



ORIGINALES CIENTÍFICOS

EFFECTIVIDAD DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN NIÑOS Y ADOLESCENTES. UN META-ANÁLISIS

Christian MARTÍN GARCÍA

Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires. Argentina

RESUMEN

Objetivos: 1. Verificar la efectividad del entrenamiento de fuerza muscular en niños y adolescentes mediante la realización de un Meta-Análisis. 2. Analizar si existen diferencias estadísticamente significativas en la ganancia de fuerza entre diferentes grupos musculares. **Metodología:** Se procedió con la búsqueda de estudios en PUBMED. Luego se calculó el tamaño del efecto medio y se evaluó la existencia de sesgo de publicación. Por último, en los casos que se detectó heterogeneidad, se procedió a realizar un análisis de meta-regresión multivariado. **Resultados:** Para los grupos musculares inferiores se obtuvo una diferencia de medias estandarizada de 1.05 (0.85-1.25, 95% IC; $p < 0.01$), y para los grupos musculares superiores de 1.32 (1.08-1.56, 95% IC; $p < 0.01$). Mediante el FAT-PET test se confirmó presencia de sesgo de publicación. En el caso de los grupos musculares inferiores se pudo explicar un 82% de la variabilidad de la SMD y para los grupos musculares superiores un 71%. **Conclusión:** Se pudo verificar que el entrenamiento de fuerza en niños y adolescentes es efectivo, y se corroboró que las diferencias en las ganancias de fuerza entre los grupos musculares inferiores y superiores no son estadísticamente significativas.

PALABRAS CLAVE: Meta-análisis; Efectividad; Entrenamiento de fuerza; Niños y adolescentes.



EFFECTIVENESS OF STRENGTH TRAINING IN CHILDREN AND ADOLESCENTS. A META-ANALYSIS

ABSTRACT

Objectives: 1. Verify the effectiveness of muscle strength training in children and adolescents by conducting a meta-analysis. 2. Analyse whether there are statistically significant differences in strength gains between different muscle groups. **Methodology:** The search was performed for studies with PUBMED data base. Then the mean effect size was calculated and FAT-PET test was applied to rule out any possible publication bias. Upon detection of heterogeneity, we proceeded to a multivariate regression analysis. **Results:** For the lower muscle groups a standardized mean difference of 1.05 (0.85-1.25, 95% CI; $p < 0.01$) was obtained, and the upper muscle groups of 1.32 (1.08-1.56, 95% CI; $p < 0.01$). The FAT-PET test was confirmed publication bias. For the lower muscle groups could explain 82% of the variability and the upper muscle groups 71%. **Conclusion:** It can be concluded that strength training in children and adolescents is effective, and confirmed that differences in strength gains between the upper and lower muscle groups are not statistically significant.

KEYWORDS: Meta-analysis; Effectiveness; Strength training; Children and adolescent.

Correspondencia: Christian Martín García. Email: christianmartingarcia@hotmail.com

Historia del artículo: Recibido el 6 de septiembre de 2015. Aceptado el 5 de mayo de 2016

El incremento de la fuerza muscular es un factor positivo para los atletas en la gran mayoría de los deportes. Por este motivo, es importante identificar los métodos de entrenamiento que mejoran la fuerza muscular. En los niños y adolescentes, el aumento de la fuerza dependerá de la cantidad de esfuerzo que estén dispuestos a realizar en el programa de entrenamiento y de la estructura sistemática de los estímulos que se incluyan en este (Kraemer y Ratamess, 2004). Estos autores mencionan que los principales componentes que debe contener un programa de entrenamiento de fuerza son:

- I. La supervisión de expertos,
- II. El establecimiento de objetivos apropiados,
- III. La evaluación del progreso del entrenamiento de acuerdo a los objetivos fijados,
- IV. La correcta prescripción de las variables del programa,
- V. La focalización de métodos específicos de progresión en distintas áreas musculares.

En este sentido, es importante verificar si el entrenamiento de fuerza es lo suficientemente seguro para recomendar a los jóvenes. Varios estudios han señalado que el entrenamiento de fuerza es una actividad segura para los niños y adolescentes, no obstante, algunos de ellos también mencionan que pueden sufrir lesiones con el entrenamiento de fuerza. Sin embargo, estos estudios mencionan que la mayoría de estas lesiones ocurren cuando los niños o adolescentes intentan usar técnicas de levantamiento para las cuales no tienen la suficiente fuerza o habilidad, de modo que no pueden ejecutarlas correctamente, esto se debe a una falta o inadecuada supervisión cuando usan pesos libres (Mazur, Yetman y Risser, 1993; Risser, Risser y Preston, 1990; Risser, 1991). Es importante mencionar que la National Strength and Conditioning Association (NSCA) (Faigenbaum et al., 1996), la Academia Americana de Pediatría (American Academy of Pediatrics, 2001), la Asociación Británica de Deporte y Ciencias del Ejercicio (Stratton et al., 2004) y el Colegio Americano de Medicina del Deporte (American College of Sports Medicine, 2005) han publicado directrices y recomendaciones para el entrenamiento de fuerza en personas jóvenes, luego de llegar a la conclusión de que es una forma segura de ejercicio siempre que se supervise de cerca y los programas de ejercicio estén diseñados correctamente. Sumado a esto, existe una fuerte evidencia derivada de estudios científicos que han estudiado el entrenamiento de fuerza en jóvenes, en los cuales se aclara que ningún sujeto ha sufrido lesiones (Ingle, Sleaf y Tolfrey, 2006; Faigenbaum, Milliken y Westcott, 2003; Faigenbaum, Zaichkowsky, Westcott, Micheli y Fehlandt, 1993; Faigenbaum et al., 1996; Ozmun, Mikesky y Surburg, 1994; Ramsay et al., 1990; Servedio, 1985; Sewall & Micheli, 1986; Weltman et al., 1986). En varios estudios realizados por Faigenbaum, fueron testeados niños de 5 a 12 años, en levantamientos máximos llevados a cabo en ejercicios como press de pecho y sentadilla sin sufrir ningún tipo de lesión (Faigenbaum, Westcott, LaRosa-Loud y Long, 1999; Faigenbaum et al., 2001; Faigenbaum et al.,

2002). No obstante, Faigenbaum aclara que las pruebas máximas en niños deben realizarse con una supervisión adecuada, de otra manera no son recomendables ya que posibilitan la aparición de lesiones (Faigenbaum et al., 2003). Por último, algunos autores sugieren que los niños y adolescentes no deben ser expuestos a ejercicios que provoquen dolor muscular, así como tampoco a métodos de entrenamiento excéntrico (Proske y Allen, 2005).

