuerza-velocidad del ejercicio (Newton *et al.*, 1997). Además, existen otras diferencias entre nuestro estudio y el citado de Orange *et al.* (2019) que dificultan la comparación directa de resultados (ej. características de la muestra, instrumentos de medida empleados, procedimiento de evaluación de la variable objeto de estudio...). Sin embargo, si ponemos en relación ambos trabajos, los datos

sí nos puede servir de guía para que la prescripción de ejercicio físico en esta población sea cada vez más precisa y, si se quiere trabajar con cargas próximas a la generación del mayor valor de potencia, se prescriban entrenamientos con intensidades cercanas a las cifras anteriormente citadas (entre el 40 y el 60% de 1RM).

Cuando analizamos las diferencias entre sexos en la variable potencia media, observamos como en la prueba de *leg extension* las diferencias solo son significativas en el grupo de 15 años, sin embargo, en la prueba de *bench press sentado* estas diferencias empiezan a observarse a una edad más temprana (a partir del grupo de edad 12 años). Una de las explicaciones que puede producir este fenómeno es el papel que la variable fuerza tiene en la manifestación de la potencia muscular. En este sentido, si analizamos los valores de fuerza dinámica máxima, vemos como el comportamiento descrito previamente tiende a replicarse, de modo que las diferencias entre la fuerza de hombres y de mujeres son más marcadas a edades tempranas en la extremidad superior que inferior por un aumento de la fuerza en los hombres. En este sentido, no se ha señalado de forma precisa porqué existen estas diferencias en el rendimiento muscular entre la parte superior e inferior del cuerpo en los niños (de forma genérica) durante el periodo de crecimiento, únicamente se ha planteado como hipótesis que estas diferencias puedan ser debidas a diferencias en el reclutamiento de unidades motoras (De Ste Croix, Deighan and Armstrong, 2003; Croix, 2007) y/o a un crecimiento acelerado de las piernas en proporción a la masa corporal (Nevill, 1994).

También hemos podido observar que, independientemente del ejercicio realizado, los adolescentes del grupo de 15 años manifiestan valores de potencia más altos en comparación con el resto de los grupos estudiados, una circunstancia que parece concordar con lo descrito por Fry et al. (2015), quienes hipotetizan que los aumentos en el reclutamiento de unidades motoras de umbral más alto (fibras tipos II) no se desarrollarían por completo hasta la infancia tardía o la pubertad. Lo cual podría proporcionar alguna justificación para describir el porqué de esta diferencia.

Respecto al comportamiento de la variable velocidad en cada una de las pruebas de potencia realizadas, observamos que esta se ha comportado de una forma lógica, según lo esperado y a lo descrito en investigaciones previas (Orange et al., 2018; Meylan et al., 2015), de manera que conforme se ha ido incrementando la resistencia externa a movilizar, la velocidad media del movimiento ha disminuido.

Finalmente, para una comprensión más adecuada de los resultados y de los análisis recogidos en esta memoria de investigación debemos tener en cuenta alguna de las principales limitaciones de este estudio. En primer lugar, debemos considerar que la evaluación se ha realizado únicamente sobre dos grupos de músculos, aunque estos grupos son probablemente los más importantes para las actividades de la vida diaria. Otra limitación importante, ajena al estudio, es que existe hasta la fecha muy pocos estudios que analicen la repetitividad de la fuerza máxima y de la potencia muscular en niños antes de la adolescencia y su evolución a lo largo del periodo de crecimiento. Finalmente, una tercera limitación de esta investigación es que no se ha obtenido la edad biológica de los participantes. Por todo ello, consideramos necesario seguir incrementando el conocimiento científico en torno a este objeto de estudio en este grupo poblacional.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos en el **Estudio 1** dirigido a evaluar la repetitividad de la fuerza máxima dinámica y de la potencia muscular en niños mexicanos de 9 a 15 años de edad, podemos concluir que:

En primer lugar, la repetitividad de la prueba de 1RM para el ejercicio *leg extension* y para el ejercicio *bench press sentado* fue excelente.

En segundo lugar, la repetitividad de la prueba de potencia muscular para el ejercicio de *leg extension* fue excelente.

En tercer lugar, la repetitividad de la prueba de potencia muscular para el ejercicio de *bench press sentado* fue buena.

En cuarto lugar, a pesar de la excelente repetibilidad del test anteriormente descrito, debe tenerse en cuenta que el MCD de la evaluación de la prueba 1RM para el ejercicio *leg extension* y de *bench press sentado* fue relativamente grande.

A la vista de los resultados obtenidos en el **Estudio 2** dirigido a estudiar cómo evolucionan las manifestaciones de la fuerza muscular a lo largo del periodo de crecimiento en niños mexicanos de 9 a 15 años de edad, podemos concluir que:

En primer lugar, el valor de fuerza máxima dinámica en el test 1RM en los ejercicios de *leg extension* y de *bench press sentado* es diferente según la edad de los sujetos, aumentando a lo largo del periodo de crecimiento y siendo este incremento más abrupto a partir de los 12 años de edad.

En segundo lugar, el valor de fuerza máxima dinámica en el test 1RM en el ejercicio de *leg extesion* no presenta diferencias significativas entre sexos a lo largo del periodo de crecimiento.

En tercer lugar, el valor de fuerza máxima dinámica en el test 1RM en el ejercicio de *bench press sentado* presenta diferencias significativas entre sexos a partir de los 13 años de edad.

En cuarto lugar, el valor de potencia media durante el test de potencia muscular en los ejercicios de *leg extension* y de *bench press sentado* es diferente según la edad de los sujetos, aumentando a lo largo del periodo de crecimiento y siendo este incremento más abrupto a partir de los 12 años de edad.

En quinto lugar, el valor máximo de potencia media durante el test de potencia muscular manifestado en los ejercicios de *leg extension* y de *bench press sentado* se alcanza entre las resistencias externas del 60% y del 70% del 1RM.

En sexto lugar, el valor de potencia media durante el test de potencia muscular en el ejercicio de *leg extesion* solo presenta diferencias significativas entre sexos en el grupo de edad de 15 años.

En séptimo lugar, el valor de potencia media durante el test de potencia muscular en el ejercicio de *bench press sentado* presenta diferencias significativas entre sexos a partir de los 12 años de edad.

CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA

- ACSM (2017) 'ACSM Sports Medicine Basics Youth Strength Training', *ACSM Sports Medicine Basics*. Available at: www.acsm.org.
- Afshin, A. *et al.* (2017) 'Health effects of overweight and obesity in 195 countries over 25 years', *New England Journal of Medicine*, 377(1), pp. 13–27. doi: 10.1056/NEJMoa1614362.
- Antony, B. *et al.* (2015) 'Association between childhood overweight measures and adulthood knee pain, stiffness and dysfunction: A 25-year cohort study', *Annals of the Rheumatic Diseases*. BMJ Publishing Group, 74(4), pp. 711–717. doi: 10.1136/annrheumdis-2013-204161.
- Arruda, G. A. De, Pianca, J. C. and de Oliveira, A. R. (2011) 'Correlation Between the 1RM Test and Maturational , Neuromotor , Anthropometric Aspects and Body Composition in Children and Adolescents', *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 17(3), pp. 179–183.
- Ayán-Pérez, C. *et al.* (2017) 'Reliability of Sargent Jump Test in 4- to 5-Year-Old Children', *Perceptual and Motor Skills*. SAGE Publications Inc., 124(1), pp. 39–57. doi: 10.1177/0031512516676174.
- Baceviciene, M., Jankauskiene, R. and Emeljanovas, A. (2019) 'Self-perception of physical activity and fitness is related to lower psychosomatic health symptoms in adolescents with unhealthy lifestyles', *BMC Public Health*. Springer Science and Business Media LLC, 19(1). doi: 10.1186/s12889-019-7311-2.
- Behm, D. G. *et al.* (2008) 'Canadian Society for Exercise Physiology position paper: resistance training in children and adolescents', *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(3), pp. 547–561. doi: 10.1139/h08-020.
- Behringer, M. *et al.* (2016) 'Effects of Strength Training on Motor Performance Skills in Children and Adolescents: A Meta-Analysis', *Pediatric Exercise Science*, 23(2), pp. 186–206. doi: 10.1123/pes.23.2.186.

- Benson, A. C., Torode, M. E. and Fiatarone Singh, M. A. (2008) 'The effect of high-intensity progressive resistance training on adiposity in children: A randomized controlled trial', *International Journal of Obesity*, 32(6), pp. 1016–1027. doi: 10.1038/ijo.2008.5.
- Bergeron, M. F. *et al.* (2015) 'International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development.', *British journal of sports medicine*, 49(13), pp. 843–51. doi: 10.1136/bjsports-2015-094962.
- Bhaskaran, K. *et al.* (2014) 'Body-mass index and risk of 22 specific cancers: A population-based cohort study of 5.24 million UK adults', *The Lancet*, 384(9945), pp. 755–765. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60892-8.
- Billeter, R. and Hoppeler, H. (2003) 'Biological Basis for Strength and Power', in *Strength and Power in Sport*. second edi, pp. 50–72.
- Blimkie, C. J. R. (1989) 'Age and sex associated variation in strength during childhood: Anthropometric, morphologic, neurologic, biomechanical, endocrinologic, and physical activity correlates.', in C.V. Gisolfi, & L. D. . (ed.) *Perspectives in exercise science and sports medicine*. Indianapolis: Benchmark, pp. 99–163.
- Boeckh-Behrens, W. . and Buskies, W. (2005) *Entrenamiento de la Fuerza*. I. Barcelona: Paidotribo.
- Brown, E. W. and Kimball, R. G. (1983) 'Medical history associated with adolescent powerlifting', *Pediatrics*. *Pediatrics*, 72(5), pp. 636–644.
- Burt, L. A. *et al.* (2013) 'Skeletal adaptations associated with pre-pubertal gymnastics participation as determined by DXA and pQCT: A systematic review and meta-analysis', *Journal of Science and Medicine in Sport*. *Sports Medicine Australia*, 16(3), pp. 231–239. doi: 10.1016/j.jsams.2012.07.006.
- Casas, A. G. *et al.* (2015) 'Nivel de condición física y su relación con el estatus de peso corporal en escolares', *Nutricion Hospitalaria*, 31(1), pp. 393–400. doi: 10.3305/nh.2015.31.1.8074.
- Cohen, J. (1988) *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences Second Edition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Courteix, D. *et al.* (1999) 'Skull bone mass deficit in prepubertal highly-trained gymnast girls', *International Journal of Sports Medicine*. Int J Sports Med, 20(5), pp. 328–333. doi: 10.1055/s-2007-971139.
- Croix, M. D. S. (2007) 'Advances in paediatric strength assessment : changing our perspective on strength development', *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(September), pp. 292–304.
- Cronin, J. B., Hing, R. D. and McNair, P. J. (2004) 'Reliability and validity of a linear position transducer for measuring jump performance', *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), pp. 590–593. doi: 10.1519/1533-4287(2004)18<590:RAVOAL>2.0.CO;2.
- Cronin, J. and Sleivert, G. (2005) 'Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance', *Sports Medicine*. Sports Med, pp. 213–234. doi: 10.2165/00007256-200535030-00003.
- Degache, F. *et al.* (2010) 'The relationship between muscle strength and physiological age: A cross-sectional study in boys aged from 11 to 15', *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. Elsevier Masson SAS, 53(3), pp. 180–188. doi: 10.1016/j.rehab.2010.02.001.
- Delorme, T. L. (1945) 'Restoration of muscle power by heavy-resistance exercise', *Journal of Bone and Joint Surgery*, 27(4), pp. 645–667.
- Demantova Gurjao, A. L. *et al.* (2005) 'Variação da força muscular em testes repetitivos de 1-RM em crianças pré-púberes', *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 11(6), pp. 319–324. doi: 10.1590/S1517-86922005000600003.
- Dumith, S. C. *et al.* (2011) 'Physical activity change during adolescence: A systematic review and a pooled analysis', *International Journal of Epidemiology*, 40(3), pp. 685–698. doi: 10.1093/ije/dyq272.
- Eek, M. N., Kroksmark, A. K. and Beckung, E. (2006) 'Isometric Muscle Torque in Children 5 to 15 Years of Age: Normative Data', *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. Arch Phys Med Rehabil, 87(8), pp. 1091–1099. doi: 10.1016/j.apmr.2006.05.012.

