

# Posicionamiento sobre el entrenamiento de fuerza en jóvenes. Consenso Internacional de 2014

Rhodri S. Lloyd<sup>1</sup>, Avery D. Faigenbaum<sup>2</sup>, Michael H Stone<sup>3</sup>, Jon L. Oliver<sup>1</sup>, Ian Jeffreys<sup>4</sup>, Jeremy A. Moody<sup>1</sup>, Clive Brewer<sup>5</sup>, Kyle C. Pierce<sup>6</sup>, Teri M McCambridge<sup>7</sup>, Rick Howard<sup>8</sup>, Lee Herrington<sup>9</sup>, Brian Hainline<sup>10</sup>, Lyle J. Micheli<sup>11,12,13</sup>, Rod Jaques<sup>14</sup>, William J. Kraemer<sup>15</sup>, Michael G. McBride<sup>16</sup>, Thomas M. Best<sup>17</sup>, Richard Ramirez<sup>18</sup>, Donald A. Chu<sup>19,20</sup>, Brent A. Alvar<sup>19</sup>, Jonathan Esteve-Lanao<sup>21,22</sup>, Juan-Manuel Alonso<sup>23</sup>, Gregory D. Myer<sup>7,24,25</sup>

<sup>1</sup>Cardiff School of Sport, Cardiff Metropolitan University, UK. <sup>2</sup>Department of Health and Exercise Science. The College of New Jersey, USA. <sup>3</sup>Center of Excellence for Sport Science and Coach Education, East Tennessee State University, USA. <sup>4</sup>Faculty of Health, Sport and Science, University of South Wales, UK. <sup>5</sup>Widnes Vikings Rugby League Club, UK. <sup>6</sup>Department of Kinesiology and Health Science, Louisiana State University. Shreveport, USA. <sup>7</sup>Department of Pediatrics, University of Cincinnati, USA. <sup>8</sup>Department of Kinesiology, Temple University, USA. <sup>9</sup>School of Health Sciences, University of Salford, UK. <sup>10</sup>Chief Medical Officer. National Collegiate Athletic Association (NCAA). USA. <sup>11</sup>Department of Orthopaedics. Division of Sports Medicine, Boston Children's Hospital, Boston, Massachusetts, USA. <sup>12</sup>Harvard Medical School, Boston, Massachusetts, USA. <sup>13</sup>The Micheli Center for Sports Injury Prevention, Waltham, Massachusetts, USA. <sup>14</sup>Faculty of Sport and Exercise Medicine (FSEM), UK. <sup>15</sup>Human Performance Laboratory, Department of Kinesiology, University of Connecticut, USA. <sup>16</sup>Division of Cardiology, The Children's Hospital of Philadelphia, USA. <sup>17</sup>Division of Sports Medicine, Department of Family Medicine, Sports Health and Performance Institute, Ohio State University, USA. <sup>18</sup>Miami Marlins Baseball Club, USA. <sup>19</sup>Rocky Mountain University of Health Professions, Provo, UT, USA. <sup>20</sup>Athercare Fitness and Rehabilitation, Alameda, CA. <sup>21</sup>Secretaría de Educación del Gobierno del Estado de Yucatán, México. <sup>22</sup>Departamento de Fundamentos de la Motricidad y Entrenamiento Deportivo, Universidad Europea, Spain. <sup>23</sup>Sports Medicine Department, Aspetar, Qatar Orthopedics and Sports Medicine Hospital, Doha, Qatar. <sup>24</sup>Division of Sports Medicine, Cincinnati Children's Hospital Medical Center, Cincinnati, Ohio, USA. <sup>25</sup>Department of Orthopaedics, University of Cincinnati, Ohio, USA.

**Recibido:** 28.02.2014  
**Aceptado:** 07.03.2014

## Resumen

El manuscrito actual es la traducción del Posicionamiento sobre el Entrenamiento de Fuerza para Jóvenes: el Consenso Internacional de 2014. El consenso original es a su vez una adaptación del posicionamiento de la United Kingdom Strength and Conditioning Association. Ha sido revisado y respaldado por organizaciones profesionales relevantes en los campos de la medicina del deporte, la ciencia de la actividad física y la pediatría. Los autores de este artículo fueron seleccionados entre los campos de la ciencia del ejercicio pediátrico, la medicina pediátrica, la educación física, la preparación física y la medicina del deporte. El manuscrito fue publicado originalmente en el *British Journal of Sports Medicine* y representa el documento final ratificado oficialmente a nivel ejecutivo por cada organización que lo respalda. Para enlazar con la versión original del manuscrito en inglés diríjase a: <http://bjsm.bmj.com/content/early/2013/09/20/bjsports-2013-092952.full>.

## Palabras clave:

Entrenamiento de fuerza.  
Pediatría. Jóvenes.  
Levantamiento de pesas.

## Position statement on youth resistance training: the 2014 International Consensus

### Summary

The current manuscript is a translation of the Position statement on youth resistance training: the 2014 International Consensus. The original manuscript was adapted from the official position statement of the UK Strength and Conditioning Association on youth resistance training. It was subsequently reviewed and endorsed by leading professional organisations within the fields of sports medicine, exercise science and paediatrics. The authorship team for this article was selected from the fields of paediatric exercise science, paediatric medicine, physical education, strength and conditioning and sports medicine.

### Key words:

Resistance training.  
Paediatrics. Youth. Weightlifting.

**Respalddo por:** American Academy of Pediatrics (AAP); American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance (AAHPERD); American Medical Society for Sports Medicine (AMSSM); British Association of Sports Rehabilitators and Trainers (BASRaT); International Federation of Sports Medicine (FIMS); Faculty of Sport and Exercise Medicine (FSEM); North American Society for Pediatric Exercise Medicine (NASPEM); National Athletic Trainers' Association (NATA); Chief Medical Officer, National Collegiate Athletic Association (NCAA); National Strength and Conditioning Association (NSCA).

**Correspondencia:** Gregory D. Myer  
E-mail: [greg.myer@cchmc.org](mailto:greg.myer@cchmc.org)

## Definiciones operativas

Antes de revisar la literatura en torno al entrenamiento de fuerza en jóvenes, es conveniente definir la terminología clave que se utiliza a lo largo del manuscrito.

- *Niñez*. Representa el período de desarrollo de la vida desde el final de la infancia hasta el comienzo de la adolescencia. El término niños se refiere a los niños y niñas (generalmente hasta la edad de 11 años y 13 años respectivamente) que no han desarrollado características sexuales secundarias<sup>1</sup>.
- El término *adolescencia* se refiere a un período de la vida entre la niñez y la edad adulta. A pesar de que la adolescencia es un período más difícil de definir en términos de edad cronológica debido a los diferentes ritmos de maduración<sup>2</sup>, las niñas de 12-18 años y los niños de 14-18 años se consideran habitualmente adolescentes.
- Los términos de *Juventud* y *Jóvenes Deportistas* representan términos globales que incluyen tanto a los niños como a los adolescentes<sup>1</sup>.
- *El crecimiento* se ve típicamente como un cambio cuantificable en la composición corporal, el tamaño del cuerpo, o el tamaño de zonas específicas del cuerpo<sup>3</sup>.
- *La maduración* se refiere a la distribución de tiempo altamente variable y el ritmo de cambio progresivo en el cuerpo humano desde la niñez hasta la edad adulta, y que además del crecimiento influye en la capacidad de rendimiento físico en general<sup>3</sup>.
- *La Edad de Entrenamiento* se refiere al número de años que una persona ha participado en un programa de entrenamiento estructurado y adecuadamente supervisado<sup>4</sup>.
- *El Entrenamiento de fuerza* se refiere a un método especializado de acondicionamiento físico mediante el cual un individuo está trabajando frente a una amplia gama de cargas que le suponen una resistencia o sobrecarga con el fin de mejorar la salud, la condición física y el rendimiento<sup>5</sup>. Los medios de entrenamiento de fuerza incluyen el uso del peso corporal, máquinas de pesas, peso libre (barras y mancuernas), bandas elásticas y balones medicinales. Nota: para la edición en español de este posicionamiento, se ha decidido usar el término “entrenamiento de fuerza” como traducción del término inglés “*resistance training*”. Se decidió así para facilitar la lectura y comprensión general del posicionamiento, a sabiendas que no es una traducción literal del término, y ante la ausencia de un vocablo específico en español. Téngase en cuenta para no generalizar el concepto de “entrenamiento de fuerza” a otros medios de entrenamiento de fuerza no descritos en esta definición.
- *La Halterofilia* es un deporte que implica la realización de la arrancada y el dos tiempos para la competición<sup>6</sup>. El entrenamiento de *Levantamiento de Pesas* comprende una variedad de ejercicios multiarticulares incluyendo la arrancada y el dos tiempos, y las variantes modificadas de estos levantamientos, que son movimientos explosivos pero altamente controlados y que requieren un alto nivel de habilidad técnica.
- El término *Profesional Cualificado* se utiliza para referirse a las personas que están capacitadas y conscientes de las necesidades específicas tanto fisiológicas, físicas como psicosociales de niños y adolescentes, y poseen una certificación relevante y reconocida

en el acondicionamiento físico (por ejemplo, la *United Kingdom Strength and Conditioning Association* [UKSCA] *Accredited Strength and Conditioning Coach* o la *National Strength and Conditioning Association* [NSCA] *Strength and Conditioning Specialist*<sup>®</sup>). Es importante destacar que estos individuos deben tener una sólida formación pedagógica para asegurarse que tienen conocimiento de los diferentes estilos de comunicación e interacción que se necesitarán para enseñar o entrenar a los niños y adolescentes con eficacia<sup>4,5</sup>.

## Introducción

A raíz de los trascendentales intentos para transmitir preocupación en torno al entrenamiento de fuerza en jóvenes pre-pubescentes<sup>7</sup>, el concepto de participación de niños y adolescentes en varias formas de entrenamiento de fuerza ha hecho crecer el interés entre investigadores, profesionales clínicos y entrenadores profesionales. Existe ahora un cuerpo de evidencia convincente que apoya la participación regular en el entrenamiento de fuerza en los jóvenes con el fin de reforzar la salud y las adaptaciones físicas y mejorar el rendimiento deportivo. Existe un mayor apoyo para el uso del entrenamiento de fuerza en los jóvenes, siempre y cuando estos programas sean supervisados por profesionales cualificados y mientras sean coherentes con las necesidades, metas y habilidades de niños y adolescentes<sup>5,8-13</sup>. Los estudios científicos han indicado que varias formas de ejercicio de fuerza pueden producir mejoras significativas en el rendimiento en fuerza muscular<sup>14</sup>, producción de potencia muscular<sup>5,15</sup>, velocidad de carrera<sup>16</sup>, rapidez en los cambios de dirección<sup>17</sup>, y en el rendimiento motor en general<sup>12</sup> en jóvenes. Desde la perspectiva de la salud, la evidencia indica que el entrenamiento de fuerza puede causar alteraciones positivas en la composición corporal total<sup>18</sup>, reducción en la grasa corporal<sup>19,20</sup>, mejorar la sensibilidad a la insulina en los adolescentes obesos<sup>21</sup>, y mejorar la función cardiaca en los niños obesos<sup>22</sup>. Es importante destacar que también se ha demostrado que la participación regular en un programa de ejercicio apropiadamente diseñado que incluya entrenamiento de fuerza, puede mejorar la densidad mineral ósea, la salud esquelética<sup>23,24</sup>, y probablemente reducir el riesgo de lesiones deportivas en los deportistas juveniles<sup>25,26</sup>. Esto parece ser una consideración importante dado que aproximadamente 3,5 millones de las lesiones relacionadas con el deporte entre los deportistas jóvenes, requieren de consulta médica cada año en los Estados Unidos de América<sup>27</sup>. En comparación relativa con los datos de Europa, se halló que las lesiones deportivas en jóvenes requirieron hospitalización en 1,3 millones de los casos, en menores de 15 años de edad<sup>28</sup>. Además, la fuerza muscular y el entrenamiento de fuerza han sido asociados con la salud psicológica positiva y el bienestar de niños y jóvenes<sup>29-33</sup>.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y otras agencias públicas incluyen ahora los ejercicios de fuerza como parte de sus directrices sobre la actividad física para niños y adolescentes<sup>34-36</sup>. Sin embargo, hay evidencia reciente que indica que los niveles de fuerza muscular entre jóvenes de edad escolar está disminuyendo<sup>37-39</sup>. El entrenamiento de fuerza de manera progresiva, bajo la supervisión de profesionales cualificados, puede ofrecer un método seguro, efectivo y que vale la pena para dar marcha atrás a esta tendencia indeseable, mientras se fomenta la participación en el entrenamiento de fuerza como parte de

una elección de estilo de vida permanente. La importancia de la educación eficaz por profesionales cualificados es esencial<sup>4,5,40,41</sup>, ya que las experiencias positivas en educación física a temprana edad se asocian con la actividad física durante el resto de la vida<sup>42</sup>.