Existen diversos factores que influyen en la ganancia de fuerza muscular, dentro de los más importantes se encuentran el volumen del entrenamiento y la intensidad promedio a la que éste se realiza. El volumen de entrenamiento está compuesto de diferentes variables como el número de repeticiones que se mueve la carga antes de una pausa, la cantidad de series, la frecuencia de las sesiones semanales, el volumen de la carga y la duración total del programa de entrenamiento (Blimkie, 1992; Faigenbaum, 2003; Westcott, 1995).

Un meta-análisis realizado para evaluar el tamaño del efecto del entrenamiento de fuerza en jóvenes menores de 18 años, verificó una correlación positiva entre la duración del programa y la ganancia de fuerza muscular ($r = 0.22$; $p = 0.04$) (Payne, Morrow, Johnson & Dalton, 1997). Por su parte, Blimkie realizó una evaluación en la mitad del programa de entrenamiento de fuerza (13 semanas), la cual reveló que el 90% de las ganancias de fuerza muscular reportadas al final del estudio, ya estaban presentes luego de la mitad del entrenamiento (Blimkie et al., 1996). Otro estudio que comparó los cambios en los niveles de fuerza en niños pre-púberes, advirtió que a las 10 semanas del estudio (sobre un total de 20 semanas de intervención), de la ganancia total de fuerza que fue un 22%, un 77% de la ganancia total ya se había dado en las primeras 10 semanas del estudio (Ramsay et al., 1990), esto sugiere que la ganancia de fuerza se produce en forma no lineal sobre la duración del programa y a un ritmo decreciente.

La mayoría de las recomendaciones tienden a dar un tono de cautela al sugerir cargas, permitiendo la realización de 8 a 15 ($\cong 65\%$ de 1 RM) repeticiones culminando antes de la fatiga, especialmente en el caso de los niños más pequeños o aquellos que están experimentando ejercicios de fuerza por primera vez (American Academy of Pediatrics Committee on Sports Medicine and Fitness, 2001; Faigenbaum, 1996). En varios estudios realizados por Faigenbaum, se examinó la eficacia de la utilización de una carga que normalmente se asocia con la resistencia muscular en lugar de la fuerza (15-20 repeticiones; $\cong 52\%$ de 1 RM) y se comparó con bajas repeticiones y una carga mayor (6-10 repeticiones; $\cong 66\%$ de 1 RM). Se determinó que ambas cargas dieron lugar a aumentos significativos en 1 RM de press de pecho (21-23%) en el grupo experimental después de 8 semanas de entrenamiento en comparación con el grupo control (1%). Sin embargo, el grupo experimental que trabajó con repeticiones altas y cargas bajas, demostró un aumento (42%) en la resistencia muscular local que fue significativamente mayor que en el grupo control (4%). Los autores hicieron hincapié en que estos estudios fueron diseñados para fines prácticos a fin de identificar el programa más eficaz para los niños no entrenados que usan sólo un protocolo único de conjunto y en consecuencia estos resultados no pueden aplicarse a niños y jóvenes atletas. En función de esto, se concluyó que los niños no entrenados deberían realizar repeticiones altas, con una carga baja o moderada (13-15 repeticiones; $\cong 70\%$ de 1 RM o 15-20 repeticiones; $\cong 52\%$ de 1 RM) (Faigenbaum et al., 2001; Faigenbaum et al., 2004; Faigenbaum, Milliken, Moulton y Westcott, 2004).

Las recomendaciones para personas jóvenes sugieren que estos deberían realizar un programa de entrenamiento de fuerza con una frecuencia semanal de 2 veces (American College of Sports Medicine, 1995; Biddle, Sallis y Cavill, 1998; Department of Health, 2005). Sin embargo, más del 50% de los estudios revisados, utilizan una frecuencia semanal de tres veces. En un estudio realizado por Gillam (1981), se asignó a niños y adolescentes en cinco grupos, quienes entrenaron de una a cinco veces por semana, en un período de 9 semanas. Se identificó que, los cambios absolutos y relativos en los niveles de fuerza en 1 RM de press de pecho aumentaron en función del aumento de la frecuencia de entrenamiento, experimentando mayores ganancias el grupo que entrenó cinco veces por semana. En contraste, Stahle Roberts, Davis y Rybicki (1995) concluyeron que un entrenamiento con una frecuencia semanal de dos veces es tan eficaz como uno de tres veces por semana, en comparación con ningún entrenamiento, durante un período de 9 meses, en un grupo de niños de 7 a 16 años. Faigenbaum et al. (2002) estudió a niños en edad pre-puberal por un período de 8 semanas, con una frecuencia de entrenamiento semanal de una vez, y concluyó que hubo cambios significativos en el grupo tratado respecto del grupo control en 1 RM de press de piernas, no así en 1 RM de press de pecho.

METODOLOGÍA

La fuerza muscular es un factor clave en diferentes deportes. Además de su importancia en la preparación de atletas jóvenes para la competencia, se ha demostrado que el entrenamiento de fuerza tiene un importante impacto en aspectos relacionados con la salud, tales como la prevención de lesiones o aumento de la densidad mineral (Heidt, Sweeterman, Carlonas, Traub y Tekulve, 2000; Hewett, Lindenfeld, Riccobene y Noyes, 1999). Aunque el entrenamiento de fuerza en los niños y adolescentes fue un tema muy debatido dentro de las últimas 3 décadas, la mayoría de la literatura reciente menciona que es eficaz y seguro en todas las fases de madurez si la supervisión es realizada por profesionales idóneos, si se diseñan programas apropiados para la edad, y se utiliza una progresión gradual (Blimkie y Bar-Or, 2008; Matos y Winsley, 2007). En función de lo anterior, se intentará responder a las siguientes preguntas:

¿Es eficaz el entrenamiento de fuerza muscular para aumentar los niveles de fuerza en niños y adolescentes?

¿Existen diferencias significativas en la ganancia de fuerza muscular entre los grupos musculares inferiores y superiores?

Búsqueda de los estudios

Selección de estudios

Para seleccionar los estudios a incluir en el meta-análisis se establecieron los siguientes criterios de inclusión:

Martín García, C. (2016). Efectividad del entrenamiento de fuerza en niños y adolescentes. Un meta-análisis. *Revista Española de Educación Física y Deportes*, 414, 19-37

1. Los estudios científicos deben estar escritos en idioma inglés y español.
2. El diseño de los estudios debe incluir una intervención de entrenamiento de fuerza.
3. Los efectos del entrenamiento de fuerza deben incluir en su reporte los valores medios y las desviaciones estándar de los grupos control y experimental en el pre-test y post-test.
4. Los participantes de los estudios deben ser menores a 18 años inclusive y estar aparentemente sanos¹.