- Ervin, R. B. *et al.* (2014) 'Strength and body weight in US children and adolescents', *Pediatrics*. American Academy of Pediatrics, 134(3), pp. e782–e789. doi: 10.1542/peds.2014-0794.
- Faigenbaum, A. D. *et al.* (1999) 'The effects of different resistance training protocols on muscular strength and endurance development in children.', *Pediatrics*. Pediatrics, 104(1). doi: 10.1542/peds.104.1.e5.
- Faigenbaum, A. D. *et al.* (2009) 'Youth Resistance Training: Updated Position Statement Paper From the National Strength and Conditioning Association', *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5 Suppl), pp. S60–S79. doi: 10.1519/JSC.0b013e31819df407.
- Faigenbaum, A. D., Lloyd, R. S. and Myer, G. D. (2013) 'Resistance Training: Past practices, new perspectives, and future directions.', *Pediatric Exercise Science*, 25(4), pp. 591–604. doi: 10.1123/pes.24.4.591.
- Faigenbaum, A. D. and McFarland, J. E. (2016) *RESISTANCE TRAINING FOR KIDS Right from the Start Learning Objectives*. Available at: www.acsm-healthfitness.org (Accessed: 12 November 2019).
- Faigenbaum, A. D., Milliken, L. and Westcott, W. (2003) 'Maximal Strength Testing in Healthy Children', *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1)(October 2003), pp. 162–166. doi: 10.1519/1533-4287(2003)017<0162.
- Faigenbaum, A. D. and Myer, G. D. (2010) 'Pediatric resistance training: Benefits, concerns, and program design considerations', *Current Sports Medicine Reports*, 9(3), pp. 161–168. doi: 10.1249/JSR.0b013e3181de1214.
- Faigenbaum, A. and Myer, G. (2012) 'Resistance training among young athletes: safety, efficacy and injury prevention effects', *Br J Sports Med*, 44(1), pp. 56–63. doi: 10.1136/bjism.2009.068098.Resistance.
- Fernandez-Gonzalo, R. *et al.* (2010) 'Comparison of technical and physiological characteristics of prepubescent soccer players of different ages', *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(7). doi: 10.1519/JSC.0b013e3181def871.

- Fröhlich, M., Pieter, A., Gießing, J., Klein, M., Strack, A., Felder, H., Sandig, D., Blischke, K., Stening, J., Emrich, E., & Schmidtbleicher, D. (2010) 'Entrenamiento de la fuerza de niños y adolescentes: estado actual de la cuestión', *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 24(January), pp. 5–16. Available at: https://www.researchgate.net/publication/233894415_Entrenamiento_de_la_fuerza_de_ninos_y_adolescentes_estado_actual_de_la_cuestion.
- Fry, A. C. *et al.* (2015) 'Muscular strength and power in 3- To 7-year-old children', *Pediatric Exercise Science*. Human Kinetics Publishers Inc., 27(3), pp. 345–354. doi: 10.1123/pes.2014-0152.
- García-Hermoso, A., Ramírez-Campillo, R. and Izquierdo, M. (2019) 'Is Muscular Fitness Associated with Future Health Benefits in Children and Adolescents? A Systematic Review and Meta-Analysis of Longitudinal Studies', *Sports Medicine*. Springer International Publishing, pp. 1079–1094. doi: 10.1007/s40279-019-01098-6.
- Gillen, Z. M. *et al.* (2018) 'Reliability and sensitivity of the power push-up test for upper-body strength and power in 6-15-year-old male athletes', *Journal of Strength and Conditioning Research*. NSCA National Strength and Conditioning Association, 32(1), pp. 83–96. doi: 10.1519/JSC.0000000000002313.
- Gillen, Z. M. *et al.* (2019) 'Muscle strength, size, and neuromuscular function before and during adolescence', *European Journal of Applied Physiology*. Springer Verlag, 119(7), pp. 1619–1632. doi: 10.1007/s00421-019-04151-4.
- Gómez-Bruton, A. *et al.* (2017) 'Plyometric exercise and bone health in children and adolescents: a systematic review', *World Journal of Pediatrics*, 13(2), pp. 112–121. doi: 10.1007/s12519-016-0076-0.
- Gonzales-Badillo, J. and Izquierdo, M. (2013a) 'Fuerza muscular: concepto y tipos de acciones musculares', in *Fisiología del ejercicio*. 3a edn. Madrid, España: Panamericana.
- Gonzales-Badillo, J. and Izquierdo, M. (2013b) 'Valoración de la fuerza', in Lopez-Chicharro, J. and Fernandez-Vaquero, A. (eds) *Fisiología del ejercicio*. 3a edn. Madrid, España: Panamericana.

- González, J. J. and Gorostíaga, E. (2002) *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo*. Barcelona: INDE.
- Grgic, J. et al. (2020) 'Test–Retest Reliability of the One-Repetition Maximum (1RM) Strength Assessment: a Systematic Review', *Sports Medicine - Open*. Springer. doi: 10.1186/s40798-020-00260-z.
- Gunter, K. B., Almstedt, H. C. and Janz, K. F. (2012) 'Physical activity in childhood may be the key to optimizing lifespan skeletal health', *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 40(1), pp. 13–21. doi: 10.1097/JES.0b013e318236e5ee.
- Hind, K. and Burrows, M. (2007) 'Weight-bearing exercise and bone mineral accrual in children and adolescents: A review of controlled trials', *Bone*, 40(1), pp. 14–27. doi: 10.1016/j.bone.2006.07.006.
- Hüter-Becker, A., Schewe, H. and Heipertz, W. (2006) 'Fisiología y teoría del entrenamiento', in. Badalona España: Paidotribo.
- Izquierdo, M. (2008) 'Evaluación de la fuerza en el control del entrenamiento y el rendimiento deportivo', in *Biomecánica y Bases neuromusculares de la actividad física y el deporte*. Madrid, España: Panamericana, p. 784.
- Kemper, H. C. G. and Van Mechelen, W. (1996) 'Physical fitness testing of children: A European perspective', *Pediatric Exercise Science*. Human Kinetics Publishers Inc., pp. 201–214. doi: 10.1123/pes.8.3.201.
- Kenney, W., Wilmore, J. and Costill, D. (2014a) 'Adaptaciones al entrenamiento con sobrecarga', in *Fisiología del deporte y el Ejercicio*. 5a edn. Editorial médica panamericana, p. 227.
- Kenney, W., Wilmore, J. and Costill, D. (2014b) 'Niños y adolescentes en el deporte y el ejercicio', in *Fisiología del deporte y el Ejercicio*. 5a edn. Human Kinetics, p. 575.
- Kenney, W., Wilmore, J. and Costill, D. (2014c) 'Principios del entrenamiento', in *Fisiología del deporte y el Ejercicio*. 5a edn. Editorial médica panamericana, p. 575.

- Kern, D. S., Semmler, J. G. and Enoka, R. M. (2001) 'Long-term activity in upper- and lower-limb muscles of humans', *Journal of Applied Physiology*. American Physiological Society, 91(5), pp. 2224–2232. doi: 10.1152/jappl.2001.91.5.2224.
- Komi, P. V (2003) *STRENGTH AND POWER IN SPORT*. second edi. Wiley-Blackwell.
- Lang, J. J., Larouche, R. and Tremblay, M. S. (2019) 'The association between physical fitness and health in a nationally representative sample of Canadian children and youth aged 6 to 17 years.', *Health promotion and chronic disease prevention in Canada : research, policy and practice*, 39(3), pp. 104–111. doi: 10.24095/hpcdp.39.3.02.
- Legerlotz, K. *et al.* (2016) 'Physiological Adaptations following Resistance Training in Youth Athletes - A Narrative Review', *Pediatric Exercise Science*. doi: 10.1123/jsep.2015-0220.
- Lloyd, R. S. *et al.* (2014) 'Position statement on youth resistance training: The 2014 International Consensus', *British Journal of Sports Medicine*, 48(7), pp. 498–505. doi: 10.1136/bjsports-2013-092952.
- Lloyd, R. S. *et al.* (2016) 'National Strength and Conditioning Association Position Statement on Long-Term Athletic Development', *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), pp. 1491–1509. Available at: https://journals.lww.com/nsca-jscr/fulltext/2016/06000/National_Strength_and_Conditioning_Association.1.aspx.
- Lopes, V. P. *et al.* (2011) 'Motor coordination as predictor of physical activity in childhood', *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21(5), pp. 663–669. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.01027.x.
- McGuigan, M. R. *et al.* (2009) 'Eight weeks of resistance training can significantly alter body composition in children who are overweight or obese', *School of Exercise, Biomedical and Health Sciences*, 23, pp. 80–85.