## Los efectos del crecimiento y maduración en el desarrollo de la fuerza muscular durante la infancia y adolescencia

Se ha establecido previamente que el desarrollo de la fuerza muscular es un componente multidimensional de la condición física que está influido por una combinación de factores musculares, neurales y biomecánicos<sup>43</sup>. Debido al desarrollo no lineal de procesos fisiológicos como la estatura y la masa corporal durante la infancia y la adolescencia, la evaluación y el seguimiento de la fuerza muscular puede ser una tarea difícil durante los años en crecimiento<sup>44</sup>. Del mismo modo, se observa un patrón no lineal cuando se examina el desarrollo de las cualidades de rendimiento físico en las poblaciones más jóvenes<sup>3</sup>. Las evaluaciones de fuerza muscular en niños y adolescentes indican que la fuerza aumenta de manera relativamente lineal a lo largo de la niñez tanto en niños como en niñas<sup>45</sup>. Conforme los niños alcanzan el inicio de la pubertad, atraviesan un periodo de crecimiento rápido que viene acompañado por aparentes mejoras no lineales de fuerza muscular<sup>46</sup>. Durante este periodo, comienzan a surgir diferencias en la fuerza muscular entre los sexos, donde los niños demuestran incrementos acelerados fruto del estirón en el crecimiento, y las niñas parece que siguen desarrollándose de una manera más lineal<sup>3</sup>. Los posibles factores que son inherentemente responsables de los aumentos en la fuerza durante la niñez parecen relacionarse con la maduración del sistema nervioso central<sup>47</sup>, por ejemplo, mejoras en el reclutamiento de unidades motoras, frecuencia de estimulación, la sincronización, y la mielinización neuronal<sup>48,49</sup>. Las mejoras de fuerza durante la adolescencia son producidas habitualmente por un mayor desarrollo neural, pero los cambios estructurales y arquitectónicos que resultan del aumento de las concentraciones de hormonas, incluyendo la testosterona, la hormona del crecimiento y del factor de crecimiento similar a la insulina, desempeñan un papel significativo, especialmente en varones<sup>2</sup>. Posteriores aumentos del área de sección transversal del músculo, el ángulo de penetración del músculo, y la continua diferenciación de las unidades motoras permitirán que los adolescentes puedan expresar mayores niveles de fuerza, y explicar en parte las diferencias en relación a la edad entre niños, adolescentes y adultos<sup>50</sup>. El número de fibras musculares que un individuo poseerá viene determinado por la miogénesis prenatal<sup>51</sup> y por lo tanto hay que indicar que los aumentos postnatales en el área de sección transversal del músculo se rigen en gran medida por el aumento del tamaño de la fibra muscular, no por el aumento del número de fibras musculares<sup>51,52</sup>. Las diferencias entre sexos en fuerza muscular son más evidentes a medida que los niños entran en la adolescencia, donde los varones superan habitualmente a las mujeres<sup>53</sup>. La investigación ha mostrado que el crecimiento muscular explicará en gran medida la disparidad entre los sexos, sobre todo para las medidas absolutas de la fuerza y la potencia muscular<sup>54,55</sup>. Es esencial que aquellos responsables de la enseñanza y la formación de los niños y adolescentes sean conscientes

de estos principios científicos pediátricos con el fin de asegurar que la prescripción de ejercicio se planifique de acuerdo a las demandas especiales de la persona y que incluyen los niveles de condición física de base, el desarrollo de habilidades motoras, el nivel de competencia motriz y la salud o aspectos médicos. Debido a la naturaleza altamente individualizada de crecimiento y maduración, los niños y adolescentes de la misma edad cronológica pueden variar notablemente en su estado biológico (hasta 4-5 años), y en consecuencia, la edad cronológica se considera como un indicador débil del estado de maduración<sup>56</sup>. Conocer la variación potencial en edad biológica entre los niños de la misma edad cronológica es un principio clave de la mayoría de los programas de desarrollo físico a largo plazo con el fin de asegurar que los jóvenes sean entrenados de acuerdo a su condición biológica, en contraposición a las clasificaciones por grupos de edad<sup>45,57-62</sup>. Además de la edad cronológica y edad biológica, aquellos que sean responsables del diseño y ejecución de los programas de entrenamiento de fuerza en jóvenes deben tener en cuenta los años de entrenamiento de la persona<sup>4</sup>. Desde la perspectiva del desarrollo, esto resulta de importancia crítica cuando entrenamos a un adolescente que se acerca a la edad adulta, pero que no tiene experiencia de participación en un programa de entrenamiento de fuerza estructurado. Por el contrario, un niño de 10 años de edad que sea técnicamente competente no debe limitarse a los métodos de entrenamiento de iniciación, siempre y cuando cuente con el interés y deseo de participar en programas de formación más avanzados<sup>4,63</sup>.

## Beneficios para la salud del entrenamiento de fuerza para los jóvenes

La Organización Mundial de la Salud reconoce actualmente la inactividad física como el cuarto factor de riesgo de la mortalidad mundial en las enfermedades no transmisibles, y apoya la participación en una amplia gama de actividades físicas incluyendo aquellas que fortalecen los músculos y huesos<sup>35</sup>. Ya que los jóvenes actuales no son tan activos como debieran<sup>64-67</sup>, los niños y adolescentes deben ser animados a participar regularmente en juegos, juegos deportivos, deporte y ejercicio planificado en el marco de la escuela y actividades de su comunidad. La actividad física es esencial no sólo para el crecimiento y desarrollo normal, sino que los programas para jóvenes que mejoran la fuerza muscular y habilidades motrices básicas a temprana edad también parece que constituyen las bases para un estilo de vida activo en el futuro<sup>68-71</sup>. Dado que la fuerza muscular es un componente esencial del rendimiento de las habilidades motrices<sup>2,12,72</sup>, el desarrollo de la aptitud y la confianza para llevar a cabo ejercicio de fuerza durante los años de crecimiento puede tener implicaciones importantes a largo plazo para la salud, la condición física y el rendimiento deportivo<sup>73</sup>.

El entrenamiento de fuerza, como parte de un programa de entrenamiento completo, puede ofrecer beneficios de salud excepcionales a niños y adolescentes cuando se prescribe y supervisa adecuadamente. Se ha demostrado que la participación habitual en un programa de entrenamiento de fuerza para jóvenes produce influencias positivas a corto plazo en la salud musculoesquelética, la composición corporal y los factores de riesgo cardiovascular<sup>11,74-77</sup>. Sin embargo, tras un periodo de desentrenamiento (8-12 semanas), parece que varias medidas de

la condición física muscular regresan a los niveles iniciales<sup>78-80</sup>, lo que sugiere que la participación en el entrenamiento de fuerza debería ser vista como un compromiso anual y a largo plazo, con un programa bien construido, variado y periodizado.

Dada la prevalencia creciente de la juventud con sobrepeso y obesidad, y las preocupaciones asociadas a la salud, se ha mostrado mayor atención a la influencia del entrenamiento de fuerza sobre la salud metabólica, la composición corporal y el perfil de riesgo de lesión de niños y adolescentes con grasa corporal excesiva<sup>21,81-86</sup>. Aunque se prescriba habitualmente ejercicio aeróbico de baja intensidad y larga duración para los jóvenes que tienen sobrepeso u obesidad, el exceso de peso y grasa corporal pueden dificultar la realización de actividades físicas tales como la carrera. Además, los adolescentes que tienen sobrepeso y obesidad son dos veces más propensos a sufrir lesiones en los deportes y otras actividades físicas en comparación con sus compañeros que no tienen sobrepeso u obesidad, por lo general debido a una menor capacidad para manifestar y mantener la estabilidad postural<sup>84</sup>. Además, los jóvenes que son considerados con sobrepeso y obesos parecen demostrar menor coordinación motriz que los jóvenes de peso normal<sup>87-89</sup>, lo que resulta preocupante debido a la relación que se establece entre la coordinación motora y los niveles de actividad física<sup>70, 90-92</sup>. Mientras que el tratamiento de los jóvenes que tienen sobrepeso y obesidad es complejo, la participación en un programa de entrenamiento formal que incluya el entrenamiento de fuerza puede suponer una oportunidad para mejorar su fuerza muscular, desarrollar la coordinación motora y ganar confianza a través de su percepción de destreza para resultar físicamente activo<sup>93,94</sup>.

La evidencia disponible indica que el entrenamiento de fuerza tiene el potencial de ofrecer un manifiesto valor de salud a los jóvenes sedentarios y a los deportistas jóvenes, y este tipo de entrenamiento debería ser diseñado siempre por profesionales cualificados para cubrir las necesidades de todos los niños y adolescentes, independientemente de su tamaño corporal o habilidad física.