Extracción de datos

En principio, se realizó una búsqueda electrónica en la base de datos PUBMED. El período de búsqueda se llevó a cabo entre el 01/11/2014 y se extendió hasta el 01/01/2015. Para ello, se confeccionó una ecuación de búsqueda mediante la utilización de los descriptores MeSH² y de operadores booleanos, la cual estuvo constituida por los siguientes términos:

“resistance training[MeSH Major Topic] AND (children OR adolescents)”

Los resultados obtenidos fueron 62 estudios, de los cuales se examinaron los resúmenes para determinar si podían llegar a cumplir con los criterios de selección establecidos anteriormente, y poder recuperarlos para decidir acerca de su inclusión. Se excluyeron 52 artículos debido a que no cumplían con los criterios de inclusión establecidos anteriormente (7 porque no contaban con grupo control, 9 debido a que la población no era sana, 36 ya que carecían de las medidas necesarias para calcular el tamaño del efecto). Por último, se llevó a cabo una búsqueda manual en las referencias bibliográficas de los artículos incluidos para identificar bibliografía que no se haya encontrado en la búsqueda. Analizados los resultados obtenidos en la búsqueda se determinó la inclusión de 12 estudios.



Figura 1. Resultados de Búsqueda en PUBMED

¹ Es importante aclarar que en la muestra seleccionada se incluyeron algunos estudios que contenían niños y/o adolescentes que presentaban obesidad y/o sobrepeso.

² Medical Subject Headings

Martín García, C. (2016). Efectividad del entrenamiento de fuerza en niños y adolescentes. Un meta-análisis. *Revista Española de Educación Física y Deportes*, 414, 19-37

Cálculo del tamaño del efecto y análisis estadístico

Para evaluar la eficacia del entrenamiento de fuerza en niños y adolescentes se calculó el tamaño del efecto mediante el estadístico de diferencia de medias pre-test y post-test³:

$$d_{ppc=c_p} \left[\frac{(M_{post,t} - M_{pre,t}) - (M_{post,c} - M_{pre,c})}{SD_p} \right]$$

Calculado la diferencia de medias de cada unidad de análisis, se procedió al cálculo del tamaño del efecto medio utilizando el modelo de efectos fijos:

$$T_i = \mu_{\theta} + \varepsilon_i$$

Este modelo implica un factor de ponderación para cada estimación del tamaño del efecto por la inversa de la varianza intra-estudio:

$$w_i = \frac{1}{V(T_i)}$$

La elección de este modelo se justifica debido a que se asumió que debe contemplarse la variabilidad intra-estudios (Sánchez-Meca, Marín-Martínez & Medina, 2006). Estimado el tamaño del efecto, y detectados altos niveles de heterogeneidad, se procede a realizar un análisis de variables moderadoras, en función de esto, se realizó una meta-regresión multivariada para observar cuáles son las variables moderadoras que afectan la homogeneidad del tamaño del efecto.

RESULTADOS

Determinación del tamaño del efecto

En la tabla 1, pueden observarse los resultados del tamaño del efecto para los grupos musculares inferiores. Estos resultados fueron estimados por efectos fijos y son estadísticamente significativos [SMD=1.05 (efectos fijos)]. Un punto a destacar es que, varios estudios presentan un límite inferior del IC (95%) por debajo de 0 (Benson, 2008; Faigenbaum, 2007; Teng, 2008; Viciano, 2013), por lo tanto, los resultados de esos estudios deben tomarse con cierta precaución. Por último, se observa un alto nivel de heterogeneidad entre los resultados (93.4%), lo que hace necesario un análisis de meta-regresión con el objetivo de estudiar cuales son las covariables que pueden explicar dicha heterogeneidad.

³ Para más información ver ANEXO I.

Tabla 1. Tamaño del efecto para grupos musculares inferiores

Estudio	Año	SMD ^a	L. Inf. ^b	L. sup. ^c	%Weight ^d
Abbasian	2012	1.29	0.36	2.21	4.54
Benson	2008	0.42	-0.25	1.09	8.61
Faigenbaum	1999	1.51	0.76	2.25	7.07
Faigenbaum	1993	3.31	2.01	4.62	2.28
Faigenbaum	2007	0.35	-0.40	1.11	6.72
Fontoura	2004	1.31	0.145	2.49	2.83
Lee	2012	1.94	1.04	2.83	4.85
Lillegard	1997	6.98	5.49	8.47	1.76
Meinhardt	2013	3.12	2.54	3.71	11.51
Stenevi	2008	0.44	0.05	0.83	25.46
Teng	2008	0.78	-0.06	1.63	5.37
Vicana	2013	-0.09	-0.54	0.36	19
I-V pooled SMD ^e		1.05	0.85	1.25	100
$H_0: SMD=0^f$					p=0.00
I^2g					93.4%

Nota: ^aDiferencia de medias estandarizadas, ^bLímite inferior del IC al 95%, ^cLímite superior del IC al 95%. ^dPorcentaje del peso de cada estudio dentro de la muestra. ^eDiferencia de medias estandarizadas agrupada estimada por efectos fijos. ^fPrueba de hipótesis sobre la diferencia de medias estandarizadas agrupada. ^gEstadístico que denota la heterogeneidad entre estudios.

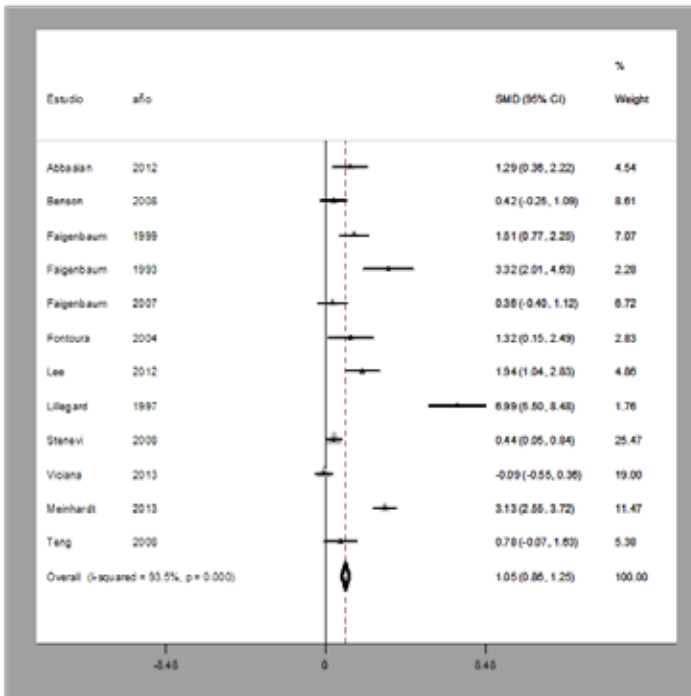


Figura 2. Forest plot del tamaño del efecto (grupos musculares inferiores)