- Meylan, C. M. P. *et al.* (2015) 'The reliability of isoinertial force–velocity–power profiling and maximal strength assessment in youth', *Sports Biomechanics*. Routledge, 14(1), pp. 68–80. doi: 10.1080/14763141.2014.982696.
- De Miguel-Etayo, P. *et al.* (2014) 'Physical fitness reference standards in European children: The IDEFICS study', *International Journal of Obesity*. Nature Publishing Group, 38, pp. S57–S66. doi: 10.1038/ijo.2014.136.
- Milliken, L. A. *et al.* (2008) 'Correlates of upper and lower body muscular strength in children', *Journal of Strength and Conditioning Research*. NSCA National Strength and Conditioning Association, 22(4), pp. 1339–1346. doi: 10.1519/JSC.0b013e31817393b1.
- Myer, G. D. *et al.* (2011) 'When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sport-related injuries in youth?', *Curr Sports Med Rep.*, 10(3), pp. 155–166. doi: 10.1016/j.biotechadv.2011.08.021.Secreted.
- Myer, G. D. *et al.* (2013) 'Exercise deficit disorder in youth: A paradigm shift toward disease prevention and comprehensive care', *Current Sports Medicine Reports*, 12(4), pp. 248–255. doi: 10.1249/JSR.0b013e31829a74cd.
- Myers, A. M., Beam, N. W. and Fakhoury, J. D. (2017) 'Resistance training for children and adolescents', 6(1), pp. 137–143. doi: 10.21037/tp.2017.04.01.
- Nevill A.M. (1994) 'Evidence of an increasing proportion of leg muscle mass to body mass in male adolescents and its implication on performance.', in *J Sports Sci*.
- Newton, R. U. *et al.* (1997) 'Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements', *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 75(4), pp. 333–342. doi: 10.1007/s004210050169.
- OMS | Datos y cifras sobre obesidad infantil (2017). Available at: <https://www.who.int/end-childhood-obesity/facts/es/> (Accessed: 27 November 2019).

- OMS *Recomendaciones mundiales sobre la actividad física para la salud* (2013). Available at: https://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_recommendations/es/#:~:text=Los niños y jóvenes de 5 a 17 años inviertan, en su mayor parte%2C aeróbica.
- Orange, S. T. *et al.* (2019) 'Validity and Reliability of a Wearable Inertial Sensor to Measure Velocity and Power in the Back Squat and Bench Press', *Journal of strength and conditioning research*. NLM (Medline), 33(9), pp. 2398–2408. doi: 10.1519/JSC.0000000000002574.
- Ortega, F. B. *et al.* (2008) 'Los adolescentes físicamente activos presentan una mayor probabilidad de tener una capacidad cardiovascular saludable independientemente del grado de adiposidad. The European Youth Heart Study', *Revista Espanola de Cardiologia*. Ediciones Doyma, S.L., 61(2), pp. 123–129. doi: 10.1157/13116199.
- Ortega, F. B. *et al.* (2011) 'Physical fitness levels among European adolescents: The HELENA study', *British Journal of Sports Medicine*. BMJ Publishing Group, 45(1), pp. 20–29. doi: 10.1136/bjism.2009.062679.
- Parry, D. A. *et al.* (2016) 'A meta-analysis of maturation-related variation in adolescent boy athletes' adaptations to short-term resistance training', *Journal of Sports Sciences*, 35(11), pp. 1041–1051. doi: 10.1080/02640414.2016.1209306.
- Pate, R. R. *et al.* (1993) 'Validity of field tests of upper body muscular strength', *Research Quarterly for Exercise and Sport*. Res Q Exerc Sport, 64(1), pp. 17–24. doi: 10.1080/02701367.1993.10608774.
- Ramírez-Velez, R. *et al.* (2017) 'Normative reference of standing long jump for colombian schoolchildren aged 9-17.9 years: The fuprecol study', *Journal of Strength and Conditioning Research*. NSCA National Strength and Conditioning Association, 31(8), pp. 2083–2090. doi: 10.1519/JSC.0000000000001633.

- Ramos, E. *et al.* (1998) 'Muscle strength and hormonal levels in adolescents: Gender related differences', *International Journal of Sports Medicine*. Georg Thieme Verlag, 19(8), pp. 526–531. doi: 10.1055/s-2007-971955.
- Redondo-Tébar, A. *et al.* (2019) 'Associations between health-related quality of life and physical fitness in 4-7-year-old Spanish children: the MOVIKIDS study.', *Quality of life research: an international journal of quality of life aspects of treatment, care and rehabilitation*, 28(7), pp. 1751–1759. doi: 10.1007/s11136-019-02136-6.
- Rosa-Guillamón, A. and García-Cantó, E. (2017) 'Relación entre fuerza muscular y otros parámetros de la condición física en escolares de primaria', *SPORT TK-Revista EuroAmericana de Ciencias del Deporte*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, 6(1), p. 107. doi: 10.6018/280511.
- Round, J. M. *et al.* (1999) 'Hormonal factors in the development of differences in strength between boys and girls during adolescence: A longitudinal study', *Annals of Human Biology*. Taylor and Francis Ltd, 26(1), pp. 49–62. doi: 10.1080/030144699282976.
- Sale, D. G. (1989) 'Strength training in children', in *Perspectives in exercise science and sports medicine*. Benchmark Press, Indianapolis: Gisolfi & Lamb, pp. 165–222.
- Dos Santos Cunha, G. *et al.* (2015) 'Physiological adaptations to resistance training in prepubertal boys', *Research Quarterly for Exercise and Sport*. Taylor & Francis, 86(2), pp. 172–181. doi: 10.1080/02701367.2014.982782.
- Sayers, S. P. (2010) 'High Velocity Power Training in Older Adults', *Current Aging Science*. Bentham Science Publishers Ltd., 1(1), pp. 62–67. doi: 10.2174/1874609810801010062.
- Schranz, N. *et al.* (2014) 'Can resistance training change the strength, body composition and self-concept of overweight and obese adolescent males? A randomised controlled trial.', *British journal of sports medicine*, 48(20), pp. 1482–8. doi: 10.1136/bjsports-2013-092209.
- Sinam, V. *et al.* (2015) 'Comparison of the Upper and Lower Limbs-A Phylogenetic Concept', *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS) e-ISSN*, 14(8), pp. 14–16. doi: 10.9790/0853-14811416.

- Singh, G. M. *et al.* (2013) 'The Age-Specific Quantitative Effects of Metabolic Risk Factors on Cardiovascular Diseases and Diabetes: A Pooled Analysis', *PLoS ONE*. Edited by G. Wang, 8(7), p. e65174. doi: 10.1371/journal.pone.0065174.
- Small, E. W. *et al.* (2008) 'Strength training by children and adolescents', *Pediatrics*, 121(4), pp. 835–840. doi: 10.1542/peds.2007-3790.
- Smith, J. J. *et al.* (2014) 'The health benefits of muscular fitness for children and adolescents: A systematic review and meta-analysis', *Sports Medicine*. Springer International Publishing, pp. 1209–1223. doi: 10.1007/s40279-014-0196-4.
- Soriano, M. A., Suchomel, T. J. and Marín, P. J. (2017) 'The Optimal Load for Maximal Power Production During Upper-Body Resistance Exercises: A Meta-Analysis', *Sports Medicine*. Springer International Publishing, pp. 757–768. doi: 10.1007/s40279-016-0626-6.
- De Ste Croix, M. B. A., Deighan, M. A. and Armstrong, N. (2003) 'Assessment and interpretation of isokinetic muscle strength during growth and maturation', *Sports Medicine*. Sports Med, pp. 727–743. doi: 10.2165/00007256-200333100-00002.
- Stolzman, S. C. *et al.* (2019) 'Does Weight Status Impact Metabolic Health in Adolescents When Controlling for Physical Fitness?', *Pediatric Physical Therapy*. Lippincott Williams and Wilkins, 31(2), pp. 134–140. doi: 10.1097/PEP.0000000000000589.
- Stracciolini, A. *et al.* (2014) 'A closer look at overuse injuries in the pediatric athlete', *Clinical Journal of Sport Medicine*, 25(1), pp. 30–35. Available at: http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L53192499;%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1097/JSM.0000000000000105;%5Cnhttp://sfx.ub.rug.nl:9003/sfx_local?sid=EMBASE&issn=1050642X&id=doi:10.1097/JSM.0000000000000105&atitle=A+closer+look.
- Strobe, M. A. *et al.* (2015) 'Physical Activity–Associated Bone Loading During Adolescence and Young Adulthood Is Positively Associated With Adult Bone Mineral Density in Men', *American Journal of Men's Health*, 9(6), pp. 442–450. doi: 10.1177/1557988314549749.

- Telama, R. (2009) 'Tracking of Physical Activity from Childhood to Adulthood: A Review', *Obesity Facts*, 2(3), pp. 187–195. doi: 10.1159/000222244.
- Tomkinson, G., Olds, T. and Borms, J. (2007) 'Who are the eurofittest?', *Medicine and Sport Science*. Med Sport Sci, 50, pp. 104–128. doi: 10.1159/000101355.
- Tous, J. (1999) *Nuevas tendencias en fuerza y musculación*. Barcelona: Hispano Europea.
- Tsiros, M. D. *et al.* (2011) 'Test-retest reliability of the Biodex System 4 Isokinetic Dynamometer for knee strength assessment in paediatric populations.', *Journal of allied health*. J Allied Health, 40(3), pp. 115–9. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21927776> (Accessed: 2 April 2020).
- Vanhelst, J. *et al.* (2016) 'Reliability of health-related physical fitness tests in adolescents: The MOVE Program', *Clinical Physiology and Functional Imaging*. Blackwell Publishing Ltd, 36(2), pp. 106–111. doi: 10.1111/cpf.12202.
- Virvidakis, K. *et al.* (1990) 'Bone mineral content of junior competitive weightlifters', *International Journal of Sports Medicine*, 11(3), pp. 244–246. doi: 10.1055/s-2007-1024800.
- Yin, L., Tang, C. and Tao, X. (2018) 'Criterion-Related Validity of a Simple Muscle Strength Test to Assess Whole Body Muscle Strength in Chinese Children Aged 10 to 12 Years', *BioMed research international*. Biomed Res Int, 2018. doi: 10.1155/2018/2802803.
- Young, J. D. *et al.* (2017) 'Effectiveness of Traditional Strength vs. Power Training on Muscle Strength, Power and Speed with Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis', *Frontiers in Physiology*, 8(June). doi: 10.3389/fphys.2017.00423.
- Yu, C. C. W. *et al.* (2008) 'The effect of diet and strength training on obese children's physical self-concept', *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(1), pp. 76–82.