## El entrenamiento de fuerza y el esqueleto en crecimiento

Desde una perspectiva de salud pública, hay que destacar que los temores tradicionales y las preocupaciones por desinformación respecto a que el entrenamiento de fuerza sería perjudicial para el desarrollo del esqueleto han sido sustituidos por informes que indican que la infancia puede ser el momento oportuno para construir masa ósea y mejorar la estructura de los huesos al participar actividades físicas que supongan el soporte de cargas<sup>95-97</sup>. Los temores de que el entrenamiento de fuerza podría lesionar las zonas de crecimiento de los jóvenes no son apoyados por informes científicos u observaciones clínicas, las cuales indican que el estrés mecánico localizado en las zonas de crecimiento por ejercicios de fuerza, o por deportes que suponen una demanda elevada como la gimnasia o levantamiento de pesas, puede ser beneficioso para la formación ósea y el crecimiento<sup>29,98-102</sup>. Aunque los niños tienen un menor riesgo de lesiones que los adultos en cuanto a esguinces articulares y lesiones musculares relacionadas con el entrenamiento de fuerza<sup>103</sup>, es esencial la atención al alineamiento postural inicial y la habilidad técnica durante todos los ejercicios a lo largo del

programa de entrenamiento para asegurar una práctica segura y eficaz, independientemente del medio de entrenamiento de fuerza. Mientras que numerosos factores incluyendo la genética y el estado nutricional influyen en la salud esquelética, la participación regular en programas de acondicionamiento físico y deportes que incluyan ejercicios multiarticulares con sobrecargas de moderada a alta intensidad pueden ayudar a optimizar la acumulación de densidad mineral ósea durante la infancia y la adolescencia<sup>23,24,97, 104-110</sup>. De hecho, la literatura sugiere que la niñez y la adolescencia son realmente períodos de desarrollo clave para aumentar la densidad mineral ósea, y que la falta de participación en actividad física moderada a vigorosa que suponga la carga de pesos durante estas etapas de crecimiento puede predisponer a las personas a problemas de salud ósea a largo plazo<sup>24,95,111</sup>. Por otra parte, no hay evidencia científica que indique que el entrenamiento de fuerza vaya a tener un efecto adverso en el crecimiento constante durante la niñez o adolescencia<sup>99,112</sup>, o reducir la estatura final en la edad adulta<sup>98-100</sup>.

## Beneficios para la prevención de lesiones del entrenamiento de fuerza para los jóvenes

Aunque la eliminación total de las lesiones relacionadas con el deporte y la actividad física es un objetivo irreal, los programas de entrenamiento globales que incluyan actividades de acondicionamiento general y específico de fuerza pueden ayudar a reducir la probabilidad de lesiones en la juventud. Cahill y Griffith<sup>113</sup> incorporaron entrenamiento de fuerza a su preparación física de pretemporada para jugadores adolescentes de fútbol americano y observaron una reducción de las lesiones no-graves de rodilla, así como de las lesiones de rodilla que requirieron cirugía, a lo largo de cuatro temporadas. Hejna *et al.*<sup>114</sup> observaron que los deportistas adolescentes que incorporaron el entrenamiento de fuerza a su programa de acondicionamiento físico sufrieron menos lesiones y se recuperaron de las lesiones empleando menor tiempo en su rehabilitación en comparación a compañeros de equipo que no participaron en un programa similar de entrenamiento de fuerza. De manera similar, Soligard *et al.*<sup>115</sup> redujeron con éxito el riesgo de lesiones graves y por sobrecarga en jugadoras de fútbol adolescentes, implementando un completo calentamiento que incorporaba ejercicios de fuerza. Igualmente, Emery y Meeuwisse<sup>116</sup> informaron de una reducción de la incidencia general de las lesiones y de las lesiones agudas en jugadores de fútbol adolescentes con el uso de un programa de entrenamiento integral que incluía entrenamiento de fuerza. Es digno de mención que la evidencia reciente sugiere que la adhesión de las jugadoras adolescentes de fútbol a los programas de prevención de lesiones es mayor cuando se facilita por medio de entrenadores adecuadamente capacitados<sup>117</sup>. Esto enfatiza la importancia de la formación regular de los entrenadores para asegurar que los profesionales cualificados entiendan las pautas mecánicas de las técnicas de ejercicio correctas, los principios fundamentales de la ciencia del ejercicio pediátrico y los aspectos pedagógicos de los programas de entrenamiento para jóvenes. A pesar de los estudios de casos que destacan lesiones relacionadas con el entrenamiento de fuerza agudo<sup>112,118,119</sup>, estas lesiones generalmente han ocurrido cuando los jóvenes están sin supervisión o

son supervisados por personas sin formación cualificada y/o realizaron cargas de entrenamiento inadecuadas<sup>29</sup>. Los datos recientes que examinan lesiones agudas relacionadas con el entrenamiento de fuerza en jóvenes y adultos revelan que aproximadamente el 77,2% de todas las lesiones son por accidente<sup>103</sup>, y que la mayoría de las lesiones serían potencialmente evitables con la supervisión adecuada, una progresión de entrenamiento prudente basada en la habilidad técnica y un entorno seguro de entrenamiento<sup>29</sup>. En relación a las lesiones por sobrecarga, la literatura indica que los programas de entrenamiento que son adecuadamente programados y supervisados reducirán la probabilidad de lesiones de sobrecarga que ocurren en poblaciones jóvenes<sup>120-122</sup>, y que el entrenamiento de fuerza que se centra en abordar los factores de riesgo asociados a lesiones deportivas juveniles (p. ej., la baja condición física, desequilibrios musculares y errores en entrenamiento) tiene el potencial de reducir las lesiones de sobrecarga en aproximadamente un 50% en niños y adolescentes<sup>26,123</sup>. Por ejemplo, los protocolos de entrenamiento que se incorporaron en la pre-temporada y los programas de preparación física durante la temporada redujeron los riesgos de lesiones de sobrecarga, y disminuyeron las lesiones del ligamento cruzado anterior en deportistas adolescentes<sup>124-128</sup>.

Parece que los programas globales que aumentan la fuerza muscular, mejoran la mecánica del movimiento, y mejoran las capacidades funcionales pueden ser la estrategia más eficaz para reducir las lesiones relacionadas con el deporte en los deportistas jóvenes<sup>116,124,129,130</sup>. Además, la eficacia de estos programas de prevención de lesiones es mayor si se implementan en grupos de edad más jóvenes antes de la aparición de déficits neuromusculares y alteraciones biomecánicas<sup>130,131</sup>. Claramente, la participación en la actividad física no debería comenzar con el deporte de competición, sino que debería desarrollarse a partir del acondicionamiento físico general que progresara de forma prudente a lo largo del tiempo. Esta idea es apoyada por el hecho de que las actividades básicas de salto y aterrizaje comunes tanto en deportes competitivos como en actividades de juego libre pueden exponer a las personas a las fuerzas de reacción del suelo de aproximadamente 5-7 veces su peso corporal<sup>132-133</sup>, y que son superiores a las fuerzas experimentadas durante las actividades de entrenamiento de fuerza.

Dado que la inactividad física es un factor de riesgo para las lesiones relacionadas con la actividad en los niños<sup>134</sup>, los jóvenes que participan regularmente en programas de acondicionamiento físico adecuados a la edad, que incluyen ejercicios de fuerza, pueden tener menos posibilidades de sufrir una lesión debido a la aparente disminución de actividad física en el tiempo libre entre los niños y adolescentes<sup>34,67,135-137</sup>. Por lo tanto, parece que el sistema músculo-esquelético de algunos jóvenes deportistas con aspiraciones puede estar mal preparado para las exigencias de la práctica del deporte y la competición<sup>25,29,138,139</sup>. Los posicionamientos recientes han reconocido la importancia de la actividad física y el deporte para la juventud, y promovido la identificación temprana de los déficits de aptitud física en jóvenes deportistas con aspiraciones y la prescripción adecuada de programas de entrenamientos para hacer frente a las limitaciones individuales<sup>140,141</sup>. En consecuencia, los jóvenes deportistas con aspiraciones deben ser animados a participar y apreciar el valor de los programas de acondicionamiento físico general polifacéticos que incluyen el entrenamiento de fuerza para hacer frente a los déficits de acondicionamiento muscular y desarrollo de habilidades, y

mejorar la simetría en el desarrollo de la fuerza alrededor de las articulaciones. Es importante destacar que para los jóvenes que participan en varios deportes o varias ligas dentro del mismo deporte, las sesiones de entrenamiento de fuerza no deben ser vistas simplemente como un añadido a su planificación general, sino que debe ser un componente obligatorio en lugar de pruebas competitivas adicionales o sesiones de entrenamiento específicas de su deporte.

## Consideraciones sobre el entrenamiento de fuerza para mujeres jóvenes

El crecimiento músculo-esquelético durante la pubertad, en ausencia de la correspondiente adaptación neuromuscular, puede facilitar el desarrollo de patrones articulares anormales y factores de riesgo de lesión en chicas adolescentes<sup>142,143</sup>. Si no se modifican, estos factores de riesgo intrínsecos pueden seguir desarrollándose a lo largo de la adolescencia, y con ello predisponer a las deportistas a un mayor riesgo de lesiones<sup>144,145</sup>. En un estudio longitudinal reciente, Ford *et al.*<sup>146</sup> señaló que las mujeres jóvenes que no participaron en los programas de entrenamiento de fuerza, a medida que maduraban desarrollaron factores de riesgo de lesiones (p. ej., mayor momento de valgo de rodillas al aterrizar). Por el contrario, se halló que aquellas deportistas que maduraban y que participaban en actividades de entrenamiento de fuerza tenían patrones de movimiento más seguros y mayor fuerza en la cadena posterior<sup>146</sup>.

Se ha demostrado que los programas de entrenamiento de fuerza globales bien supervisados reducen la biomecánica anormal (p. ej., el aumento del valgo de rodilla en el aterrizaje) que se manifiesta durante la adolescencia<sup>127,128,147,148</sup> y parecen disminuir las tasas de lesiones en mujeres deportistas<sup>127</sup>. Los resultados de un reciente meta-análisis revelaron a partir de la literatura existente que se producía una asociación relacionada con la edad entre el entrenamiento de fuerza y la reducción de la incidencia de lesiones de LCA únicamente en las deportistas más jóvenes (14-18 años), lo que indica que cuanto más temprano participen las jóvenes en un programa bien organizado que incluya entrenamiento de fuerza, menor será la probabilidad de lesión de LCA<sup>130</sup>. El entrenamiento de fuerza que se utilice para enriquecer el entorno de aprendizaje motor en la juventud puede iniciar adaptaciones y ayudar a los niños con baja aptitud motriz a "ponerse al día" respecto a sus compañeros en control neuromuscular<sup>149-153</sup>. Además de la reducción de las lesiones de rodilla en adolescentes<sup>154</sup> y mujeres deportistas adultas<sup>155</sup>, la participación regular en un programa de entrenamiento de fuerza global también puede inducir al "estirón neuromuscular", definido como los aumentos naturales de la potencia muscular, la fuerza y la coordinación que se producen progresivamente con la edad en los chicos adolescentes<sup>139</sup>, que no se ven normalmente en las mujeres<sup>128,153</sup>. Para los profesionales de la medicina del deporte, resulta de posible interés que el entrenamiento de fuerza acompasado con el crecimiento y el desarrollo puede inducir al estirón neuromuscular deseado, lo cual puede mejorar el rendimiento deportivo y mejorar la biomecánica relacionada con el riesgo de lesiones en mujeres deportistas<sup>128,144</sup>. Las ganancias relativas que se han observado en mujeres pueden llegar a ser mayores que en los hombres, quizás porque los niveles de rendimiento neuromuscular iniciales son generalmente más bajos (en promedio) en mujeres<sup>128,156-159</sup>.

## Beneficios psicosociales del entrenamiento de fuerza para la juventud

En el momento actual, la investigación que examina los beneficios psicológicos del entrenamiento de fuerza para la juventud es limitada, y la bibliografía disponible tiene por tanto hallazgos poco sólidos hasta el momento. Mientras que un pequeño número de estudios ha fracasado en demostrar los beneficios psicológicos significativos inducidos por el entrenamiento de fuerza en la juventud sana<sup>112,160</sup>, otras investigaciones indican que las intervenciones de actividad física que incluyen entrenamiento de fuerza pueden conducir a mejoras en el bienestar psicológico<sup>30,33</sup>, el estado de ánimo y la imagen de sí mismo<sup>161</sup>. Hay que destacar que los jóvenes que poseen niveles relativamente bajos de autoestima al inicio de un programa de ejercicio pueden ser más propensos a mostrar una mejora significativa en comparación con los que empiezan a entrenar con una imagen de sí mismo relativamente alta<sup>160</sup>.