Martín García, C. (2016). Efectividad del entrenamiento de fuerza en niños y adolescentes. Un meta-análisis. *Revista Española de Educación Física y Deportes*, 414, 19-37

En las figuras 2 y 3 se reportan los resultados de la diferencia de medias tanto a nivel individual como agrupada para los grupos musculares superiores e inferiores mediante el *forest plot* (un gráfico usado comúnmente en los meta-análisis para visualizar el tamaño del efecto de los estudios). En la parte derecha del gráfico se informa el primer autor del estudio y a su lado el año de publicación. Los puntos de color negro representan la diferencia de medias de cada estudio, siendo la línea negra los extremos de su intervalo de confianza (límite inferior y límite superior del IC al 95%), mientras que el triángulo gris informa el peso de la muestra de cada estudio sobre la suma total de las muestras de los estudios seleccionados. Por último, la línea discontinua representa el *pooled SMD* (agrupación de la diferencia de medias estandarizadas).

En la tabla 2 se presentan los resultados del tamaño del efecto de los grupos musculares superiores estimados por efectos fijos. Los resultados agrupados también son estadísticamente significativos [$SMD=1.32$ (efectos fijos)]. Dado que aquí también varios estudios presentan un límite inferior del IC (95%) por debajo de 0 (Faigenbaum, 2007; Faigenbaum, 1999; Fontoura, 2004; Viciano, 2013), los efectos de dichos estudios pueden ser discutidos. Por último, se observa un alto nivel de heterogeneidad entre los resultados (94.5%), también aquí es necesario un análisis de meta-regresión.

Tabla 2. Tamaño del efecto para grupos musculares superiores

Estudio	Año	SMD ^a	L. Inf. ^b	L. sup. ^c	%Weight ^d
Abbasian	2012	9.91	6.72	13.08	0.57
Benson	2008	1.09	0.37	1.81	11.34
Faigenbaum	2007	0.11	-0.64	0.87	10.16
Faigenbaum	1993	8.27	5.63	10.91	0.83
Faigenbaum	1999	0.66	-0.02	1.34	12.48
Fontoura	2004	0.86	-0.24	1.96	4.77
Lee	2012	0.99	0.21	1.77	9.57
Lillegard	1997	6.17	4.83	7.51	3.23
Meinhardt	2013	2.79	2.24	3.34	19.27
Viciano	2013	0.38	-0.07	0.84	27.78
Teng	2008	0.78	-0.06	1.63	5.37
Viciano	2013	-0.09	-0.54	0.36	19
I-V <i>pooled SMD</i> ^e		1.32	1.08	1.56	100
$H_0: SMD=0$ ^f					p=0.00
I^2 ^g					94.5%

Nota: ^aDiferencia de medias, ^bLímite inferior del IC al 95%, ^cLímite superior del IC al 95%. ^dPorcentaje del peso de cada estudio dentro de la muestra. ^eDiferencia de medias agrupada estimada por efectos fijos. ^fPrueba de hipótesis sobre la diferencia de medias agrupada. ^gEstadístico que denota la heterogeneidad entre estudios.

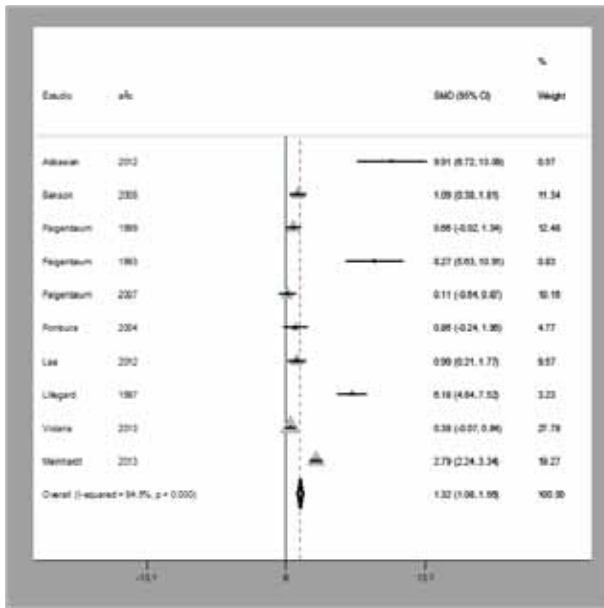


Figura 3. Forest plot del tamaño del efecto (grupos musculares superiores)

Dado que se observan diferencias entre las medias estandarizadas para los diferentes grupos musculares (inferiores y superiores), resulta pertinente investigar si estas diferencias son estadísticamente significativas. Para ello, realizamos una regresión con una variable *dummy* que toma el valor de 1 si la diferencia de medias refiere a los grupos musculares inferiores y el valor de 0 para los grupos musculares superiores.

Tabla 3. TRegresión sobre SMD

Variable dependiente SMD	Modelo 1
Covariable	
Dummy	-1.34 (1.21)
Intercepto	3.12*** (0.89)
Observaciones	22
R-cuadrado ajustado	0.06

Nota: Errores estándar entre paréntesis. *** indica significatividad estadística al 99% del intervalo de confianza.

En la tabla 3 puede observarse que la media del tamaño del efecto (TE) es 3.12, no obstante, si bien como vimos anteriormente las medias de los dos grupos difieren visualmente, la diferencia que logra captar la variable *dummy* no resulta significativa, por lo tanto, su diferencia no es estadísticamente significativa ($p > 0.10$).

Análisis de sesgo de publicación

Un problema con el que se encuentra frecuentemente el investigador en el meta-análisis es el sesgo de publicación. Este sesgo ocurre cuando los investigadores, editores o árbitros tienen una preferencia por los resultados estadísticamente significativos (Rose y Stanley, 2005). Entonces, el problema con el sesgo de publicación es que se tenderá a exagerar la magnitud de la estimación. Dado este problema, es importante investigar el sesgo de publicación y en caso de ser posible corregir las estimaciones.

El método convencional para estudiar el sesgo de publicación es mediante una inspección gráfica con el denominado *funnel plot*, este consiste en un diagrama de dispersión de precisión que relaciona $1/\text{error estándar}$ vs. efecto estimado. Si no hubiera sesgo de publicación, el *funnel plot* debería tomar la forma de un embudo invertido ancho en la parte inferior donde se ubicarían los estudios con muestras más pequeñas, reduciéndose esa base a medida que sube. Pero el concepto más importante para la detección del sesgo es la asimetría, en este sentido, si los estudios se encuentran simétricamente distribuidos a lo largo y ancho del embudo invertido se podría intuir la ausencia de sesgo, en caso contrario, el sesgo estaría presente. Sin embargo, las inspecciones visuales tienen un componente importante de subjetividad del investigador, para evitar esto, se propone un test más formal para detectar sesgos (*FAT-PET test*), cuyo modelo es:

$$effect_i = \beta + \beta_0 Se_i + \varepsilon_i$$

donde se realiza una meta-regresión entre el efecto reportado del estudio i y su error estándar. En las figura 4 y 5 podemos ver el funnel plot tanto para grupos musculares inferiores como para superiores. La línea punteada indica el pooled effect, y los puntos el efecto de cada uno de los estudios. Si se observa detenidamente se ve claramente una asimetría que tiende hacia la derecha lo que hace posible la existencia de un sesgo de publicación.