- Zubillaga, D. M. *et al.* (2015) 'Valoración de fuerza isométrica en extremidades inferiores y composición corporal en prematuros', *anales de pediatría*, 83(4), pp. 229–235.
- Zwolski, C., Quatman-Yates, C. and Paterno, M. V. (2017) 'Resistance Training in Youth: Laying the Foundation for Injury Prevention and Physical Literacy', *Sports Health*, 9(5), pp. 436–443. doi: 10.1177/1941738117704153.

ANEXOS

9. ANEXO I

ARTÍCULO EN PROCESO DE REVISIÓN EN LA REVISTA *MEDICINA* (ISSN 1010-660X). EDITORIAL MDPI.

Article

Reliability and minimal detectable change in the assessment of muscle strength and muscle power in 9- to 14-year-olds

Mario A. Horta-Gim¹, Ena Monserrat Romero-Pérez^{1, *}, Carlos Medina- Pérez^{2,*}, José Manuel Tánori-Tapia¹, Gabriel Núñez-Othón¹, André Pinto Novo^{3,4}, and José Antonio de Paz^{1,5}.

¹ Division of Biological Sciences and Health, University of Sonora, 83000 Hermosillo, Mexico
mario.horta@unison.mx (M.A.H.-G.); ena.romero@unison.mx (E.M.R.-P.); josemanuel.tanori@unison.mx (J.M.T.-T.); gabriel@guaymas.uson.mx (G.N.-O)

² Sciences Health School, University Isabel I, 09003 Burgos, Spain; carlosmedinaper85@gmail.com

³ Polytechnic Institute of Bragança. 5300-253 Bragança, Portugal.

⁴ Center for Health Technology and Services Research (CINTESIS), University of Porto, 4200-319 Porto, Portugal; andrenovo@gmail.com (A.N)

⁵ Institute of Biomedicine (IBIOMED), University of León, 24071 León, Spain; japazf@unileon.es

* Correspondence: ena.romero@unison.mx (E.M.R.-P.); carlosmedinaper85@gmail.com (C.M.P.)

Received: date; Accepted: date; Published: date

Abstract: The individualized prescription of strength and the manifestation of its improvement in children is based on the evaluation of maximum strength. There is a gap in the knowledge of repeatability in children. This study examined the reliability and the minimal detectable change (MDC) of the maximal force test and muscle power test. Forty-eight children (9–14 years old), completed two test–retest sessions that involved a one-repetition maximum (1RM) test and a muscle power test for leg extension (LE) and seated bench press (SBP). The MDC values of the 1RM test in the LE and SBP tests ranged from 7.35 to 11.34 kg and 6.84 to 7.92 kg, respectively. The MDC values of the muscle power test in the LE and SBP ranged from 30.32 to 63.20 W and 22.65 to 29.53 W, respectively. In children 9 to 14 years old, the evolution of maximum strength was different in different muscle groups. The repeatability of the 1RM test of the LE was excellent and was better than that of the SBP. The MDC of the 1RM test evaluation was between 12 and 18% in the LE and between 9 and 13% in the SBP.

Keywords: minimal detectable change; test-retest; 1RM; preadolescent; children; resistance training; muscle strength; muscle power

1. Introduction

Muscle performance is a good indicator of overall health in children and adolescents [1]. High muscle fitness is associated with a healthier cardiovascular profile, whereas low fitness is associated with a low metabolic profile [2,3], high level of inflammatory markers, and high mortality in adulthood [4]. Although the capacity of children to increase their muscular strength has been questioned [5], current findings suggest that children may benefit from regular resistance training [6–9]. As a result, the American Academy of Pediatrics [10] supports children’s participation in appropriately designed and supervised resistance training programs. Thus, the value of assessment of muscle performance with valid and reliable methods has been increasingly recognized in sport, clinical, and health contexts [11].

Maximal dynamic strength is a manifestation of muscle contraction and is defined as the highest load that a person is able to lift once (one-repetition maximum; 1RM) [12]. Previous policy statements have not recommended 1RM testing in skeletally immature individuals [13]; however, 1RM testing is safe in children and adolescents when conducted by a qualified professional [14–17]. Moreover, the American College of Sports Medicine official position statement regarding resistance training in healthy people [18] recommends that the individual training load should be prescribed based on 1RM testing and that this criterion also should be applied to prescription resistance training in children and adolescents [19–21].

Muscle power is another manifestation of muscle contraction and can be defined as the product of load lifted and the distance that the load was lifted, divided by the time spent in that displacement, i.e., $power = \frac{\text{load} \times \text{mobilized distance}}{\text{time spent moving the load}}$ [22]. Maximum muscle power output is the highest power value manifested by overcoming successive resistances to different percentages of 1RM. This outcome is decisive in sport physical performance (e.g., running, jumping, balance, or agility) and in daily activities, and is associated with a lower risk of injury to joints, bones, and muscles [23,24]. In children and adolescents, muscle power is usually assessed using field tests (e.g., ball throwing, vertical jump, or standing long jump) [25–27] or isokinetic devices [28,29]. However, a few studies have determined muscle power in children and adolescents relative to 1RM across a range of submaximal loads using a linear position transducer [16,30,31].

In any test, it is important to know the degree of validity, specificity, and repeatability of the method of assessment. Repeatability of measurements refers to the range variation in repeat measurements made on the same subject under identical conditions (i.e., same subject, same evaluator, and similar conditions) and reflects the stability of the results obtained in successive evaluations [32,33]. Knowing the repeatability of any strength or muscle power test is important for coaches, doctors, and scientists [33] for two reasons. Firstly, it provides a greater degree of confidence in the conclusions drawn from the data analysis. Secondly, because the random measurement error of the method is known, the real magnitude of changes observed in the measure can be estimated [31]. A recent systematic review [34] on test–retest reliability of 1RM analyzed 32 studies published on the subject, of which 14 were of young people; however, in none of the 14 studies was the age of the study subjects less than 16 years of age. Even fewer publications have looked at the repeatability of assessment of muscle power. Moreover, to determine whether an improvement is real, it is necessary to know the minimum change values that can be detected by the instrument used (minimal detectable change; MDC). If the difference between the evaluations is greater than the MDC value of the employed measurement method, one can be sure, with a high degree of certainty, that the variation observed is not due to a limitation or random error of the method used for measurement [35]. However, there is a lack of data regarding the repeatability of these measurements (i.e., dynamic maximal strength and muscle power) in children and adolescents. Only few studies have reported data for dynamic maximal strength (1RM) and maximum power [15,30,31,36,37] within this population.

The purpose of this study was therefore to determine the reliability and the intra-rater minimum level of detectable change between the test and retest of the 1RM maximal strength test and muscle power test in upper and lower limbs in 9- to 14-year-old children.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design and Participants

2.1.1. Design

A cross-sectional observational study of repeated measurements was conducted. The retest was conducted 48 hours after the first test and was done blindly (i.e., without access to the value of the first measurement).

2.1.2. Ethical Approval

The study was approved by the Research Ethics Committee of the University of Sonora (Mexico) (No. CEI-UNISON 013/2020). Written parental permission and verbal consent to participate in the study was received from both the parents and participants, respectively.

2.1.3. Participants

Forty-eight children aged 9–14 years, 24 boys and 24 girls, participated in the study. All participants were recruited from a private school at Hermosillo (Mexico). All the school children who agreed to participate, for each age group and gender they were assigned a number, and from each group and gender, 4 numbers were randomly chosen. The participant inclusion criteria were age between 9 and 14 years, no physical impairments preventing them from performing the tests and no previous experience with resistance or muscle power training. In addition, participants were excluded if they did not attend all assessment sessions.

Eight days before the data collection, all participants attended an introductory session to familiarize them with the equipment and testing procedures. They were instructed on proper technique for the exercise with submaximal loads in both tests.

For data analysis, participants were categorized into three age groups (G_{9-10} years, $n = 16$; G_{11-12} years; $n = 16$; and G_{13-14} years, $n = 16$).

The sample size was calculated using G*Power 3.1.9.7 (Düsseldorf, Germany) [34], using a T-test for difference between two dependent means, with an effect size of 0.5, alpha value of 0.05, and a statistical power of 0.95, for a sample size of 48 subjects.

2.2. Measurements and Methods

2.2.1. One-Repetition Maximum Testing

The 1RM test was performed on a BH® Fitness Nevada Pro-T machine, Madrid, Spain, with an angle of 100° between the plane of the seat and the back. Before all testing procedures, subjects participated in a general warm-up period that consisted of ten repetitions with 40% of their body weight. If this weight was lifted with the proper form, each participant performed a new trial in which the load was increased by approximately 5 to 20 kg, and the subject attempted two repetitions with the selected weight. If successful, the testing continued until a 1RM lift was determined. The 1RM was determined across three to six sets, excluding warm-up. All increases in weight were dependent upon the rating of perceived exertion in each attempt, which was assessed using the RPE OMNI-RES (0–10) scale [38], and rest periods between each attempt were set around 3 minutes between attempts. For the 1RM test of leg extension (LE), participants were seated with a knee flexion of 90°. Before the test, the lever arm of the knee extension machine was aligned with the center of rotation of the knee joint. The tibial pad was individually adjusted proximal to the medial malleolus on the lower extremity for every subject. The range of motion of the knee joint began at 90° and ended around 180°. After 10 minutes of rest, the 1RM seated bench press (SBP) test was performed with the same protocol and material as described above. In this exercise, the participant was seated with arms in abduction at 90° and with elbows bent at 90°. The range of motion of the elbow joint began at 90° degrees and ended around 180°.