Las investigaciones indican que la imagen de sí mismo y la auto-percepción están relacionados con el nivel de compromiso del individuo en la actividad física<sup>162-166</sup>. Se ha indicado que las chicas adolescentes mejoraron la auto-percepción sobre su físico como respuesta a un programa de entrenamiento de fuerza de ocho semanas<sup>167</sup>. De manera similar, se ha demostrado que varias medidas de imagen de sí mismo mejoran en chicos y chicas adolescentes después de un programa de 12 semanas de entrenamiento de fuerza<sup>168</sup>. En conjunto, estos hallazgos indican que el entrenamiento de fuerza adaptado a la edad puede tener una influencia favorable en el bienestar psicológico de los jóvenes en edad escolar, siempre y cuando que la auto-superación y el disfrute sigan siendo claves en el programa de entrenamiento.

Cabe señalar que los volúmenes excesivos de entrenamiento físico (incluido el entrenamiento de fuerza) podrían dar lugar a efectos psicosociales negativos, especialmente para aquellos jóvenes que son emocional y psicológicamente vulnerables<sup>169</sup>. Un entrenamiento excesivo con una recuperación inadecuada podrían llevar a un niño o adolescente a experimentar síndrome de sobre-entrenamiento, que se identifica por una mala adaptación duradera de los sistemas biológicos, neuroquímicos y hormonales. Además de las repercusiones fisiológicas negativas, el entrenamiento excesivo puede tener consecuencias psicológicas graves<sup>170</sup> y puede requerir de un tiempo considerable para un joven deportista hasta conseguir una recuperación completa<sup>171</sup>. Esto enfatiza la necesidad de una prescripción y supervisión adecuada, por parte de profesionales cualificados, que escuchen las preocupaciones individuales y entiendan la singularidad física y psicológica de las poblaciones más jóvenes.

## Eficacia del entrenamiento de fuerza en jóvenes para el desarrollo de la fuerza muscular, habilidades motrices y rendimiento físico

Los términos "entrenabilidad" o "capacidad de entrenamiento" describen la sensibilidad de los deportistas en desarrollo hacia un determinado estímulo de entrenamiento<sup>2</sup>. Como se ha documentado

anteriormente, los niños y adolescentes mejorarán sus niveles de fuerza muscular como resultado del crecimiento y la maduración<sup>2,3,172-174</sup>. El crecimiento y la maduración pueden ocultar los efectos del entrenamiento, ya que muy a menudo enmascaran los efectos potenciales de entrenamiento si la intensidad y el volumen del programa de acondicionamiento son inferiores a los óptimos<sup>170,175,176</sup>. El desarrollo adecuado de la fuerza muscular puede tener implicaciones importantes para el deporte y la vida cotidiana. Con el fin de inducir adaptaciones en la fuerza muscular por encima y más allá de aquellas que producen el crecimiento y la maduración por sí solos, el volumen y la intensidad de estímulo de entrenamiento deben ser suficientes<sup>2,5,12,177,178</sup>. Las investigaciones indican claramente que los programas de entrenamiento de fuerza planificados pueden beneficiar a los jóvenes de todas las edades, incluyendo niños de 5-6 años de edad, logrando mejoras notables en su condición muscular tras la exposición a ejercicios básicos de entrenamiento de fuerza con peso libre, bandas elásticas y máquinas de pesas<sup>161,179-181</sup>. Independientemente de la edad cronológica, se recomienda que cualquier niño que participe en un entrenamiento de fuerza sea lo suficientemente maduro emocionalmente para aceptar y seguir instrucciones, y poseer niveles competentes de equilibrio y control postural<sup>5,9</sup>. A pesar de que los datos indican que la magnitud de mejoras en la fuerza absoluta es mayor en adolescentes (tamaño del efecto = 1,91) en comparación a los niños (tamaño del efecto = 0,81)<sup>14</sup>, los incrementos relativos en la fuerza parecen ser similares durante los períodos de desarrollo de la niñez y la adolescencia<sup>119,182,183</sup>.

Se reconoce que la fuerza muscular es importante para el desempeño eficaz de las habilidades motrices<sup>2,72</sup>. Los resultados de un reciente meta-análisis mostraron que el entrenamiento de fuerza es eficaz para la mejora del rendimiento de las habilidades motrices (tareas de saltar, correr y lanzar), y que los niños mostraron mayores ganancias en el rendimiento que los adolescentes<sup>12</sup>. Estos hallazgos, además de varias revisiones<sup>4,13,14,25,29,74,100,182,184</sup> destacan la efectividad del entrenamiento de fuerza para mejorar el desempeño de las habilidades motrices en los jóvenes en edad escolar, y subrayan la importancia de implementar intervenciones progresivas desde los primeros años de vida, cuando los niños tienen niveles de plasticidad neural más elevados.

A pesar de la creciente evidencia que demuestra que el entrenamiento de fuerza puede conducir a mejoras permanentes en el rendimiento motor a través de aumentos de cualidades como la fuerza, la velocidad, la potencia y otras características relacionadas<sup>12</sup>, un aspecto de discusión entre algunos observadores se relaciona con el posible grado de hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento en niños antes de la pubertad<sup>170,185-187</sup>. La investigación existente sugiere que los aumentos en la fuerza muscular son un resultado de las adaptaciones del área de sección transversal del músculo, adaptaciones arquitectónicas (tamaño del músculo, longitud del brazo de palanca) y adaptaciones neurales (nivel de activación voluntaria)<sup>53,188</sup>. Sin embargo, los mecanismos parece que son distintos según la etapa de desarrollo, y son dependientes del tejido (p. ej., músculo vs. tendón). El principal mecanismo responsable de las ganancias inducidas por el entrenamiento de fuerza en la fuerza muscular y las características relacionadas antes de la pubertad depende ante todo de adaptaciones neurales<sup>2,49,189,190</sup>. Sin embargo, entre los primeros años de adolescencia y particularmente en la parte final de la misma, los efectos del entrenamiento de fuerza

parece que son resultado de las ganancias adicionales en masa magra y área de sección transversal del músculo (especialmente en los hombres); con alteraciones adicionales en mecanismos neurales que parecen ser las mismas que las adaptaciones experimentadas por los adultos<sup>14,191</sup>. Por lo tanto, el enfoque del entrenamiento de fuerza para los niños debe basarse en objetivos relacionados con la mejora de la fuerza muscular, la función y el control, en lugar de tratar de hacer aumentos sustanciales en el tamaño del músculo. En efecto, cuando se entrena a niños y adolescentes debe establecerse la adopción de un enfoque a largo plazo para el desarrollo físico con un entendimiento claro de los principales mecanismos responsables de las adaptaciones inducidas por el entrenamiento durante las diferentes etapas de desarrollo<sup>4,41</sup>.

En conjunto, la literatura existente pone de relieve una serie de conceptos importantes. En primer lugar, el entrenamiento de fuerza adecuado puede dar lugar a un mayor nivel de fuerza durante la niñez y la adolescencia<sup>12,14,184,192-197</sup>. Las ganancias en fuerza máxima han fluctuado aproximadamente desde 10% hasta el 90%<sup>14</sup>, dependiendo de varios factores que incluyen el volumen, la intensidad, la frecuencia, la duración y el diseño del programa de entrenamiento, así como la calidad de la supervisión<sup>198</sup>. Sin embargo, en general, ganancias de fuerza del 30 al 40% son esperables y se observan habitualmente en jóvenes previamente desentrenados cuando participan en un programa de introducción al entrenamiento de fuerza (8-20 semanas)<sup>5</sup>. En segundo lugar, el entrenamiento de fuerza tiene sólo un efecto menor asociado al sexo tanto en las ganancias de fuerza absoluta como relativa entre los niños pre-púberes. Sin embargo, la magnitud del efecto parece producirse en función del sexo en los grupos de mayor edad<sup>119</sup>. En tercer lugar, la evidencia indica que los programas más eficaces duran más de ocho semanas y comprenden varias series, y que por lo general las ganancias de la fuerza aumentan con la frecuencia semanal de entrenamiento<sup>12</sup>. Por último, después de un programa de entrenamiento corto, el desentrenamiento será bastante rápido<sup>78-80</sup>. Por consiguiente, los jóvenes deben ser animados a participar en entrenamiento de fuerza durante todo el año con el fin de mantener las ganancias inducidas por el entrenamiento de la fuerza muscular. Cabe señalar que los programas de entrenamiento de fuerza para jóvenes deberían seguir un modelo de entrenamiento con variedad progresiva y sistemática en la selección de los ejercicios, la intensidad, el volumen, la frecuencia y la velocidad de movimientos para mejorar las adaptaciones al entrenamiento, reducir el aburrimiento y disminuir el riesgo de lesiones de sobrecarga<sup>199-201</sup>. Los profesionales cualificados deben evaluar periódicamente la disposición de los jóvenes a participar en la sesión de entrenamiento de fuerza, y se deben adaptar las sesiones de entrenamiento cuando sea necesario.

## Levantamiento de pesas para los jóvenes

La literatura disponible indica que la participación en el deporte del levantamiento de pesas (halterofilia) y la realización de estos movimientos como parte de un programa de fuerza y acondicionamiento físico puede ser segura, eficaz y agradable para niños y adolescentes siempre que sea posible la supervisión e instrucción cualificada y que la progresión se base en la ejecución técnica de cada levantamiento<sup>41,103,202-204</sup>. Sin embargo, hay que enfatizar que, al margen de la elección de ejercicio, todos los programas de entrenamiento de fuerza para jóvenes deben

ser coherentes con los años de entrenamiento del participante, su destreza técnica y su estado de maduración. Además, dichos programas deberían ser dirigidos por profesionales cualificados conocedores de los procedimientos de entrenamiento de fuerza para jóvenes y capaces de enseñar y progresar sobre una variedad de ejercicios, incluyendo los movimientos de levantamiento de pesas.

Los ejercicios de levantamiento de pesas han sido utilizados previamente por los investigadores pediátricos para examinar los efectos potenciales de entrenamiento de fuerza-potencia en una serie de variables fisiológicas y de rendimiento<sup>202,205,206</sup>. Los datos recogidos de estos estudios indican que la incorporación de ejercicios de levantamiento de pesas en un programa de entrenamiento puede producir alteraciones positivas en la composición corporal, variables cardiorrespiratorias, diversos parámetros de aptitud motora (p. ej., saltos y carreras de velocidad) y el desempeño general de levantamiento de pesas entre los jóvenes<sup>202,205,206</sup>. Por otra parte, la tasa de lesiones en halterofilia se ha documentado como inferior a otras formas de entrenamiento de fuerza y a otros deportes en general<sup>202,203</sup>. Si el entrenamiento y la competición son supervisados adecuadamente y desarrollados con una progresión sensata, la realización de ejercicios de levantamiento de pesas puede proporcionar un estímulo seguro y eficaz para mejorar el rendimiento en la fuerza y la potencia en jóvenes en edad escolar. Debido al nivel de destreza requerido para realizar correctamente los movimientos del levantamiento de pesas, es importante que las personas encargadas de la enseñanza de movimientos complejos a los jóvenes posean el requisito de una formación cualificada en entrenamiento y tengan experiencia en la enseñanza del levantamiento de pesas a niños y adolescentes para garantizar su seguridad y bienestar.