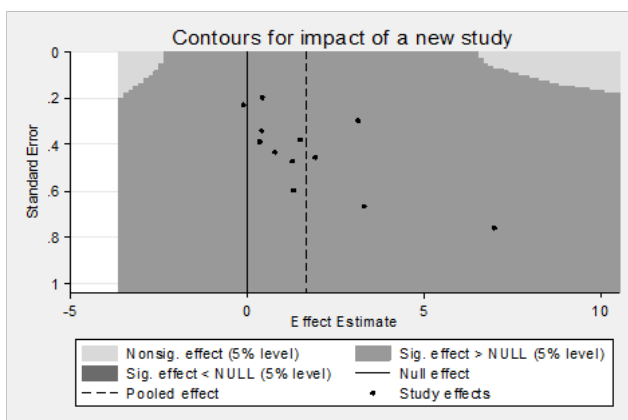


Figura 4. *Funnel plot* para grupos musculares inferiores

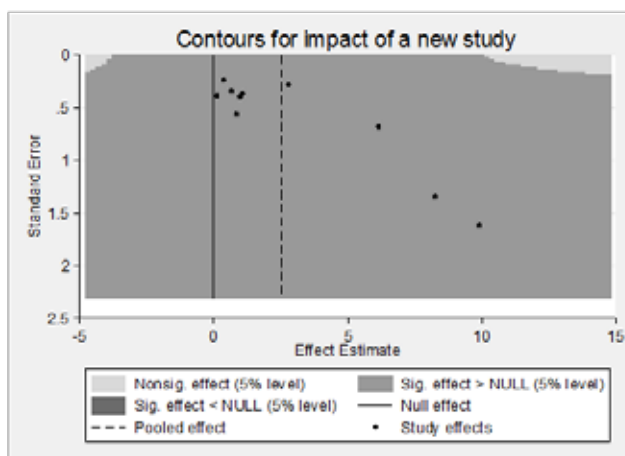


Figura 5. *Funnel plot* para grupos musculares superiores

Una forma de evaluar más objetivamente el sesgo de publicación es mediante una meta-regresión entre el tamaño del efecto y su error estándar.

Tabla 4. Test *FAT-PET*

Grupos musculares inferiores	<i>FAT-PET</i>	Grupos musculares superiores	<i>FAT-PET</i>
Precisión (efecto)	-0.90 (0.89)	Precisión (efecto)	-0.80 (0.97)
Constante (sesgo)	6.04** (2.54)	Constante (sesgo)	6.07** (2.51)
Observaciones	12	Observaciones	10
R^2	0.29	R^2	0.35

Nota: Errores estándar entre paréntesis. Tanto la estimación para *FAT-PET* se realizó con errores robustos (*Huber-White heteroskedasticity robust*). *** indica significatividad estadística al 99% del intervalo de confianza, ** al 95% y * al 90%. *FAT-PET*: Test de asimetría de embudo y precisión del efecto.

En la tabla 4 se presentan los resultados del *FAT-PET* test para grupos musculares superiores e inferiores. En este caso el sesgo para ambos es estadísticamente significativo con un $\alpha=0.05$.

Análisis de sensibilidad

Para estudiar la robustez o sensibilidad de *Pooled (SMD)*, resulta pertinente realizar un análisis de sensibilidad. Este consiste en analizar como influye la estimación individual de cada estudio sobre la estimación global, para ello la estimación de *Pooled (SMD)* es repetida tantas veces como estudios se hayan seleccionado, de esta forma, cada repetición omite un estudio combinando todos los restantes. En función de este análisis se entiende que la estimación es robusta si al omitirse un

estudio no cambia la dirección ni la significación del efecto global. En la figura 6 se observa que la mayor variación de la magnitud del TE se produce cuando se elimina el estudio de Lillegard (1997) (TE=0.94) y el de Meinhardt (2013) (TE=0.78). En tanto en la figura 7, al igual que para los grupos musculares inferiores se observa que la mayor variación de la magnitud del TE se produce cuando se elimina el estudio de Lillegard (1997) (TE=0.97) y el de Meinhardt (2013) (TE=1.16).

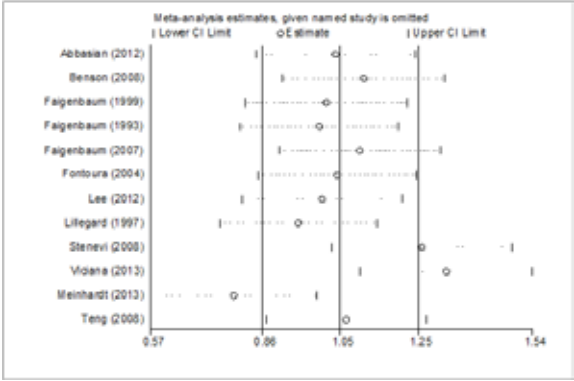


Figura 6. Análisis de sensibilidad para grupos musculares inferiores

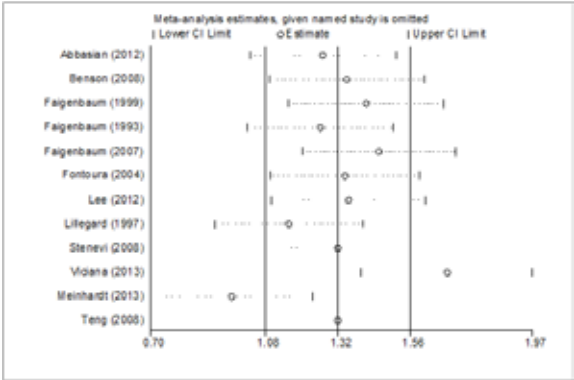


Figura 7. Análisis de sensibilidad para grupos musculares superiores

De acuerdo con estos resultados, se observa que el análisis de sensibilidad presenta signos de robustez estadística dado que la magnitud de la diferencia de medias estandarizadas se mantiene constante en la mayoría de los estudios.