2.2.1. Muscle Power Testing

Muscle power tests were performed 45 minutes after the 1RM tests and were carried out using the machine described previously. Mean concentric knee extension power (load \times displacement / time) was determined across a spectrum of six submaximal loads relative to 1RM, i.e., weight stack loads providing resistance forces equal to 30, 40, 50, 60, 70, and 80% of the 1RM. Subjects completed one set of three full range-of-motion knee extension actions with each load with a complete pause between each repetition. Subjects rested for 3 min between each set. Subjects were instructed to push the load during the concentric phase “as fast as possible”. Muscle power was calculated from electronic measures of force, displacement, and duration using a linear encoder (T-Force System, Ergotech, Murcia, Spain, sample rate 1000 Hz) and associated software (v.2.3). The device was attached to the weight stack and measured vertical displacement relative to the ground. From all the muscle power data, only the muscle power value reached at 60% of 1RM was considered for data analysis.

2.3. Statistical Analysis

Data are presented as the means \pm standard deviations (SD) and ranges. The data normality was assessed using the Shapiro–Wilk test. Differences between test and retests were analyzed by student's-t paired test; the comparison of the values of 1RM and power between age groups were performed by One-way ANOVA, the effect size (f) was performed with G*Power 3.1.9.7 (Düsseldorf, Germany) [34], by F-Test for Anova Fixed Effects one-way, and post hoc tests with Bonferroni correction. The comparison of the average of the power values expressed at the different percentages of 1RM, both for the LE and the SBP, was performed by the repeated measures analysis of variance and the effects size were also reported as partial eta squared (η^2). To determine the confidence limits as measures of absolute reliability, the mean coefficient of variation (CV) from individual test–retest CVs was used, and the Bland–Altman method was used for visual evaluation of the reliability of measurements and agreement limits. Repeatability is the closeness of the agreement between successive readings obtained by the same method for the same material and under the same conditions (same operator, same apparatus, same setting, and same time). The most commonly used method for the study of measurement repeatability is the intraclass correlation coefficient (ICC) [39]. This was calculated by determining the intraclass correlation coefficient (ICC) estimates and their 95% confident intervals based on two-way random effects, absolute agreement, and single-rater measurement (ICC_{2,1}) [40]. In addition, Rosner's proposal [41] is usually used to make a qualitative interpretation of the ICC result; thus, ICC < 0.4 indicates poor reliability, $0.4 \leq \text{ICC} \leq 0.75$ indicates fair to good reliability, and ICC ≥ 0.76 indicates excellent reliability. The absolute reliability was evaluated using the standard error of measurement (SEM), and the minimal detectable change (MDC₉₅) was calculated both absolutely and as a percentage. The statistical significance level was set at 5%. All data were analyzed using SPSS statistical package version 25 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA).

3. Results

General characteristics of the sample, age, weight and size are shown in Table 1.

Table 1. Anthropometric characteristics of participants by age group.

	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)
G ₍₉₋₁₀₎	9.53 \pm 0.51 [#]	135.41 \pm 4.52 [#]	32.30 \pm 5.43 [#]
G ₍₁₁₋₁₂₎	11.50 \pm 0.52 [#]	149.63 \pm 7.93 [#]	41.59 \pm 10.40 [#]
G ₍₁₃₋₁₄₎	13.53 \pm 0.52 [#]	157.20 \pm 5.48 [#]	48.15 \pm 9.39 [#]

G₉₋₁₀ = age group 9–10 years. G₁₁₋₁₂ = age group 11–12 years. G₁₃₋₁₄ = age group 13–14 years. # statistical difference between all groups.

Figure 1 presents relative values of LE and SBP maximal dynamic strength (1RM). There were significant differences between the groups in the knee extensors' maximal strength ($F=20.085$, $p=0.000$,

$f=0.741$). The G_{13-14} has a higher LE 1RM than G_{11-12} , ($p=0.000$) and G_{9-10} , ($p=0.000$), and G_{11-12} greater than G_{9-10} ($p=0.000$). There are also significant differences between groups in SBP1RM ($F= 8,509$, $p=0.000$, $f=0.519$). G_{13-14} has a higher LE 1RM than G_{11-12} , ($p=0.000$) and G_{9-10} , ($p=0.000$).

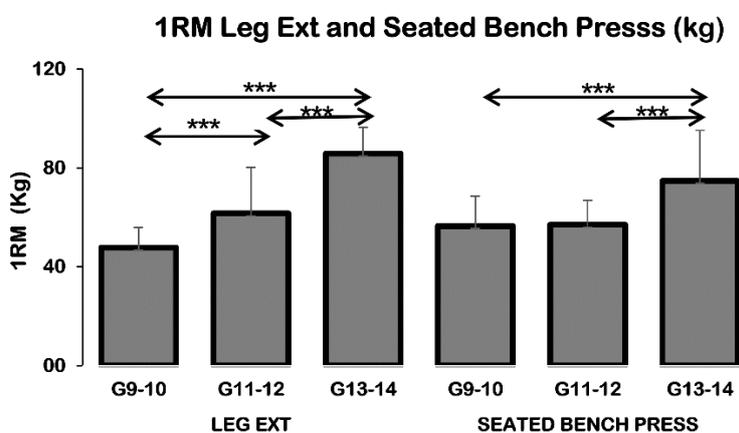


Figure 1. One-repetition maximum (1RM) test values for leg extension and seated bench press by age group. G_{9-10} = age group 9–10 years. G_{11-12} = age group 11–12 years. G_{13-14} = age group 13–14 years. *** = $p=0.000$ Difference between marked age group.

The Figure 2 shows power values at 60% of the LE 1RM SBP 1RM. Significant differences between groups were found in SPB power ($F=20.408$, $p=0.000$, $f=0.682$). G_{13-14} has a higher LE 1RM than G_{11-12} , ($p=0.003$) and G_{9-10} , ($p=0.000$), and G_{11-12} greater than G_{9-10} ($p=0.019$). There are also significant differences between groups in LE power ($F=20,085$ $p=0.000$, $f=0.679$). G_{13-14} has a higher LE 1RM than G_{11-12} , ($p=0.043$) and G_{9-10} , ($p=0.000$), and G_{11-12} greater than G_{9-10} ($p=0.000$).

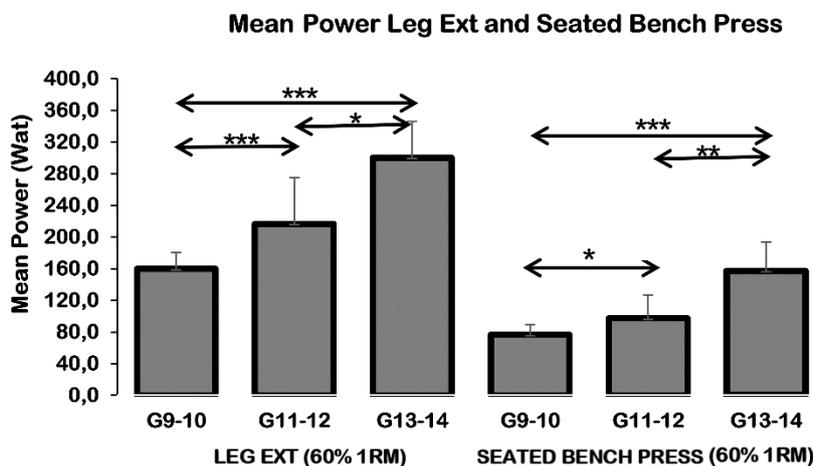


Figure 2. Power test values at 60% of 1RM in LE and SBP by age group. G_{9-10} = age group 9–10 years. G_{11-12} = age group 11–12 years. G_{13-14} = age group 13–14 years. Difference between marked age group: *** $p=0.000$, ** $p=0.003$, * $p<0.05$

LE 1RM and SBP 1RM mean values are shown in Table 2 and 3, respectively.

Table 2. 1RM test values (kg) per age group in the leg extension test.

		Mean	SD	T-test (p)	ICC	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MDC	MDC (%)
G (9-10)	Test	47.47	8.80	0.465	0.894	0.736-0.960	0.037	0.053	0.000	0.170	2.65	7.35	15.38
	Retest	48.18	7.69										
G (11-12)	Test	61.75	19.28	0.872	0.951	0.865-0.982	0.058	0.052	0.000	0.174	4.09	11.34	18.40
	Retest	61.50	18.28										
G (13-14)	Test	84.13	10.82	0.044	0.876	0.674-0.956	0.028	0.038	0.000	0.129	3.85	10.66	12.52
	Retest	86.20	11.30										

G₉₋₁₀ = aged group 9–10 years. G₁₁₋₁₂ = aged group 11–12 years. G₁₃₋₁₄ = aged group 13–14 years. SD: standard deviation; T-test_(p) = p value of student's-t paired test; ICC: intraclass correlation coefficient; CI 95%: confidence interval of ICC; CV: coefficient of variation; Min.: minimum value of CV; Max.: maximum value of CV; SEM: standard error of measurement (absolute values); MDC: minimal detectable change (absolute values); MDC%: MDC percentage values.

Table 3. 1RM values (kg) per age group in the seated bench press test.

		Mean	SD	T-test (p)	ICC	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MDC	MDC (%)
G (9-10)	Test	57.35	12.84	0.086	0.953	0.868-0.983	0.035	0.033	0.000	0.079	2.61	7.24	12.80
	Retest	55.76	11.53										
G (11-12)	Test	56.94	9.30	0.770	0.918	0.783-0.971	0.034	0.036	0.000	0.117	2.86	7.92	13.87
	Retest	57.25	10.92										
G (13-14)	Test	75.63	19.61	0.425	0.985	0.949-0.995	0.028	0.043	0.000	0.013	2.47	6.84	9.14
	Retest	73.93	21.31										

G₉₋₁₀ = aged group 9–10 years. G₁₁₋₁₂ = aged group 11–12 years. G₁₃₋₁₄ = aged group 13–14 years. SD: standard deviation; T-test_(p) = p value of student's-t paired test; ICC: intraclass correlation coefficient; CI 95%: confidence interval of ICC; CV: coefficient of variation; Min.: minimum value of CV; Max.: maximum value of CV; SEM: standard error of measurement (absolute values); MDC: minimal detectable change (absolute values); MDC%: MDC percentage values.

The limits of agreement between the values of the entire sample, estimated from the two test sessions (test–retest) are graphically depicted in the Bland–Altman plot in Figure 3 (LE exercise) and 4 (SBP).