## Pautas de entrenamiento de fuerza para niños y adolescentes

### Consideraciones sobre las variables de entrenamiento

#### Selección de los ejercicios

Si bien hay una serie de ejercicios a realizar usando una variedad de equipos que pueden ser prescritos a niños y adolescentes, es vital que se prioricen en todo momento los fundamentos de la habilidad técnica. Con los jóvenes que participan en un programa de entrenamiento de fuerza se aplican también los principios de adecuación de equipos y familiarización para la evaluación pediátrica. El uso de equipos de tamaño infantil (barras ligeras, pequeñas mancuernas o máquinas de pesos fijos) es importante para que los niños o adolescentes puedan ejecutar correctamente y con seguridad un movimiento con la técnica correcta<sup>219</sup>. Algunos de los medios de resistencia o sobrecarga disponibles para aquellos que prescriben programas de entrenamiento de fuerza para jóvenes incluyen el peso corporal, las máquinas de pesas, los pesos libres (es decir, barras y mancuernas), las cintas de resistencia elástica y balones medicinales; se ha comprobado que todos ellos provocan adaptaciones fisiológicas y/o mejora de rendimiento cuando se utilizan en programas de entrenamiento de fuerza para jóvenes<sup>17,21,79,80,112,128,153,179,192,207-218</sup>.

La selección de la modalidad de resistencia/sobrecarga dependerá en gran medida de la habilidad técnica y nivel inicial de condición física

de la persona, el nivel de experiencia como entrenador, el objetivo general del programa de entrenamiento, y la disponibilidad de los equipos. Sin embargo, cuando se desarrolla suficientemente la técnica básica de ejercicio con el peso corporal (p. ej., sentadillas con el propio peso corporal, desplantes, "splits" o "lunges", movimientos de empuje y tracción), se deben incorporar ejercicios con peso libre ya que se ha descrito que otras formas alternativas tales como las máquinas de resistencia variable estimulan con una menor activación muscular tanto el tren inferior<sup>220</sup>, como el tren superior<sup>221</sup>, o todo el cuerpo<sup>222</sup> en comparación a la resistencia con peso libre, al menos en población adulta. Para jóvenes técnicamente hábiles, las cualidades dinámicas se pueden mejorar con entrenamiento multiarticular en forma de peso libre (p. ej., el levantamiento de pesas y pliometría)<sup>204,211,213</sup>.

Para los jóvenes con una experiencia mínima de entrenamiento y pobre habilidad técnica asociada (es decir, pocos años de entrenamiento), los profesionales cualificados deben emplear una serie de ejercicios que están diseñados para promover el desarrollo de la fuerza muscular y mejorar la competencia global de las habilidades motrices básicas. La niñez se considera un momento crucial para desarrollar las habilidades motrices básicas, ya que durante estos años de formación la coordinación neuromuscular es más susceptible de cambiar<sup>223</sup>. Durante esta etapa del desarrollo, los niños experimentarán una rápida maduración del cerebro<sup>224</sup>, y la exposición de los niños a los patrones fundamentales del movimiento deportivo en un momento donde se lleva a cabo el fortalecimiento natural de las vías sinápticas existentes<sup>225</sup> y la poda sináptica<sup>226</sup> se considera crucial tanto para el desarrollo deportivo a largo plazo<sup>4</sup> como para la actividad física toda la vida<sup>227</sup>. Una vez que el niño puede demostrar competencia técnica adecuada, se le puede introducir en ejercicios más avanzados que desafían al niño en cuanto a la coordinación y que requieren mayores niveles y tasas de producción de fuerza. En el caso de ejercicios de levantamiento de pesas, que por su naturaleza son los movimientos más complejos, los investigadores han sugerido con anterioridad que la exposición temprana debe centrarse en el desarrollo técnico con equipos modificados y cargas externas livianas<sup>5,41</sup>.

### **Volumen e intensidad del entrenamiento**

El volumen y la intensidad son variables clave del entrenamiento de fuerza que son habitualmente manipuladas en una sesión de entrenamiento, o fase general del entrenamiento, dependiendo de la meta de entrenamiento primaria del individuo. El Volumen se refiere al número total de veces que se realiza un ejercicio en una sesión de entrenamiento, y se compone del número de series y el número de repeticiones dentro de cada serie<sup>228</sup>. La Intensidad se refiere más comúnmente a la resistencia que se utiliza para superarla durante una repetición<sup>228</sup>. La relación entre el volumen y la intensidad es inversa en su naturaleza; cuanto mayor sea la carga (intensidad), menor será el número de repeticiones que se puede completar (volumen) por el individuo<sup>228</sup>. Ambas variables deben considerarse sinérgicamente al prescribir el entrenamiento de fuerza, sin embargo, la intensidad del entrenamiento es posiblemente más importante, debido al riesgo de lesiones asociadas con la exposición de un niño o adolescente a una carga externa excesiva a costa de la técnica correcta.

Con el fin de prescribir la intensidad del entrenamiento adecuada, los profesores y entrenadores suelen establecer un porcentaje de una repetición máxima (1RM) de un individuo. Las investigaciones indican que la evaluación de la fuerza y potencia máxima de niños<sup>229</sup> y adolescentes<sup>230</sup> es segura y fiable cuando se establecen protocolos estandarizados y controlados por profesionales cualificados. Aunque las mediciones de 1RM se utilizan habitualmente en situaciones de investigación pediátrica y servicios de entrenamiento deportivo para jóvenes, debido al tiempo y al tamaño de las clases, los profesores de educación física y profesionales de acondicionamiento de jóvenes pueden beneficiarse de la utilización de medios alternativos de evaluación de la fuerza. Las ecuaciones predictivas que estiman valores de 1RM de cargas sub-máximas se han utilizado en las poblaciones de adultos<sup>231-233</sup>, sin embargo, los métodos de predicción de 1RM a partir de un alto número de repeticiones poseen menos precisión, en particular cuando se superan las 10 repeticiones<sup>229</sup>.

Además, los efectos de fatiga de un procedimiento basado en un mayor número de RM (p. ej., 5 RM o 10 RM) son considerables, ya que los efectos acumulativos de la fatiga influirán en la capacidad de un niño o adolescente a mantener la técnica adecuada de ejercicio a lo largo de la serie. Si se desea obtener una manifestación general de la fuerza muscular, existen medidas sencillas a obtener en campo tales como el salto vertical, el salto de longitud y la fuerza de presión manual que se han correlacionado significativamente con los niveles de 1RM de fuerza en jóvenes y que pueden servir como una medida alternativa adecuada de fuerza muscular, especialmente en escuelas y entornos recreativos<sup>234, 235</sup>. Es fundamental señalar que un niño o adolescente debe ser capaz de demostrar competencia técnica independientemente de la carga de RM o la prueba seleccionada.

### **Progresión de volumen e intensidad**

Cuando los jóvenes desentrenados o sedentarios, con pocos años de entrenamiento y pobre competencia técnica se inician por primera vez en programas de entrenamiento de fuerza formales, es innecesario usar mediciones de 1RM (reales o estimadas) para determinar las intensidades de entrenamiento. Por consiguiente, un rango de repeticiones adecuado debe ser prescrito para desarrollar las habilidades técnicas y adquirir un nivel básico de adaptación, y con el tiempo la carga externa puede aumentarse siempre que la técnica de ejercicio haya mejorado lo suficiente. Para personas sin experiencia previa de entrenamiento de fuerza, la prescripción inicial debe utilizar un volumen bajo (1-2 series) e intensidad de entrenamiento baja a moderada ( $\leq 60\%$  de 1RM) con diversos ejercicios y patrones de movimiento<sup>199</sup>. Cabe señalar que si los niños están realizando ejercicios de entrenamiento multiarticulares (p. ej., sentadillas), podría ser contraproducente para el desarrollo del control motor realizar muchas repeticiones. En su lugar, se recomienda que los niños realicen menos repeticiones (1-3) y que proporcione retroalimentación en tiempo real después de cada repetición para asegurar el desarrollo de movimiento seguro y correcto. Esto es especialmente así para los ejercicios de halterofilia, que naturalmente requerirán retroalimentación más frecuente debido a las mayores exigencias técnicas de sus movimientos. Una vez se domine la técnica básica del ejercicio, la prescripción debe progresarse, por ejemplo, a 2-4 series de 6-12 repeticiones con una intensidad de entrenamiento

de baja a moderada ( $\leq 80\%$  de 1RM). Esta progresión debe proveer al niño de una experiencia suficiente a fin de ayudar al desarrollo del control motor, mientras que actúa como un volumen adecuado para el acondicionamiento físico. A medida que los años de entrenamiento y la aptitud física aumenta, se puede introducir a los jóvenes en fases periódicas de entrenamiento con los rangos de repeticiones más bajos ( $\leq 6$ ) y mayores cargas externas ( $>85\%$  de 1RM), con la condición de que la destreza técnica permanezca<sup>15,77,202,236,237</sup>.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que no todos los ejercicios deben ser realizados con el mismo número de series y repeticiones durante una sesión de entrenamiento. Por ejemplo, un experto levantador adolescente puede realizar 3 series de 4 repeticiones de un ejercicio orientado a la potencia (p. ej., los movimientos de halterofilia (arrancada y dos tiempos y derivados de estos levantamientos), y luego completar 3 series de 5-8 repeticiones de un movimiento multiarticular de grandes grupos musculares (p. ej. sentadilla con la barra atrás); y luego terminar con 2 series de 6-10 repeticiones de un ejercicio unilateral (p. ej. "lunge" o desplante con mancuernas). Dependiendo del entorno de aprendizaje, los profesionales cualificados tendrán que proporcionar información para garantizar que la competencia técnica se mantenga a lo largo de cada serie del programa de entrenamiento. La frecuencia y el modo de retroalimentación dependerá en gran medida del número de personas entrenando, el tipo de ejercicio que se realiza, y la etapa de aprendizaje y rasgos de personalidad de los jóvenes involucrados. Por ejemplo, al entrenar a un novato, la retroalimentación constructiva puede ser más útil si se proporciona después de cada repetición<sup>41</sup>.

En las clases de educación física donde el objetivo se oriente a mejorar la fuerza muscular y el desarrollo de habilidades motrices básicas, la retroalimentación constructiva es más importante ya que normalmente los estudiantes estarán aprendiendo los patrones de movimientos correctos por primera vez.

### **Intervalos de descanso durante las sesiones de entrenamiento**

La investigación disponible indica que los niños pueden recuperarse más rápidamente de la fatiga inducida por el entrenamiento de fuerza<sup>238,239</sup> y son menos propensos a sufrir daño muscular después de este tipo de ejercicio, debido a su mayor flexibilidad en el tejido muscular<sup>240</sup>.