Análisis de meta-regresión multivariado

Como se mencionó anteriormente, ante los altos niveles de heterogeneidad detectados en el meta-análisis, resulta pertinente realizar una meta-regresión multivariada con el objetivo de analizar que variables permiten explicar la variabilidad de los

resultados en cada estudio. En la tabla 5 se presentan la descripción de las variables a incluir en el análisis de meta-regresión junto con sus estadísticas descriptivas.

Tabla 5. Descripción de variables

Variable	Descripción	N	Media	S.D.	Min	Max
Año de publicación ≥2000	1; 0 para todo lo demás	12	0.75	0.45	0	1
Edad promedio ≥10 años	1; 0 para todo lo demás	12	0.75	0.45	0	1
Peso promedio ≥50 kg	1; 0 para todo lo demás	12	0.33	0.49	0	1
Altura promedio ≥140 cm	1; 0 para todo lo demás	12	0.75	0.45	0	1
Período de entrenamiento ≥10 semanas	0.1; 0 para todo lo demás	12	0.50	0.52	0	1
Frecuencia semanal de entrenamiento ≥3 veces	1; 0 para todo lo demás	12	0.42	0.51	0	1
Minutos de entrenamiento por sesión ≥45 minutos	1; 0 para todo lo demás	12	0.75	0.45	0	1

De acuerdo a las estimaciones de la tabla 6, en el modelo 1 (grupos musculares inferiores) puede observarse que logra explicar un 82% de la variabilidad de la SMD. Además, se puede mencionar que dentro de las co-variables que presentan significatividad estadística se encuentran el año de publicación ($p<0.05$), la altura promedio ($p<0.01$) y el período de entrenamiento ($p<0.05$). En cuanto al modelo 2 (grupos musculares superiores), si bien logra explicar un 71% de la variabilidad de la SMD, no se presenta significatividad estadística.

Tabla 6. Análisis de meta-regresión multivariado

Variables	Modelo 1 (Grupos musculares inferiores)	Modelo 2 (Grupos musculares superiores)
Error estándar (Precisión)	-8.79 (3.99)	11.25 (6.72)
Año de publicación ≥2000	-7.55** (1.78)	-4.01 (3.21)
Edad ≥10	0.82 (0.91)	-0.08 (3.35)
Peso promedio ≥50 kg	1.74 (0.81)	-1.34 (1.25)
Altura promedio ≥140 cm	3.01* (1.17)	-3.41 (5.32)
Período de entrenamiento ≥10 semanas	3.39** (0.70)	1.86 (0.84)

Tabla 6. Análisis de meta-regresión multivariado (continuación)

Variables	Modelo 1 (Grupos musculares inferiores)	Modelo 2 (Grupos musculares superiores)
Frecuencia semanal	1.61	-5.16
>=3	(0.76)	(5.35)
Minutos de entrenamiento	0.87	8.51
>=45	(1.04)	(11.78)
Intercepto (Sesgo)	4.80*	-3.26
	(1.65)	(2.39)
Observaciones	12	10
R-cuadrado ajustado	0.82	0.71

Nota: Errores estándar entre paréntesis. Tanto la estimación para el modelo 1 como para el modelo 2 se realizaron con errores robustos (*Huber-White heteroskedasticity robust*). *** indica significatividad estadística al 99% del intervalo de confianza, ** al 95% y * al 90%.

DISCUSIÓN

En función de los resultados obtenidos se comparan los mismos con otros estudios de la misma temática. En un meta-análisis realizado por Falk & Tenenbaum (1996) sobre niños pre-púberes (menores a 12-13 años), con una muestra de 9 estudios, se verificó un tamaño del efecto de 0.57 ± 0.12 . Estos resultados difieren de los encontrados en este meta-análisis, dichas diferencias pueden deberse a que la base de los estudios incluidos no solo contempla a niños pre-púberes, por lo tanto, es posible que la inclusión de participantes de mayor edad genere diferencias mayores en el tamaño del efecto. Otro meta-análisis realizado por Behringer et al. (2010) sobre niños y adolescentes (menores de 18 años) se observó un TE de 1.12 ± 0.11 (random effects). Posteriormente en dicho estudio, se realizó un análisis de subgrupos que reveló que las variables maduración, duración del entrenamiento y frecuencia, encuentran una correlación positiva con el TE. Estos resultados se asemejan a los obtenidos en este estudio (SMD=1.05 grupos musculares inferiores $p < 0.01$; SMD=1.32 grupos musculares superiores $p < 0.01$). En relación con el análisis de meta-regresión, aquí también se encontró significatividad estadística en los grupos musculares inferiores para la variable duración o período de entrenamiento, no así para las demás variables.

En relación con las limitaciones de este estudio, se debe mencionar que la muestra de estudios incluidos es baja (12 para los grupos musculares inferiores; 10 para los grupos musculares superiores), y presenta signos de sesgo de publicación, lo que podría sobre-estimar el tamaño del efecto obtenido. Por otro lado, en el análisis de sensibilidad efectuado, la eliminación de algunos estudios afecta la magnitud del TE. Asimismo, la heterogeneidad encontrada es alta, y no se logró explicar el 100% de la misma, sobre todo hay que destacar la falta de significatividad estadística en el análisis de meta-regresión del modelo 2 (grupos musculares superiores). Por último, se debe resaltar, que aunque las ganancias de fuerza muscular

reflejan diferencias a simple vista entre los grupos musculares analizados, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en relación con la ganancia de fuerza muscular entre los grupos musculares inferiores y superiores.

CONCLUSIÓN

En primer lugar, se obtuvo un tamaño del efecto (diferencia de medias estandarizadas) para los grupos musculares inferiores de 1.05 ($p < 0.01$) y para los grupos musculares superiores de 1.32 ($p < 0.01$). Estos resultados evidencian la efectividad del entrenamiento de fuerza en niños y adolescentes, sin embargo, la diferencia entre los grupos musculares superiores e inferiores no es estadísticamente significativa. Luego de realizar el análisis de sensibilidad para estos resultados se verificó que los mismos presentan signos de robustez estadística. Para evaluar un sesgo de publicación se construyeron gráficos de *funnel plot* donde se observó un posible sesgo. Para confirmar el sesgo se realizó el *FAT-PET test* en donde se encontró evidencia de sesgo de publicación. Por último, se realizó un análisis de meta-regresión en donde se encontraron como variables que afectan la variabilidad del TE, el período de entrenamiento, año de publicación de los estudios y altura promedio de los participantes.

APLICACIÓN PRÁCTICA

El presente estudio pretende servir como evidencia acerca de la efectividad del entrenamiento de fuerza en niños y adolescentes. En este sentido, se espera que sea de utilidad para los profesionales de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.