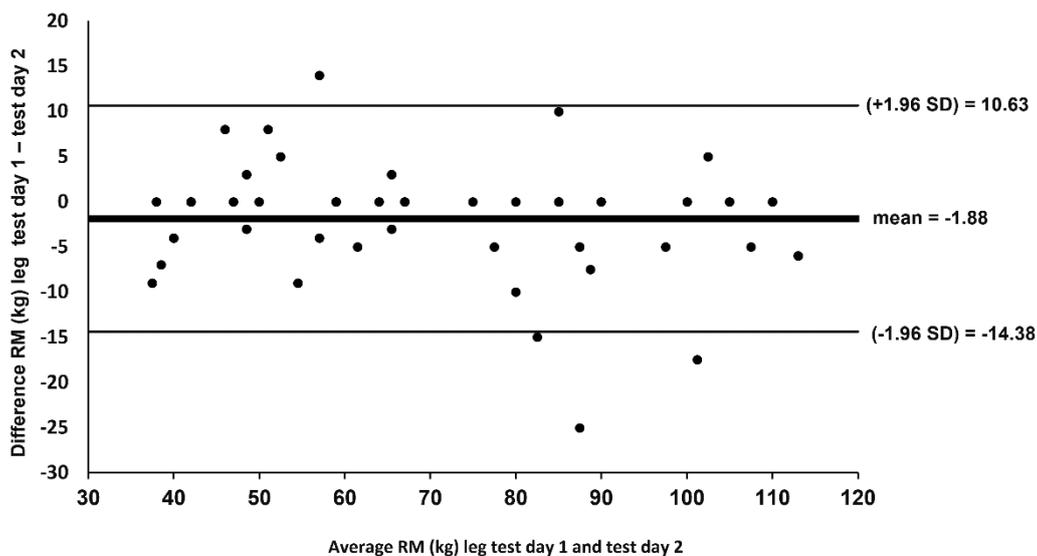


Figure 3. Bland–Altman chart of differences in 1RM load in leg extension exercise.

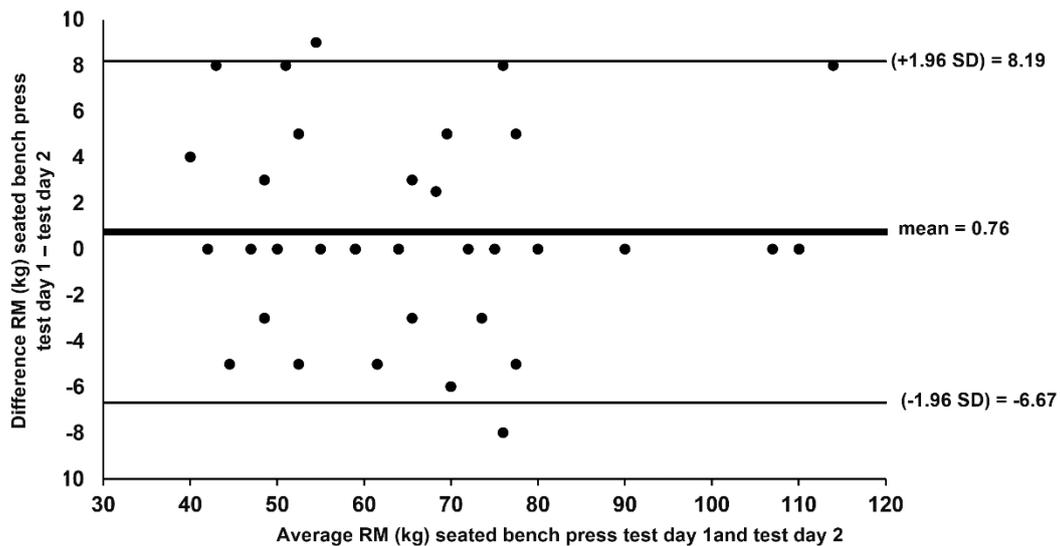


Figure 4. Bland–Altman chart of differences in 1RM load in seated bench press exercise.

For muscle power data analysis, the percentage of 1RM at which participants reached the highest value of muscle power was determined. This percentage was set at 70% of 1RM in LE and at 50% of 1RM in SBP. When comparing the powers to the different loads, it was observed that in LE there were differences between the different load percentages, ($F=64.601$; $p=0.000$; $\eta^2=0.5799$), but there was no difference between the power value at 70% of 1RM and at 60% of 1RM ($p=1$, IC95% [-14.671, 12.109]). There were also differences between the powers expressed in SBP at different percentages of 1RM, ($F=21.735$; $p=0.000$; $\eta^2=0.326$), but there was no difference between the power value manifested at 50% of 1RM and 60% of 1RM ($p=1$, IC95% [-6.217, 6.376]). Therefore, LE and SBP power at 60% of 1RM are like LE power at 70% of 1RM and SBP power at 50% of 1RM. Hence, therefore power at 60% 1RM was chosen for the MDC analysis in both exercises. Figure 5 shows the evolution of LE and SBP power manifested at different percentage of 1RM.

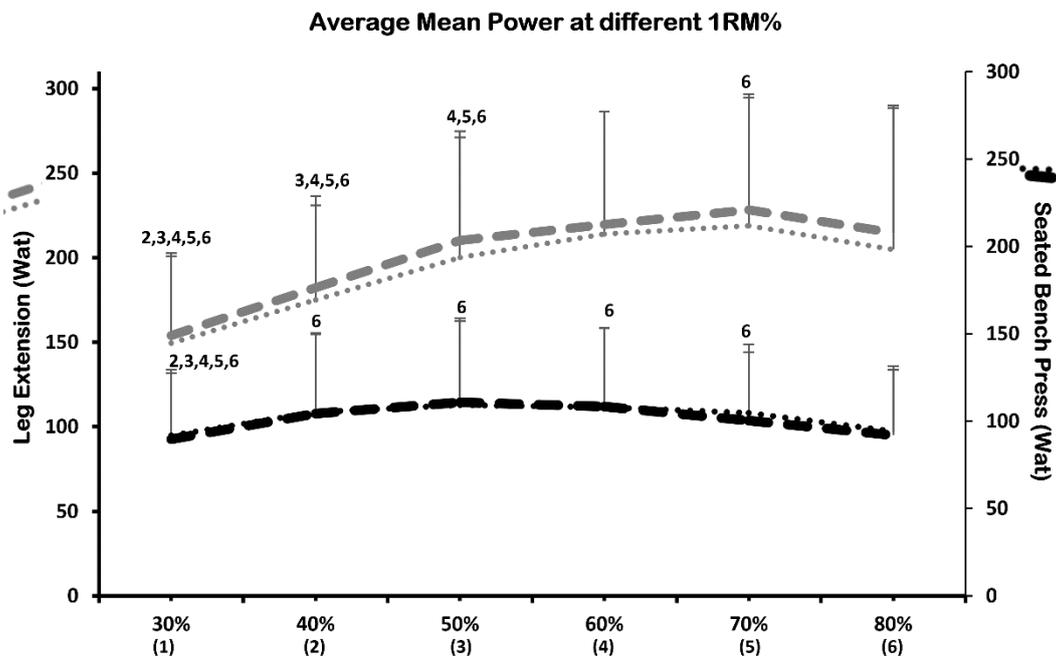


Figure 5. Average evolution of the power values obtained with loads at different percentages of 1RM in the leg extension and seated bench press exercises. The numbers above the standard deviation bar denote significant difference when comparing with the load cited.

Muscle power values obtained at 60% of 1RM in the leg extension and seated bench press tests are shown in Table 3 and 4, respectively.

Table 4. Muscle power (W) values at 60% of 1RM per age group in the leg extension test.

		Mean	SD	T-test (p)	ICC	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MDC	MDC (%)
G (9-10)	Test	148.28	20.28	0.379	0.651	0.255-0.858	0.065	0.041	0.013	0.144	10.94	30.32	19.93
	Retest	155.88	16.28										
G (11-12)	Test	219.47	55.12	0.513	0.853	0.634-0.946	0.069	0.075	0.001	0.293	22.80	63.20	29.17
	Retest	213.90	65.22										
G (13-14)	Test	282.92	28.86	0.065	0.696	0.225-0.893	0.057	0.024	0.013	0.098	17.56	48.67	16.76
	Retest	298.01	33.86										

G₉₋₁₀ = aged group 9–10 years. G₁₁₋₁₂ = aged group 11–12 years. G₁₃₋₁₄ = aged group 13–14 years. SD: standard deviation; T-test_(p) = p value of student's-t paired test; ICC: intraclass correlation coefficient; CI 95%: confidence interval of ICC; CV: coefficient of variation; Min.: minimum value of CV; Max.: maximum value of CV; SEM: standard error of measurement (absolute values); MDC: minimal detectable change (absolute values); MDC%: MDC percentage values.

Table 5. Muscle power (W) values at 60% of 1RM per age group in the seated bench press test.

		Mean	SD	T-test (p)	ICC	IC 95%	CV	SD	Min	Max	EEM	MDC	MDC (%)
G (9-10)	Test	74.66	13.96	0.968	0.663	0.280-0.896	0.083	0.077	0.002	0.264	8.17	22.65	30.01
	Retest	76.27	14.58										
G (11-12)	Test	98.56	29.66	0.285	0.922	0.797-0.972	0.075	0.059	0.011	0.222	8.23	22.80	23.49
	Retest	95.60	30.14										
G (13-14)	Test	155.96	36.63	0.615	0.918	0.778-0.972	0.061	0.037	0.012	0.138	10,66	29.53	18.79
	Retest	158.33	39.03										

G₉₋₁₀ = aged group 9–10 years. G₁₁₋₁₂ = aged group 11–12 years. G₁₃₋₁₄ = aged group 13–14 years. SD: standard deviation; T-test_(p) = p value of student's-t paired test; ICC: intraclass correlation coefficient; CI 95%: confidence interval of ICC; CV: coefficient of variation; Min.: minimum value of CV; Max.: maximum value of CV; SEM: standard error of measurement (absolute values); MDC: minimal detectable change (absolute values); MDC%: MDC percentage values.

4. Discussion

Our data showed that repeatability of 1RM evaluation both in LE and SBP exercises analyzed by test–retest was excellent, ranging from 0.876 to 0.951 for the leg extension and from 0.918 to 0.985 for the SBP. Studies on the test–retest reliability of 1RM in children under 16 years of age are few. In one such test, Faigenbaum et al. [37] reported an ICC of 0.98 for the LE exercise and an ICC of 0.93 for the bench press exercise in a sample of 24 children of ten years of age. In a recent systematic review analyzing 32 articles in populations aged 16 to 85 years, the ICC ranged from 0.74 to 0.99, and in the exercise of SBP from 0.96 to 0.99 [34].