Por lo tanto, períodos de descanso de aproximadamente un minuto deberían ser suficientes para la mayoría de los niños. Sin embargo, puede ser necesario un aumento (p. ej., hasta 2-3 minutos) conforme la intensidad del entrenamiento aumente, sobretodo si los ejercicios requieren de un alto nivel de habilidad, fuerza o potencia (p. ej., movimientos de halterofilia o ejercicios pliométricos). A pesar de que los niños se recuperan más rápidamente que los adultos de series de ejercicio intermitente de alta intensidad y corta duración<sup>238,239,241</sup>, el desarrollo del entrenamiento de fuerza durante la sesión debe ser siempre supervisada para garantizar que la ejecución técnica correcta se mantenga durante toda la sesión de entrenamiento. Así, los programas de entrenamiento de alta intensidad metabólica que se comercializan y que se caracterizan por una recuperación insuficiente entre series y ejercicios pueden dar lugar a la realización de movimientos potencialmente perjudiciales en los ejercicios.

### **Frecuencia de entrenamiento**

La frecuencia de entrenamiento se refiere al número de sesiones llevadas a cabo durante una semana. Las investigaciones realizadas han indicado que lo más adecuado para el desarrollo de los niveles de fuerza muscular en niños y adolescentes son 2-3 sesiones por semana en días no consecutivos<sup>5,242</sup>. Behringer *et al.*<sup>14</sup> confirmaron recientemente estas recomendaciones previas, indicando que en 42 estudios (donde la frecuencia media de entrenamiento fue de  $2,7 \pm 0,8$  sesiones por semana), la frecuencia de entrenamiento se correlacionó significativamente con un mayor efecto del entrenamiento de fuerza. Dado que los jóvenes están en crecimiento y desarrollo, los programas de entrenamiento de fuerza deben proporcionar suficiente tiempo para descansar y recuperarse. Los jóvenes que participan en los programas de entrenamiento de fuerza con una alta frecuencia de entrenamiento deben tener un seguimiento cercano.

La frecuencia de entrenamiento puede aumentar a medida que los niños atraviesan la adolescencia y se aproximan a la edad adulta, especialmente para los jóvenes en el deporte competitivo. Así como probar y practicar una variedad de experiencias de actividad física es recomendable para ayudar a promover el desarrollo físico a largo plazo<sup>4,227</sup>, padres, entrenadores y profesionales de la aptitud física deben ser conscientes de las dificultades potenciales como resultado de la acumulación de grandes volúmenes de ejercicio si los jóvenes participan en numerosas actividades. Para los jóvenes que participan en deportes de competición, se necesita entrenamiento de fuerza durante la temporada para mantener las mejoras en la aptitud muscular y reducir el riesgo de lesión. Sin embargo, para reducir las posibilidades de sobre-entrenamiento, y para permitir que los procesos naturales de crecimiento se produzcan, el entrenamiento de fuerza no debe ser visto simplemente como una sesión de entrenamiento adicional dentro del programa general de entrenamiento de los jóvenes, sino como un compromiso alternativo en lugar de las sesiones específicas del deporte de entrenamiento y / u obligaciones competitivas. Dependiendo de las exigencias competitivas del deporte, deben realizarse entre 1 y 3 sesiones de entrenamiento de fuerza durante la temporada para permitir el desarrollo (o al menos el mantenimiento) de las mejoras de fuerza previamente adquiridas, y para dar tiempo suficiente para el descanso y la recuperación. El aumento de horas de clase de educación física, impartido por especialistas bien capacitados constituye una oportunidad realista y basada en la evidencia para aumentar la fuerza muscular y la competencia en las habilidades motrices, que facilitaría una mejoría general de la condición física general<sup>12,72,137</sup>. La investigación demuestra que la exposición al entrenamiento de fuerza con la supervisión cualificada en clases de ejercicio físico o en clases de educación física no tiene un efecto adverso en el rendimiento posterior al horario escolar en deportistas adolescentes<sup>243</sup>.

### **Velocidad de repetición**

Mientras que las velocidades moderadas de movimiento normalmente pueden ser recomendadas para los jóvenes cuando aprenden nuevos movimientos o ejercicios, también hay una necesidad de promover la intención de moverse rápidamente para desarrollar patrones de reclutamiento de unidades motoras y las frecuencias de estimulación en el sistema neuromuscular<sup>244</sup>. Un niño con experiencia limitada de

entrenamiento puede tener que realizar ejercicios de fuerza con una velocidad moderada para maximizar el control y asegurar el desarrollo técnico correcto (p. ej., la alineación de los segmentos, o el mantenimiento de la postura correcta), sin embargo, un participante con un historial de entrenamiento de varios meses debe ser conducido hacia mayores velocidades de movimiento.

La velocidad de las repeticiones puede variar a lo largo de una sesión, por ejemplo, la fase de preparación del movimiento (incluyendo ejercicios de calentamiento de técnicas de baja carga) puede consistir en movimientos lentos controlados, sin embargo, los ejercicios principales de fuerza y potencia (incluidos los ejercicios de halterofilia y los ejercicios pliométricos) implicarán velocidades de movimiento rápidas. Para ejercicios de entrenamiento de fuerza, la masa de la resistencia va a determinar la velocidad a la que se realiza el movimiento. Incluso en los ejercicios duros para el desarrollo de la fuerza tales como sentadillas, peso muerto, empujes o tracciones que supondrán velocidades de movimiento típicamente más lentas, siempre debe existir la intención de mover los pesos lo más explosivamente posible para promover las adaptaciones neuromusculares apropiadas y para maximizar la transferencia del efecto de entrenamiento<sup>245</sup>, siempre y cuando el individuo pueda mostrar una técnica adecuada. El desarrollo del movimiento de alta velocidad puede ser especialmente importante durante los años de crecimiento, cuando la plasticidad neuronal y la coordinación motriz son más sensibles a cambiar<sup>226</sup>.

## Resumen

Una evidencia científica sólida apoya la participación en programas de entrenamiento de fuerza para jóvenes que estén planificados y sean supervisados e instruidos por profesionales cualificados. Este manuscrito se ha sumado a los posicionamientos previos de las organizaciones médicas y de aptitud física, y ha subrayado los beneficios de salud, condición física y el rendimiento asociados a este entrenamiento para los niños y adolescentes. Al resumir este manuscrito, se propone que:

- El uso del entrenamiento de fuerza por parte de niños y adolescentes se basa en la condición de que se disponga de profesionales cualificados que diseñen y supervisen programas de entrenamiento que sean coherentes con las necesidades, metas y capacidades de las poblaciones más jóvenes.
- Los padres, maestros, entrenadores y profesionales de la salud deben reconocer los beneficios potenciales del ejercicio de fuerza para todos los niños y adolescentes relacionados con la salud y la aptitud física. Los jóvenes que no participan en actividades que mejoran la fuerza muscular y las habilidades motrices de manera temprana pueden tener un mayor riesgo de situaciones negativas para la salud a lo largo de su vida.
- Los programas de entrenamiento de fuerza adecuadamente diseñados pueden reducir las lesiones relacionadas con el deporte, y deben ser vistos como un componente esencial de los programas de entrenamiento de preparación para jóvenes deportistas con aspiraciones.
- La participación regular en una variedad de actividades físicas que incluyan el entrenamiento de fuerza durante la niñez y la adolescen-

cia puede apoyar y fomentar la participación en la actividad física como una elección de estilo de vida permanente en la vida futura.

- La prescripción del entrenamiento de fuerza debe basarse en los años de entrenamiento, la competencia en las habilidades motrices, la capacidad técnica y los niveles de fuerza existentes. Los profesionales cualificados también deben considerar la edad biológica y el nivel de madurez psicosocial del niño o adolescente.
- El enfoque principal del entrenamiento de fuerza en la juventud debe ser el desarrollo de la habilidad técnica y la competencia para llevar a cabo una variedad de ejercicios de entrenamiento de fuerza con la intensidad y volumen adecuados, al tiempo que se proporciona a los jóvenes la oportunidad de participar en programas que sean seguros, eficaces y agradables.

## Bibliografía

1. Lloyd RS, Faigenbaum AD, Myer GD, et al. United Kingdom Strength and Conditioning Association Position Statement on Youth Resistance Training. *Prof Strength Cond J*. 2012;26:26-39.
2. Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Champaign, IL: Human Kinetics. 2004:3-20.
3. Beunen GP, Malina RM. Growth and biologic maturation: relevance to athletic performance. In: Hebestreit H, Bar-Or O, eds. *The Child and Adolescent Athlete*. Oxford: Blackwell Publishing 2008:3-17.
4. Lloyd RS, Oliver JL. The Youth Physical Development model: a new approach to long-term athletic development. *Strength Cond J*. 2012;34:37-43.
5. Faigenbaum AD, Kraemer WJ, Blimkie CJ, et al. Youth resistance training: updated position statement paper from the National Strength and Conditioning Association. *J Strength Cond Res*. 2009;23:560-579
6. Stone MH, Pierce KC, Sands WA, et al. Weightlifting: a brief overview. *Strength Cond J*. 2006;28:50-66.
7. National Strength and Conditioning Association. Position paper on prepubescent strength training. *NSCA Journal*. 1985;7:27-31.
8. American College of Sports Medicine. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 9th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams and Wilkins 2014.
9. American Academy of Pediatrics. Strength training by children and adolescents. *Pediatrics*. 2008;121:835-40.
10. Baker D, Mitchell J, Boyle D, et al. Resistance training for children and youth: a position stand from the Australian Strength and Conditioning Association (ASCA). [www.strengthandconditioning.org](http://www.strengthandconditioning.org) 2007 (accessed 13 July 2011).
11. Behm DG, Faigenbaum AD, Falk B, et al. Canadian Society for Exercise Physiology position paper: resistance training in children and adolescents. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2008;33:547-61.
12. Behringer M, vom Heede A, Matthews M, et al. Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: a meta-analysis. *Ped Exerc Sci*. 2011;23:186-206.
13. Stratton G, Jones M, Fox KR, et al. Position Statement on guidelines for resistance exercise in young people. *J Sports Sci*. 2004;22:383-90.
14. Behringer M, vom Heede A, Yue Z, et al. Effects of resistance training in children and adolescents: a meta-analysis. *Pediatrics* 2010;126:1199-1210.
15. Sander A, Keiner M, Wirth K, et al. Influence of a 2-year strength training programme on power performance in elite youth soccer players. *Eur J Sport Sci*. 2012; First:DOI: 10.1080/17461391.2012.742572.
16. Mikkola J, Rusko H, Nummela A, et al. Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. *Int J Sports Med*. 2007;28:602-11.
17. Thomas K, French D, Hayes PR. The effect of plyometric training techniques on muscular power and agility in youth soccer players. *J Strength Cond Res*. 2009;23:332-35.
18. Schwingshandl J, Sudi K, Eibl B, et al. Effect of individualised training programme during weight reduction on body composition: a randomised trial. *Arch Dis Child*. 1999;81:426-28.
19. Benson AC, Torode ME, Fiatarone Singh MA. The effect of high-intensity progressive resistance training on adiposity in children: a randomized controlled trial. *Int J Obes* 2008a;32:1016-27.