REFERENCIAS

- Abbasian, S., Attarzadeh, S.R., Darzabi, T. y Momeni, M. (2012). The Exhaustive Resistance Exercises with various Resistances increases the Local Strength of Youth Muscles. *Research Journal of Recent Sciences*, 1 (4), 53-56. Recuperado de <http://www.isca.in/tjrs/archive/v1i4/8.ISCA-RJRS-2012-045%20Done.pdf>.
- American College of Sports Medicine. (1995). *Guidelines for exercise testing and prescription for children, the elderly, and pregnancy*. Williams & Wilkins, Philadelphia, PA.
- American College of Sports Medicine. (2005). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription (7th ed.)*. Lippincott, Williams and Wilkins, Philadelphia, PA.
- Baker, J.S., Davies, B., Cooper, S.M., Wong, D.P., Buchan, D.S. y Kilgore, L. (2013). Strength and Body Composition Changes in Recreationally Strength-Trained Individuals: Comparison of One versus Three Sets Resistance-Training Programmes. *BioMed Research International*, 1-6. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3780552/pdf/BMRI2013-615901.pdf>.
- Behringer, M., Von Heede, A., Yue, Z., Mester, J. & Mult. (2010). Effects of Resistance Training in Children and Adolescents: A Meta-Analysis. *Pediatrics*, 126 (5), 1199-1210. Recuperado de <http://pediatrics.aappublications.org/content/126/5/e1199.full.pdf+html>.
- Benson, A.C., Torode, M.E. y 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, 1016-1027. Recuperado de <http://www.nature.com/ijo/journal/v32/n6/pdf/ijo20085a.pdf>.
- Martín García, C. (2016). Efectividad del entrenamiento de fuerza en niños y adolescentes. Un meta-análisis. *Revista Española de Educación Física y Deportes*, 414, 19-37

- Bernhardt, D.T., Gomez, J., Johnson, M.D., Martin, T.J., Rowland, T.W., Small, E., LeBlanc, C., Malina, R., Krein, C., Young, J.C., Reed, F.E., Anderson, S.J., Griesemer, B.A. y Bar-Or O. (2001). *Strength training by children and adolescents*. *Pediatrics*, 107 (6), 1470–1472.
- Biddle, S., Sallis, J.S. y Cavill, N. (1998). *Young and active? Young people and health enhancing physical activity—evidence and implications*. London: Health Education Authority.
- Blimkie, C.J. y Bar-Or, O. (2008). *Muscle strength, endurance, power: trainability during childhood*. In: Hebestreit, H., Bar-Or, O., editions *The Young Athlete*
- Blimkie, C.J. (1992). Resistance training during pre and early puberty: efficacy, trainability, mechanisms, and persistence. *Canadian Journal of Sport Science*, 17 (4), 264–279.
- Blimkie, C.J.R., Rice, S., Webber, C.E., Martin, J., Levy, D. y Gordon, C.L. (1996). Effects of resistance training on bone mineral content and density in adolescent females. *Canadian Journal Physiological Pharmacology*, 74 (9), 1025–1033.
- Department of Health. (2004). *At least five a week: evidence on the impact of physical activity and its relationship to health. A report from the Chief Medical Officer*. Department of Health, London.
- Faigenbaum A.D. (2003). Youth resistance training. President's council on physical fitness and sports. *Research digest*, 4 (3), 1–8. Recuperado de <https://www.presidentschallenge.org/informed/digest/docs/200309digest.pdf>.
- Faigenbaum A.D., Milliken L., Moulton L. y Westcott, W.L. (2005). Early muscular fitness adaptations in children in response to two different resistance training regimens. *Pediatric Exercise Science*, 17 (3), 237–248.
- Faigenbaum, A.D., Kraemer, W.J., Cahill, B., Chandler, J., Dziados, J., Elfrink, L.D., Forman, E., Gaudiose, M., Micheli, L., Nitka, M. y Roberts S. (2009). Youth resistance training: Updated Position Statement Paper From the National Strength and Conditioning Association. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (5), 60–79. Recuperado de <file:///C:/Users/ChristianMartin/Downloads/Position%20Stand%20Youth%20Resistance%20Training.pdf>.
- Faigenbaum, A.D., LaRosa-Loud, R., O'Connell, J., Glover, S. y Westcott, L. (2001). Effects of different resistance training protocols on upper-body strength and endurance development in children. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15 (4), 459–465.
- Faigenbaum, A.D., McFarland, J.E., Keiper, F.B., Tevlin, W., Ratamess, N.A., Kang, J. y Hoffman J.R. (2007). Effects of a short-term plyometric and resistance training program on fitness performance in boys age 12 to 15 years. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6 (4), 519–525. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3794493/pdf/jssm-06-519.pdf>
- Faigenbaum, A.D., Milliken, L.A. y Westcott W.L. (2003). Maximal strength testing in healthy children. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (1), 162–166.
- Faigenbaum, A.D., Milliken, L.A., LaRosa-Loud, R., Burak, B.T., Doherty, C.L. y Westcott, W.L. (2002). Comparison of 1 and 2 days per week of strength training in children. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73 (4), 416–424. DOI:10.1080/02701367.2002.10609041.
- Faigenbaum, A.D., Westcott, W.L., LaRosa Loud, R. y Long, C. (1999). The Effects of Different Resistance Training Protocols on Muscular Strength and Endurance Development in Children. *Pediatrics*, 104 (1), 1-7. Recuperado de <http://pediatrics.aappublications.org/content/104/1/e5.full.pdf+html>.
- Faigenbaum, A.D., Westcott, W.L., LaRosa-Loud, R. y Long, C.J. (1999). The effects of different resistance training protocols on muscular strength and endurance development in children. *Pediatrics*, 104 (1), 1-7. Recuperado de <http://pediatrics.aappublications.org/content/104/1/e5.full.pdf+html>.
- Faigenbaum, A.D., Westcott, W.L., Micheli, L.J., Outerbridge, A.R., Long, C.J., LaRosa-Loud, R. y Zaichkowsky, L.D. (1996). The effects of strength training and detraining on children. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10 (2), 109–114.
- Faigenbaum, A.D., Zaichkowsky, L.D., Westcott, W.L., Micheli, L.J. y Fehlandt, A.F. (1993). The effects of a twice-a-week strength training program on children. *Pediatric Exercise Science*, 5 (4), 339–446.
- Falk, B., Tenenbaum, G. (1996). The Effectiveness of Resistance Training in Children, A Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 22 (3), 176–186.
- Fountoura, A.S., Schneider, P. y Meyer, F. (2004). Effect of the muscular strength detraining in prepubertal boys. *Rev Bras Med Esporte*, 10 (4), 285–288. Recuperado de http://www.scielo.br/pdf/rbme/v10n4/en_22044.pdf.
- Gillam, G.M. (1981). Effects of frequency of weight training on muscle strength enhancement. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 21 (4), 432–436.