The repeatability determined for the current evaluation of the power at 60% of 1RM in the LE exercise ranged from “fair to good reliability” to “excellent reliability” (ICC: 0.651–0.853). This was lower than that shown by the SBP; although qualitatively in the same range, the SBP ICC in two of the groups was higher than 0.910 and was 0.663 only in the youngest group. Studies analyzing the repeatability of muscle power in children are limited and on most occasions measure the repeatability of jump ability as an indirect estimate of muscle power, either alone or in the context of other physical tests [42,43]. The study of Meylan et al. [31], which measured power in a leg press exercise with loads at different percentages of the proper body weight in 36 males (11–15 years old), found an ICC between 0.97 and 0.99.

In addition to provide information about repeatability, the ICC allows to determinate the random error of the method (the SEM), and the MDC value for which changes observed between measurements

carried out over time are genuine and not likely to be attributable to the inherent random error of the method used. In 1RM test we found a random error of the method ranging from 2.65 to 4.09 kg in LE and 2.47 to 2.86 kg in SBP. The minimum magnitude of change that would be detectable in the LE exercise was 7.35 to 11.34 kg, which was expressed as a percentage is between 12.52% and 18.40% between successive measures. In SBP exercise, the SEM would be between 2.47 and 2.86 kg and the MDC between measures would be between 9.14% and 13.87%, i.e., a little lower than that of LE. Few studies exist in which the MDC of repeatability is made explicit. One studied twenty-one healthy children aged 5 to 12 years to determine the repeatability of strength and power of knee flexors and knee extensors in an isokinetic device. Although the authors did not present the value of MDC%, using the values provided for the knee extensors, we calculated that the MDC% was 28% for the peak torque and 36.4% for the power, i.e., higher values than those found by our study [44]. The 1RM agreement limits of LE and SBP were uniform, regardless of the children's maximum strength, and were within a range of 25 kg in LE and 14.9 kg in SBP.

The process of maturation and growth is associated with changes of increasing muscle mass and in muscle morphology and architecture, such as pennation angle [45], and changes mediated by hormonal variations during the maturation and growth period [46]. This is the reason why the repeatability analyses were analyzed by grouping the sample into three different age groups.

The maximum strength of the LE increases over the course growth and development, with significant differences ($p=0.000$) between all age groups in our sample. However, in the strength of the SBP (SBP), the increase only appears in the age near to 14 years old. In general, for the whole population, and particularly the infant population, use of the musculature of the lower extremities is continuous during activities of daily life, including supporting of the corporal weight when walking, transporting a school backpack, jumping, and running, whereas the use of the upper extremities is predominantly limited to actions of precision supporting relatively low loads [47,48]. This may be why, as body weight increases, muscle strength increases in the lower extremities and less so in the upper extremities, and it is only when the anabolic hormonal increase occurs around puberty that the increase in strength in the upper extremities becomes more significant [49]. This physiological explanation could not be endorsed with experimental data because we were unable to find sufficient studies of maximum strength using the 1RM test in the same muscle groups that we analyzed; only one study of 45 children aged three to seven years old was identified [16]. However, there were data from a similar study relating growth and handgrip isometric strength, among other tests, based on 597 boys and 601 girls aged 6–15 years [50].

A little studied aspect in children that can be interesting is the evolution of the power manifested when mobilizing different load percentages. In LE the power is greater around 70% of 1RM, but not significantly greater than reached at 60% of 1RM, so if this behavior is confirmed in other studies, it could be affirmed that to exercise with knee extensors near to the maximum power, the chosen load would be between 60% to 70% of 1RM. The evolution of the power in relation to the load in the SBP is different, because although the maximum power is manifested around 50% of 1RM, it is not significantly different from that manifested at 40, 50 or 70% of 1RM, so if it were confirmed by other studies, to work out in SBP exercise close to the maximum power, the load should be between 40% and 70% of 1RM.

With this study, in addition to analyzing the repeatability and the MDC of the evaluation of muscle strength and mean muscle power in children before adolescence, we intended to underline the study's practical importance for professionals who conduct strength training in children. Specifically, our findings should be kept in mind when interpreting the results obtained in the evaluation of children's strength and power at the end of different training programs. This study had some limitations. The most important is that it was limited to the assessment of two muscle groups, even though these groups are likely the most important for activities of daily life. Another important limitation, unrelated to the study, is that there have been very few studies that analyzed repetition of maximum strength in children before adolescence and even fewer that analyzed it with respect to muscle power. Finally, a third limitation of this research is that biological age of the participants has not been obtained. It is necessary to encourage researchers to conduct and publish research on these measurements in children before adolescence.

5. Conclusions

In children from 9 to 14 years of age, the maximum strength value is different depending on muscle groups, increasing over the course of growth and maturation more gradually in the legs than in the upper body, in which it increases more abruptly near adolescence. The repeatability of the 1RM test of knee extensors was excellent in all groups of this age range. Furthermore, it was superior to that of the 1RM test of the seated bench press, which was good or excellent depending on the age of the children. Despite the good repeatability, it should be kept in mind that the MDC of the 1RM test evaluation was relatively large—between 12 and 18% in the leg extension and between 9 and 13% in the seated bench press—regardless of the child's strength level.

Author Contributions: Conceptualization, M.A.H.-G. and C.M.-P.; methodology, E.M.R.-P., C.M.-P and J.A.d.P.; formal analysis, C.M.-P., A.N., and J.A.d.P.; data collection, M.A.H.-G. and G.N.-O.; data curation, M.A.H.-G.; J.M.T.-T. and G.N.-O.; supervision, E.M.R.-P. and J.A.d.P.; writing draft preparation, M.A.H.-G., C.M.-P and A.N.; writing—review and editing, E.M.R.-P. and J.A.d.P. All authors read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- García-Hermoso, A.; Ramírez-Campillo, R.; Izquierdo, M. Is Muscular Fitness Associated with Future Health Benefits in Children and Adolescents? A Systematic Review and Meta-Analysis of Longitudinal Studies. *Sport. Med.* 2019, *49*, 1079–1094.
- Artero, E.G.; Ruiz, J.R.; Ortega, F.B.; España-Romero, V.; Vicente-Rodríguez, G.; Molnar, D.; Gottrand, F.; González-Gross, M.; Breidenassel, C.; Moreno, L.A.; et al. Muscular and cardiorespiratory fitness are independently associated with metabolic risk in adolescents: The HELENA study. *Pediatr. Diabetes* 2011, *12*, 704–712, doi:10.1111/j.1399-5448.2011.00769.x.
- Cohen, D.D.; Gómez-Arbeláez, D.; Camacho, P.A.; Pinzon, S.; Hormiga, C.; Trejos-Suarez, J.; Duperly, J.; Lopez-Jaramillo, P. Low muscle strength is associated with metabolic risk factors in Colombian children: The ACFIES study. *PLoS One* 2014, *9*, doi:10.1371/journal.pone.0093150.
- García-Hermoso, A.; Cavero-Redondo, I.; Ramírez-Vélez, R.; Ruiz, J.R.; Ortega, F.B.; Lee, D.C.; Martínez-Vizcaíno, V. Muscular Strength as a Predictor of All-Cause Mortality in an Apparently Healthy Population: A Systematic Review and Meta-Analysis of Data From Approximately 2 Million Men and Women. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2018, *99*, 2100–2113.e5.
- Shaffer, T.E.; Coryllos, E.; Dymont, P.G. Weight training and weight lifting: Information for the pediatrician. *Phys. Sportsmed.* 1983, *11*, 157–161, doi:10.1080/00913847.1983.11708490.
- Holloway, J.B.; Beuter, A.; Duda, J.L. Self-Efficacy and Training for Strength in Adolescent Girls. *J. Appl. Soc. Psychol.* 1988, *18*, 699–719, doi:10.1111/j.1559-1816.1988.tb00046.x.
- Morris, F.L.; Naughton, G.A.; Gibbs, J.L.; Carlson, J.S.; Wark, J.D. Prospective ten-month exercise intervention in premenarcheal girls: Positive effects on bone and lean mass. *J. Bone Miner. Res.* 1997, *12*, 1453–1462, doi:10.1359/jbmr.1997.12.9.1453.
- Micheli, L.J.; Glassman, R.; Klein, M. The prevention of sports injuries in children. *Clin. Sports Med.* 2000, *19*, 821–834, doi:10.1016/S0278-5919(05)70239-8.
- Lillegard, W.A.; Brown, E.W.; Wilson, D.J.; Henderson, R.; Lewis, E. Efficacy of strength training in prepubescent to early postpubescent males and females: Effects of gender and maturity. *Dev. Neurorehabil.* 1997, *1*, 147–157, doi:10.3109/17518429709167353.
- Stricker, P.R.; Faigenbaum, A.D.; McCambridge, T.M. Resistance Training for Children and Adolescents. *Pediatrics* 2020, *145*, e20201011, doi:10.1542/peds.2020-1011.
- Ortega, F.B.; Cadenas-Sánchez, C.; Sánchez-Delgado, G.; Mora-González, J.; Martínez-Téllez, B.; Artero, E.G.; Castro-Piñero, J.; Labayen, I.; Chillón, P.; Löf, M.; et al. Systematic Review and Proposal of a Field-Based Physical Fitness-Test Battery in Preschool Children: The PREFIT Battery. *Sport. Med.* 2015, *45*, 533–555.
- Williams, T.D.; Toluoso, D. V.; Fedewa, M. V.; Esco, M.R. Comparison of Periodized and Non-Periodized Resistance Training on Maximal Strength: A Meta-Analysis. *Sport. Med.* 2017, *47*, 2083–2100, doi:10.1007/s40279-017-0734-y.
- Washington, R.L.; Bernhardt, D.T.; Gomez, J.; Johnson, M.D.; Martin, T.J.; Rowland, T.W.; Small, E.;