20. Watts K, Beye P, Siafarikas A. Exercise training normalizes vascular dysfunction and improves central adiposity in obese adolescents. *J Am Coll Cardiol*. 2004;43:1823-27.
21. Shaibi G, Cruz M, Ball G, et al. Effects of resistance training on insulin sensitivity in overweight Latino adolescent males. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38:1208-15.
22. Naylor LH, Watts K, Sharpe JA, et al. Resistance training and diastolic myocardial tissue velocities in obese children. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40:2027-32.
23. Álvarez-San Emeterio C, Palacios-Gil Antuñano N, López-Sobale AM, et al. Effect of strength training and the practice of alpine skiing on bone mass density, growth, body composition and the strength and power of the legs of adolescent skiers. *J Strength Cond Res*. 2011;25:2879-90.
24. Bass SL. The prepubertal years – a unique opportune stage of growth when the skeleton is most responsive to exercise. *Sports Med*. 2000;30:73-8.
25. Myer GD, Faigenbaum AD, Chu D, et al. Integrative training for children and adolescents: techniques and practices for reducing sports-related injuries and enhancing athletic performance. *Phys Sportsmed*. 2011;39:74-84.
26. Valovich-McLeod TC, Decoster LC, Loud KJ, et al. National Athletic Trainers' Association position statement: prevention of pediatric overuse injuries. *J Athl Train*. 2011;46:206-20.
27. American Academy of Orthopaedic Surgeons. *A guide to safety for young athletes*. American Academy of Orthopaedic Surgeons Website. <http://orthoinfo.aaos.org/topic.cfm?topic=A00307> 2012 (Accessed March, 2012).
28. Bauer R, Steiner M. *Injuries in the European Union statistics summary 2005-2007*. Vienna: European Network for Sports Injury Prevention and European Commission, Health and Consumers 2009.
29. Faigenbaum AD, Myer GD. Resistance training among young athletes: Safety, efficacy and injury prevention effects. *Br J Sports Med*. 2010;44:56-63.
30. Holloway J, Beuter A, Duda J. Self-efficacy and training in adolescent girls. *J Appl Soc Psychol*. 1988;18:699-719.
31. Padilla-Moledo C, Ruiz JR, Ortega FB, et al. Associations of muscular fitness with psychological positive health, health complaints, and health risk behaviors in Spanish children and adolescents. *J Strength Cond Res*. 2012;26:1671-73.
32. Velez A, Golem DL, Arent SM. The impact of a 12-week resistance training program on strength, body composition, and self-concept of hispanic adolescents. *J Strength Cond Res*. 2010;24:1065-73.
33. Yu C, Sung R, Hau K, et al. The effect of diet and strength training on obese children's physical self concept. *J Sports Med Phys Fitness*. 2008;48:76-82.
34. Department of Health, Physical Activity, Health Improvement and Protection. Start Active, Stay Active: a report on physical activity from the four home countries' Chief Medical Officers. <https://www.gov.uk/government/publications> 2011 (accessed 26th March 2013)
35. World Health Organization. *Global Recommendations on Physical Activity for Health*. Geneva: WHO Press. 2010.
36. United States Department of Health and Human Services. *2008 Physical activity guidelines for Americans*. [www.health.gov/paguidelines](http://www.health.gov/paguidelines) 2008 (accessed 26th March 2013).
37. Cohen DD, Voss C, Taylor MJD, et al. Ten-year secular changes in muscular fitness in English children. *Acta Paediatr*. 2011;100:e175-177.
38. Moliner-Urdiales D, Ruiz JR, Ortega FB, et al. Secular trends in health-related physical fitness in Spanish adolescents: the AVENA and HELENA studies. *J Sci Med Sport*. 2010;13:584-88.
39. Runhaar J, Collard DCM, Kemper HCG, et al. Motor fitness in Dutch youth: differences over a 26-year period (1980-2006). *J Sci Med Sport*. 2010;13:323-8.
40. Verschuren O, Ada L, Maltais DB, et al. Muscle strengthening in children with spastic cerebral palsy: considerations for future resistance training protocols. *Phys Ther*. 2011;91:1130-39.
41. Lloyd RS, Oliver JL, Meyers RW, et al. Long-term athletic development and its application to youth weightlifting. *Strength Cond J*. 2012;34:55-66.
42. Kirk D. Physical education, youth sport and lifelong participation: the importance of early learning experiences. *Eur Phys Educ Rev*. 2005;11:239-55.
43. De Ste Croix, M.B.A. Muscle strength. In: Armstrong N, Van Mechelen W, eds. *Paediatric Exercise Science and Medicine*. Oxford: Oxford University Press 2008:199-211.
44. Ford PA, De Ste Croix MBA, Lloyd RS, et al. The Long-Term Athlete Development model: Physiological evidence and application. *J Sports Sci*. 2011;29:389-402.
45. Branta C, Haubenstricker J, Seefeldt V. Age changes in motor skills during childhood and adolescence. *Exerc Sport Sci Rev*. 1984;12:467-500.
46. Parker DF, Round JM, Sacco P, et al. A cross-sectional survey of upper and lower limb strength in boys and girls during childhood and adolescence. *Ann Hum Biol*. 1990;17:199-211.
47. Granacher U, Goseles A, Roggo K, et al. Effects and mechanisms of strength training in children. *Int J Sports Med*. 2011a;32:357-64.
48. Kraemer WJ, Fry AC, Frykman PN, et al. Resistance training and youth. *Pediatr Exerc Sci* 1989;1:336-50.
49. Ramsay JA, Blimkie CJR, Smith K, et al. Strength training effects in prepubescent boys. *Med Sci Sports Exerc*. 1990;22:605-14.
50. Tonson A, Ratel S, Le Fur Y, et al. Effect of maturation on the relationship between muscle size and force production. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40:918-25.
51. Yan X, Zhu MJ, Dodson MV, et al. Developmental programming of fetal skeletal muscle and adipose tissue development. *J Genomics*. 2012;1:29-38.
52. Brameld JM, Mostyn A, Dandrea J, et al. Maternal nutrition alters the expression of insulin-like growth factors in fetal sheep liver and skeletal muscle. *J Endocrinol*. 2000;167:429-37.
53. O'Brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, et al. In vivo measurements of muscle specific tension in adults and children. *Exp Physiol*. 2010;95:202-10.
54. Neu CM, Rauch F, Rittweger J, et al. Influence of puberty on muscle development at the forearm. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2002;283:E103-E107.
55. O'Brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, et al. Strong relationships exist between muscle volume, joint power and whole-body external mechanical power in adults and children. *Exp Physiol*. 2009;94:731-38.
56. Beunen, G.P. Biological maturation and physical performance. In: Duquet W, Day JAP, eds. *Kinanthropometry IV*. London: E & FN Spon 1993:190-208.
57. Bailey R, Collins D, Ford P, et al. Participant development in sport: An academic review. *Sports Coach UK*. 2010;1:1-134.
58. Bailey R, Morley D. Towards a model of talent development in physical education. *Sport Educ Soc*. 2006;11:211-30.
59. Balyi I, Hamilton A. *Long-Term Athlete Development: Trainability in Childhood and Adolescence - Windows of Opportunity - Optimal Trainability*. Victoria: National Coaching Institute British Columbia & Advanced Training and Performance Ltd 2004.
60. Bompá TO. *Total Training for Young Champions*. Champaign, IL, USA: Human Kinetics. 2000:1-20.
61. Burgess DJ, Naughton GA. Talent development in adolescent team sports: a review. *Int J Sports Physiol Perf*. 2010;5:103-116.
62. Norris SR. Long-term athlete development Canada: attempting system change and multi-agency cooperation. *Curr Sports Med Rep*. 2010;9:379-82.
63. Faigenbaum AD, Westcott WL. *Youth Strength Training*. Champaign, IL, USA: Human Kinetics. 2009:3-16.
64. Ekelund U, Tomkinson G, Armstrong N. What proportion of youth are physically active? Measurement issues, levels and recent time trends. *Br J Sports Med*. 2011;45:859-65.
65. Gortmaker S, Lee R, Craddock A, et al. Disparities in Youth Physical Activity in the United States: 2003-2006. *Med Sci Sports Exerc*. 2012;44:888-93.
66. Guthold R, Cowan M, Autenrieth C, et al. Physical activity and sedentary behavior among schoolchildren: a 34 country comparison. *J Pediatr*. 2010;157:43-9.
67. Nyberg G, Nordenfelt A, Ekelund U, et al. Physical activity patterns measured by accelerometer in 6- to 10-yr-old children. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41:1842-48.
68. Barnett L, Cliff K, Morgan P, et al. Adolescents' perception of the relationship between movement skills, physical activity and sport. *Eur Phys Educ Rev*. in press DOI: 10.1177/1356336X13486061
69. Barnett L, Van Beurden E, Morgan P, et al. Childhood motor skill proficiency as a predictor of adolescent physical activity. *J Adolesc Health*. 2009;44:252-9.
70. Lopes V, Rodrigues L, Maia J, et al. Motor coordination as predictor of physical activity in childhood. *Scand J Med Sci Sports*. 2011;21:663-9.
71. Stodden D, Langendorfer S, Robertson M. The association between motor skill competence and physical fitness in young adults. *Res Q Exerc Sport*. 2009;80:223-9.
72. Tveter AT, Holm I. Influence of thigh muscle strength and balance on hop length in one-legged hopping in children aged 7-12 years. *Gait Posture*. 2010;32:259-62.
73. Myer GD, Faigenbaum AD, Straccolini A, et al. Comprehensive management strategies for physical inactivity in youth. *Curr Sports Med Rep*. in press.
74. Faigenbaum AD, Myer GD. Pediatric resistance training: benefits, concerns, and program design considerations. *Curr Sports Med Rep*. 2010;9:161-68.
75. Lau PWC, Kong Z, Choi C, et al. Effects of short-term resistance training on serum leptin levels in obese adolescents. *J Exerc Sci Fitness*. 2010;8:54-60.
76. Ortega F, Ruiz J, Castillo M, et al. Physical fitness in children and adolescence: a powerful marker of health. *Int J Obes*. 2008;32:1-11.
77. Sgro M, McGuigan MR, Pettigrew S, et al. The effect of duration of resistance training interventions in children who are overweight or obese. *J Strength Cond Res*. 2009;23:1263-70.
78. Faigenbaum AD, Farrell AC, Fabiano M, et al. Effects of Detraining on Fitness Performance in 7-Year-Old Children. *J Strength Cond Res*. 2013;27:323-30.