- Heidt, R.S., Sweeterman, L.M., Carlonas, R.L., Traub, J.A. y Tekulve, F.X. (2000). Avoidance of soccer injuries with sesason conditioning. *American Journal of Sports Medicine*, 28 (5), 659-662.
- Hewett, T.E., Lindenfeld, T.N., Riccobene, J.V. y Noyes, F.R. (1999). The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, 27 (6), 699-706.
- Ingle, L., Sleep, M. y Tolfrey, K. (2006). The effect of a complex training and detraining programme on selected strength and power variables in early pubertal boys. *Journal of Sports Science*, 24 (9), 987-997. DOI:10.1080/02640410500457117.
- Kraemer, W.J. y Ratamess N.A. (2004). Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36 (4), 674-688. Recuperado de http://saudeemovimento.net.br/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/443_fundamentals_of_resistance_training.pdf.
- Lee, S., Bacha, F., Hannon, T, Kuk, J.L., Boesch, C. y Arslanian, S. (2012). Effects of Aerobic Versus Resistance Exercise Without Caloric Restriction on Abdominal Fat, Intrahepatic Lipid, and Insulin Sensitivity in Obese Adolescent Boys. *Journal of Diabetes*, 61 (11), 2787-2795. Recuperado de <http://diabetes.diabetesjournals.org/content/61/11/2787.full.pdf+html>.
- Lillegard, W.A., Brown, E.W., Wilson, D.J., Henderson, R. y Lewis, E. (1997). Efficacy of strength training in prepubescent to early postpubescent males and females: effects of gender and maturity. *Pediatric Rehabilitation*, 1 (3), 147-157. Recuperado de http://www.udel.edu/PT/PT%20Clinical%20Services/journalclub/sojc/03_04/Jan04/lillegard.pdf.
- Matos, N. y Winsley, R.J. (2007). Trainability of Young athletes and overtraining. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6 (3), 353-367. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3787286/pdf/jssm-06-353.pdf>.
- Mazur, L.J., Yetman, R.J. y Risser, W.L. (1993). Weight-training injuries. Common injuries and preventative methods. *Sports Medicine* 16 (1), 57-63.
- Meinhardt, U., Witassek, F., Petrò, R., Fritz, C. y Eiholzer, U. (2013). Strength Training and Physical Activity in Boys: a Randomized Trial. *Pediatrics*, 132 (6), 1105-1111. Recuperado de <http://pediatrics.aappublications.org/content/132/6/1105.full.pdf>.
- Ozmun, J.C., Mikesky, A.E. y Surburg P.R. (1994). Neuromuscular adaptations following pre-pubescent strength training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 26 (4), 510-514. DOI: 10.1249/00005768-199404000-00017.
- Payne, V.G., Morrow, J.R., Johnson, L. y Dalton S.N. (1997). Resistance training in children and youth: A meta-analysis. *Research Quarterly Exercise and Sport*, 68 (1), 80-88. DOI:10.1080/02701367.1997.10608869
- Proske, U. y Allen T.J. (2005). Damage to skeletal muscle from eccentric exercise. *Exercise and Sport Science Reviews*, 33 (2), 98-104. DOI:10.1097/00003677-200504000-00007.
- Ramsay, J., Blimkie, C.J.R., Smith, K., Garner, S., MacDougall, J.D. y Sale, D.G. (1990). Strength training effects in prepubescent boys. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22 (5), 605-614. DOI: 10.1249/00005768-199010000-00011.
- Risser, W.L. (1991). Weight-training injuries in children and adolescents. *American Family Physician*, 44 (6), 2104-2108.
- Risser, W.L., Risser, J.M. y Preston D. (1990). Weight-training injuries in adolescents. *American Journal of Disease Children*, 144 (9), 1015-1017. DOI:10.1001/archpedi.1990.02150330075025.
- Sánchez-Meca, J., Marin-Martínez, F. y Huedo-Medina, T. (2006). Modelo de efectos fijos y modelo de efectos aleatorios [Fixed-effects and random-effects models]. In J.L.R. Martín, A. Tobías. y T. Seoane (Coords.), Revisiones Sistemáticas en Ciencias de la Vida. Toledo: FISCAM.
- Servedio, F.J., Bartels, R.L., Hamlin, R.L., Teske, D., Shaffer, T. y Servedio, A. (1985). The effects of weight training, using Olympic style lift s, on various physiological variables in pre-pubescent boys. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 17 (2), 288.
- Sewall, L. y Micheli, L.J. (1986). Strength training for children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 6 (2), 143-146.
- Stahle, S.D., Roberts, S.O., Davis, B. y Rybicki, L.A. (1995). Effect of a 2 versus 3 times per week weight training program in boys aged 7 to 16. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27, S114.
- Stanley, T.D. y Andrew, K. (2005). A Meta-Analysis of the Effect of Common Currencies on International Trade. *Journal of Economic Surveys*, 19 (3), 347-365. Recuperado de <http://faculty.haas.berkeley.edu/arose/MetaR.pdf>.
- Stenevi-Lundgren, S., Daly, R.M. y Lindén, C. (2008). Effects of a daily school based physical activity

- intervention program on muscle development in prepubertal girls. *European journal of applied physiology*, 105 (4), 533-541. Recuperado de <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1271330&fileId=1275141>.
- Stratton, G., Jones, M., Fox, K.R., Tolfrey, K., Harris, J., Maffulli, N., Lee, M. y Frostick, S.P. (2004). Bases position statement on guidelines for resistance exercise in young people. *Journal Sports Science*, 22 (4), 383–390. DOI:10.1080/02640410310001641629.
- Teng, W.M., Keong, C.C., Ghosh, A.K. y Thimurayan, V. (2008). Effects of a Resistance Training Programme on Isokinetic Peak Torque and Anaerobic Power of 13-16 Years Old Taekwondo Athletes. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 2 (2), 111-121. Recuperado de <http://www.worldacademicunion.com/journal/SSCI/SSCIvol02no02paper08.pdf>.
- Viciana, J., Mayorga-Vega, D. y Cocca, A. (2013). Effects of a maintenance resistance training program on muscular strength in schoolchildren. *Kinesiology*, 45 (1), 82-91. Recuperado de file:///C:/Users/ChristianMartin/Downloads/939_Viciana.pdf.
- Weltman, A., Janney, C., Rians, C.B., Strand, K., Berg, B., Tippitt, S., Wise, J., Cahill, B.R. y Katch, F.I. (1986). The effects of hydraulic resistance strength training in pre-pubertal males. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 18 (6), 629–638. DOI:10.1001/archpedi.1987.04460070079030.
- Westcott, W. (1995). *Strength fitness* (4th ed.). Brown and Benchmark, Madison, W.I.