- LeBlanc, C.; Malina, R.; Krein, C.; et al. Strength training by children and adolescents. *Pediatrics* 2001, *107*, 1470–1472.
14. Castro-Piñero, J.; Ortega, F.B.; Artero, E.G.; Girela-Rejón, M.J.; Mora, J.; Sjöström, M.; Ruiz, J.R. Assessing muscular strength in youth: Usefulness of standing long jump as a general index of muscular fitness. *J. Strength Cond. Res.* **2010**, *24*, 1810–1817, doi:10.1519/JSC.0b013e3181ddb03d.
 15. Faigenbaum, A.D.; McFarland, J.E.; Herman, R.E.; Naclerio, F.; Ratamess, N.A.; Kang, J.; Myer, G.D. Reliability of the one-repetition-maximum power clean test in adolescent athletes. *J. Strength Cond. Res.* **2012**, *26*, 432–437, doi:10.1519/JSC.0b013e318220db2c.
 16. Fry, A.C.; Irwin, C.C.; Nicoll, J.X.; Ferebee, D.E. Muscular strength and power in 3- To 7-year-old children. *Pediatr. Exerc. Sci.* **2015**, *27*, 345–354, doi:10.1123/pes.2014-0152.
 17. Myer, G.D.; Wall, E.J. Resistance Training in the Young Athlete. *Oper. Tech. Sports Med.* **2006**, *14*, 218–230, doi:10.1053/j.otsm.2006.04.004.
 18. Dalleck, L.C.; Tischendorf, J.S. Guidelines for Exercise Testing and Prescription (ACSM). In *Encyclopedia of Lifestyle Medicine & Health*; 2014.
 19. Stricker, P.R.; Faigenbaum, A.D.; McCambridge, T.M. Resistance training for children and adolescents. *Pediatrics* **2020**, *145*, doi:10.1542/peds.2020-1011.
 20. Lloyd, R.S.; Faigenbaum, A.D.; Stone, M.H.; Oliver, J.L.; Jeffreys, I.; Moody, J.A.; Brewer, C.; Pierce, K.C.; McCambridge, T.M.; Howard, R.; et al. Position statement on youth resistance training: The 2014 International Consensus. *Br. J. Sports Med.* **2014**, *48*, 498–505, doi:10.1136/bjsports-2013-092952.
 21. Faigenbaum, A.D.; Milliken, L.A.; Westcott, W.L. Maximal strength testing in healthy children. *J. Strength Cond. Res.* **2003**, *17*, 162–166, doi:10.1519/1533-4287(2003)017<0162:MSTIHC>2.0.CO;2.
 22. Sapega, A.A.; Drillings, G. The definition and assessment of muscular power. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **1983**, *5*, 7–9, doi:10.2519/jospt.1983.5.1.7.
 23. Faigenbaum, A.D.; Myer, G.D. Resistance training among young athletes: Safety, efficacy and injury prevention effects. *Br. J. Sports Med.* **2010**, *44*, 56–63.
 24. Johnson, B.A.; Salzberg, C.L.; Stevenson, D.A. A systematic review: Plyometric training programs for young children. *J. Strength Cond. Res.* **2011**, *25*, 2623–2633.
 25. Ortega, F.B.; Ortega, F.B.; Artero, E.G.; Ruiz, J.R.; España-Romero, V.; Jiménez-Pavón, D.; Vicente-Rodríguez, G.; Moreno, L.A.; Manios, Y.; Béghin, L.; et al. Physical fitness levels among European adolescents: the HELENA study. *Br J Sport. Med* **2011**, *45*, 20–29, doi:10.1136/bjism.2009.062679.
 26. Tomkinson, G.R.; Carver, K.D.; Atkinson, F.; Daniell, N.D.; Lewis, L.K.; Fitzgerald, J.S.; Lang, J.J.; Ortega, F.B. European normative values for physical fitness in children and adolescents aged 9-17 years: Results from 2 779 165 Eurofit performances representing 30 countries. *Br. J. Sports Med.* **2018**, *52*, 1445–1456, doi:10.1136/bjsports-2017-098253.
 27. Z, S.; J, M.; Z, H.; L, D.; O, S.; D, Z. Reference data for jumping mechanography in healthy children and adolescents aged 6-18 years. *J. Musculoskelet. Neuronal Interact.* **2013**, *13*, 297–311.
 28. Santos, A.N.; Pavão, S.L.; Avila, M.A.; Salvini, T.F.; Rocha, N.A.C.F. Reliability of isokinetic evaluation in passive mode for knee flexors and extensors in healthy children. *Brazilian J. Phys. Ther.* **2013**, *17*, 112–120, doi:10.1590/S1413-355520120050000074.
 29. Parsons, J.L.; Porter, M.M. Reliability of measuring hip and knee power and movement velocity in active youth. *Pediatr. Phys. Ther.* **2015**, *27*, 82–89, doi:10.1097/PEP.000000000000109.
 30. Orange, S.T.; Metcalfe, J.W.; Liefieith, A.; Marshall, P.; Madden, L.A.; Fewster, C.R.; Vince, R. V. Validity and Reliability of a Wearable Inertial Sensor to Measure Velocity and Power in the Back Squat and Bench Press. *J. strength Cond. Res.* **2018**, *33*, 2398–2408, doi:10.1519/JSC.0000000000002574.
 31. Meylan, C.M.P.; Cronin, J.B.; Oliver, J.L.; Hughes, M.M.G.; Jidovtseff, B.; Pinder, S. *The reliability of isoinertial force-velocity-power profiling and maximal strength assessment in youth*; 2015; Vol. 14;.
 32. Krabbe, P.F.M. Choice Models. In *The Measurement of Health and Health Status*; Elsevier, 2017; pp. 197–225.
 33. Hopkins, W.G. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sport. Med.* **2000**, *30*, 1–15.
 34. Grgic, J.; Lazinica, B.; Schoenfeld, B.J.; Pedisic, Z. Test-Retest Reliability of the One-Repetition Maximum (1RM) Strength Assessment: a Systematic Review. *Sport. Med. - Open* **2020**, *6*.
 35. Tánori-Tapia, J.M.; Romero-Pérez, E.M.; Camberos, N.A.; Horta-Gim, M.A.; Núñez-Othón, G.; Medina-Pérez, C.; de Paz, J.A. Determination of the Minimum Detectable Change in the Total and Segmental Volumes of the Upper Limb, Evaluated by Perimeter Measurements. *Healthcare* **2020**, *8*, 285, doi:10.3390/healthcare8030285.
 36. Fernandez-Santos, J.R.; Ruiz, J.R.; Cohen, D.D.; Gonzalez-Montesinos, J.L.; Castro-Piñero, J. Reliability and Validity of Tests to Assess Lower-Body Muscular Power in Children. *J. Strength Cond. Res.* **2015**, *29*, 2277–2285, doi:10.1519/JSC.0000000000000864.
 37. Faigenbaum, A.D.; W.L., W.; C., L.; R.L., L.; M., D.; L.J., M. Relationship between repetitions and selected percentages of the one repetition maximum in healthy children. *Pediatr. Phys. Ther.* **1998**, *10*, 110–113.

38. Robertson, R.J.; Goss, F.L.; Andreacci, J.L.; Dubé, J.J.; Rutkowski, J.J.; Frazee, K.M.; Aaron, D.J.; Metz, K.F.; Kowallis, R.A.; Snee, B.M. Validation of the children's OMNI-resistance exercise scale of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2005**, *37*, 819–826, doi:10.1249/01.MSS.0000162619.33236.F1.
39. Zaki, R.; Bulgiba, A.; Nordin, N.; Ismail, N.A. A systematic review of statistical methods used to test for reliability of medical instruments measuring continuous variables. *Iran. J. Basic Med. Sci.* **2013**, *16*, 803–807.
40. Koo, T.K.; Li, M.Y. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J. Chiropr. Med.* **2016**, *15*, 155–163, doi:10.1016/j.jcm.2016.02.012.
41. Rosner, B. Statistical methods in ophthalmology: an adjustment for the intraclass correlation between eyes - PubMed. *Biometrics* **1982**, *38*, 105–114.
42. Gillen, Z.M.; Miramonti, A.A.; McKay, B.D.; Leutzinger, T.J.; Cramer, J.T. Test-retest reliability and concurrent validity of athletic performance combine tests in 6-15-year-old male athletes. *J. Strength Cond. Res.* **2018**, *32*, 2783–2794, doi:10.1519/JSC.0000000000002498.
43. Ayán-Pérez, C.; Cancela-Carral, J.M.; Lago-Ballesteros, J.; Martínez-Lemos, I. Reliability of Sargent Jump Test in 4- to 5-Year-Old Children. *Percept. Mot. Skills* **2017**, *124*, 39–57, doi:10.1177/0031512516676174.
44. Santos, A.N.; Pavão, S.L.; Avila, M.A.; Salvini, T.F.; Rocha, N.A.C.F. Reliability of isokinetic evaluation in passive mode for knee flexors and extensors in healthy children. *Brazilian J. Phys. Ther.* **2013**, *17*, 112–120, doi:10.1590/S1413-35552012005000074.
45. Radnor, J.M.; Oliver, J.L.; Waugh, C.M.; Myer, G.D.; Lloyd, R.S. The influence of maturity status on muscle architecture in school-aged boys. *Pediatr. Exerc. Sci.* **2020**, *32*, 89–96, doi:10.1123/pes.2019-0201.
46. Kraemer, W.J.; Ratamess, N.A.; Hymer, W.C.; Nindl, B.C.; Fragala, M.S. Growth Hormone(s), Testosterone, Insulin-Like Growth Factors, and Cortisol: Roles and Integration for Cellular Development and Growth With Exercise. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. **2020**, *11*.
47. Kern, D.S.; Semmler, J.G.; Enoka, R.M. Long-term activity in upper- and lower-limb muscles of humans. *J. Appl. Physiol.* **2001**, *91*, 2224–2232, doi:10.1152/jappl.2001.91.5.2224.
48. Sinam, V.; Daimei, T.; Singh, I.D.; Devi, D. Comparison of the Upper and Lower Limbs-A Phylogenetic Concept. *IOSR J. Dent. Med. Sci. e-ISSN* **2015**, *14*, 14–16, doi:10.9790/0853-14811416.
49. E, R.; WR, F.; A, L.; D, F. Muscle strength and hormonal levels in adolescents: gender related differences. *Int. J. Sports Med.* **1998**, *19*, doi:10.1055/S-2007-971955.
50. Laurson, K.R.; Saint-Maurice, P.F.; Welk, G.J.; Eisenmann, J.C. Reference curves for field tests of musculoskeletal fitness in U.S. children and adolescents: The 2012 nhanes national youth fitness survey. *J. Strength Cond. Res.* **2017**, *31*, 2075–2082, doi:10.1519/JSC.0000000000001678.

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).