79. Ingle L, Slep M, Tolfrey K. The effect of a complex training and detraining programme on selected strength and power variables in early pubertal boys. *J Sports Sci*. 2006;24:987-97.
80. Faigenbaum AD, Westcott WL, Micheli LJ, et al. The effects of strength training and detraining on children. *J Strength Cond Res*. 1996;10:109-14.
81. Cruz ML, Shaibi GQ, Weigensberg MJ, et al. Pediatric obesity and insulin resistance: chronic disease risk and implications for treatment and prevention beyond body weight modification. *Annu Rev Nutr*. 2005;25:435-68.
82. Davis JM, Tung A, Chak SS, et al. Aerobic and strength training reduces adiposity in overweight Latina adolescents. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41:1494-1503.
83. McGuigan MR, Tatasciore M, Newton RU, et al. Eight weeks of resistance training can significantly alter body composition in children who are overweight or obese. *J Strength Cond Res*. 2009;23:80-5.
84. McHugh M. Oversized young athletes: a weighty concern. *Br J Sports Med*. 2010;44:45-9.
85. Suh S, Jeong IK, Kim MY, et al. Effects of resistance training and aerobic exercise on insulin sensitivity in overweight Korean adolescents: a controlled randomized trial. *Diabetes Metab J*. 2011;35:418-26.
86. Van der Heijden G, Wang Z, Chu Z, et al. Strength exercise improves muscle mass and hepatic insulin sensitivity in obese youth. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42:1973-80.
87. D'hondt E, Deforche B, Vaeyens R, et al. Gross motor coordination in relation to weight status and age in 5- to 12-year-old boys and girls: A cross sectional study. *Int J Pediatr Obes*. 2011;6:556-64.
88. Lopes V, Stodden D, Bianchi M, et al. Correlation between BMI and motor coordination in children. *J Sci Med Sport*. 2012;15:38-43.
89. Nunez-Gaunaud A, Moore JG, Roach KE, et al. Motor proficiency, strength, endurance, and physical activity among middle school children who are healthy, overweight, and obese. *Pediatr Phys Ther*. 2013;25:130-8.
90. Williams HG, Pfeiffer KA, O'Neill JR, et al. Motor skill performance and physical activity in preschool children. *Obesity*. 2008;16:1421-6.
91. Wrotniak BH, Epstein LH, Dorn JM, et al. The relationship between motor proficiency and physical activity in children. *Pediatrics*. 2006;118:e1758.
92. Okely AD, Booth ML, Patterson JW. Relationship of physical activity to fundamental movement skills among adolescents. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33:1899-1904.
93. Sothorn MS, Loftin MJ, Udall JN, et al. Safety, feasibility, and efficacy of a resistance training program in preadolescent obese children. *Am J Med Sci*. 2000;319:370-75.
94. Schranz N, Tomkinson G, Olds T. What is the effect of resistance training on the strength, body composition and psychosocial status of overweight and obese children and adolescents? A systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. in press;DOI: 10.1007/s40279-013-0062-9.
95. Gunter K, Almstedt H, Janz K. Physical activity in childhood may be the key to optimizing lifespan skeletal health. *Exerc Sports Sci Rev*. 2012;40:13-21.
96. Vicente-Rodriguez G. How does exercise affect bone development during growth? *Sports Med*. 2006;36:561-69.
97. Hind K, Burrows M. Weight-bearing exercise and bone mineral accrual in children and adolescents: a review of controlled trials. *Bone*. 2007;40:14-27.
98. Burt LA, Greene DA, Ducher G, et al. Skeletal adaptations associated with pre-pubertal gymnastics participation as determined by DXA and pQCT: a systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport*. 2013;16:231-39.
99. Malina R. Weight training in youth-growth, maturation, and safety: an evidence-based review. *Clin J Sports Med*. 2006;16:478-87.
100. Falk B, Eliakim A. Resistance training, skeletal muscle and growth. *Paediatr Endocrinol Rev*. 2003;1:120-27.
101. Conroy BP, Kraemer WJ, Maresch CM, et al. Bone mineral density in elite junior Olympic weightlifters. *Med Sci Sports Exerc*. 1993;25:1103-9.
102. Virvidakis K, Georgiu E, Korkotsidis A, et al. Bone mineral content of junior competitive weightlifters. *Int J Sports Med*. 1990;11:244-46.
103. Myer GD, Quatman CE, Khoury J, et al. Youth versus adult "weightlifting" injuries presenting to United States emergency rooms: accidental versus nonaccidental injury mechanisms. *J Strength Cond Res*. 2009;23:2054-60.
104. Bass SL, Myburg K. The effect of exercise on peak bone mass and bone strength. In: Warren M, Constantini N, eds. *Sports Endocrinology*. Totowa, NJ: Humana Press Inc 2000;253-80.
105. Blimkie CJ, Rice S, Webber CE, et al. Effects of resistance training on bone mineral content and density in adolescent females. *Can J Physiol Pharmacol*. 1996;74:1025-33.
106. Dias Quiterio AL, Carnero EA, Baptista FM, et al. Skeletal mass in adolescent male athletes and nonathletes: relationships with high-impact sports. *J Strength Cond Res*. 2011;25:3439-47.
107. Fuchs RK, Bauer JJ, Snow CM. Jumping improves hip and lumbar spine bone mass in prepubescent children: a randomized controlled trial. *J Bone Miner Res*. 2001;16:148-56.
108. Nichols DL, Snaborn CF, Love AM. Resistance training and bone mineral density in adolescent females. *J Pediatr*. 2001;139:494-500.
109. Witzke KA, Snow CM. Effects of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32:1051-57.
110. Yu CCW, Sung RYT, So RCH, et al. Effects of strength training on body composition and bone mineral content in children who are obese. *J Strength Cond Res*. 2005;19:667-72.
111. Janz KF, Letuchy EM, Eichenberger Gilmore JM, et al. Early physical activity provides sustained bone health benefits later in childhood. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42:1072-8.
112. Sadres E, Eliakim A, Constantini N, et al. The effect of long-term resistance training on anthropometric measures, muscle strength, and self-concept in pre-pubertal boys. *Pediatr Exerc Sci*. 2001;13:357-72.
113. Cahill B, Griffith E. Effect of preseason conditioning on the incidence and severity of high school football knee injuries. *Am J Sports Med*. 1978;6:180-84.
114. Hejna WF, Rosenberg A, Buturus DJ, et al. The prevention of sports injuries in high school students through strength training. *National Strength Coaches Association Journal*. 1982;4:28-31.
115. Soligard T, Mycklebust G, Steffen K, et al. Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: cluster randomized controlled trial. *Br Med J*. 2008;337:a2469.
116. Emery CA, Meeuwisse W. The effectiveness of a neuromuscular prevention strategy to reduce injuries in youth soccer: a cluster-randomised controlled trial. *Br J Sports Med*. 2010;44:555-62.
117. Steffen K, Meeuwisse WH, Romiti M, et al. Evaluation of how different implementation strategies of an injury prevention programme (FIFA 11+) impact team adherence and injury risk in Canadian female youth football players: a cluster-randomised trial. *Br J Sports Med*. iFirst:DOI: 10.1136/bjsports-2012-091887.
118. Rians CB, Wletman A, Cahill BR, et al. Strength training for prepubescent males: is it safe? *Am J Sports Med*. 1987;15:483-89.
119. Lillegard WA, Brown EW, Wilson DJ, et al. Efficacy of strength training in prepubescent to early postpubescent males and females: effects of gender and maturity. *Pediatr Rehabil*. 1997;1:147-57.
120. Abernethy L, Bleakley C. Strategies to prevent injury in adolescent sport: a systematic review. *Br J Sports Med*. 2007;41:627-38.
121. Stein CJ, Micheli LJ. Overuse injuries in youth sport. *Phys Sportsmed*. 2010;38:102-8.
122. Olsen JS, Fleisig GS, Dun S, et al. Risk factors for shoulder and elbow injuries in adolescent baseball pitchers. *Am J Sports Med*. 2006;34:905-12.
123. Micheli L, Natsis KI. Preventing injuries in team sports: what the team physician needs to know. In: Micheli LJ, Pigozzi F, Chan KM, et al., eds. *F.I.M.S. Team Physician Manual* (3rd edition). London: Routledge 2013:505-20.
124. Hewett TE, Ford KR, Myer GD. Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes: Part 2, A Meta-analysis of Neuromuscular Interventions Aimed at Injury Prevention. *Am J Sports Med*. 2006;34:490-8.
125. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Reducing knee and anterior cruciate ligament injuries among female athletes: a systematic review of neuromuscular training interventions. *J Knee Surg*. 2005;18:82-8.
126. Myer GD, Ford KR, Brent JL, et al. The effects of plyometric versus dynamic balance training on power, balance and landing force in female athletes. *J Strength Cond Res*. 2006;20:345-53.
127. Myer GD, Ford KR, McLean SG, et al. The effects of plyometric versus dynamic stabilization and balance training on lower extremity biomechanics. *Am J Sports Med*. 2006;34:490-8.
128. Myer GD, Ford KR, Palumbo JP, et al. Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *J Strength Cond Res*. 2005;19:51-60.
129. DiStefano LJ, Padua DA, Blackburn JT, et al. Integrated injury prevention program improves balance and vertical jump height in children. *J Strength Cond Res*. 2010;24:332-42.
130. Myer GD, Sugimoto D, Thomas S, et al. The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: a meta-analysis. *Am J Sports Med*. 2013;41:203-15.
131. Quatman-Yates CC, Myer GD, Ford KR, et al. A longitudinal evaluation of maturational effects on lower extremity strength in female adolescent athletes. *Pediatr Phys Ther*. In press, DOI: 10.1097/PEP0b013e31828e1e9d
132. Dufek J, Bates B. The evaluation and prediction of impact forces during landings. *Med Sci Sports Exerc*. 1990;22:370-7.
133. McNitt-Gray J, Hester D, Mathiyakom W, et al. Mechanical demand on multijoint control during landing depend on orientation of the body segments relative to the reaction force. *J Biomech*. 2001;34:1471-82.

134. Bloemers F, Collard D, Paw M, *et al.* Physical inactivity is a risk factor for physical activity-related injuries in children. *Br J Sports Med.* 2012;46:669-74
135. Nader P, Bradley R, Houts R, *et al.* Moderate to vigorous physical activity from ages 9 to 15 years. *JAMA.* 2008;300:295-305.
136. Tudor-Locke C, Johnson WD, Katzmarzyk PT. Accelerometer-determined steps per day in US children and youth. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42:2244-50.
137. U.S. Department of Health and Human Services. Physical Activity Guidelines for Americans Midcourse Report Subcommittee of the President's Council on Fitness, Sports & Nutrition. Physical Activity Guidelines for Americans Midcourse Report: Strategies to Increase Physical Activity Among Youth. Washington 2012.
138. Clark E, Tobias J, Murray L, *et al.* Children with low muscle strength are at increased risk of fracture with exposure to exercise. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2011;11:196-202.
139. Myer GD, Faigenbaum AD, Ford KR, *et al.* When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sport-related injuries and enhance health in youth. *Curr Sports Med Rep.* 2011;10:157-66.
140. Mountjoy M, Andersen L, Armstrong N, *et al.* International Olympic Committee Consensus statement on the health and fitness of young people through physical activity and sport. *Br J Sports Med.* 2011;45:839-48.
141. American Academy of Pediatrics. Active healthy living: prevention of childhood obesity through increased physical activity. *Pediatrics.* 2006;117:1834-42.
142. Ford KR, Shapiro R, Myer GD, *et al.* Longitudinal Sex Differences during Landing in Knee Abduction in Young Athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42:1923-31.
143. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes. *J Bone Joint Surg Am.* 2004;86:1601-8.
144. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, *et al.* Biomechanical Measures of Neuromuscular Control and Valgus Loading of the Knee Predict Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Female Athletes: A Prospective Study. *Am J Sports Med.* 2005;33:492-501.
145. Myer GD, Ford KR, Barber Foss KD, *et al.* The incidence and potential pathomechanics of patellofemoral pain in female athletes. *Clin Biomech.* 2010;25:700-7.
146. Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Longitudinally decreased knee abduction and increased hamstrings strength in females with self-reported resistance training. Proceedings of the American College of Sports Medicine Annual Meeting. Denver, Colorado 2011.
147. Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, *et al.* Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am J Sports Med.* 1996;24:765-73.
148. Myer GD, Ford KR, Brent JL, *et al.* Differential neuromuscular training effects on ACL injury risk factors in "high-risk" versus "low-risk" athletes. *BMC Musculoskelet Disord* 2007;8:1-7.
149. Cooper RM, Zubek JP. Effects of enriched and restricted early environments on the learning ability of bright and dull rats. *Can J Psychol.* 1958;12:159-64.
150. Hands B. Changes in motor skill and fitness measures among children with high and low motor competence: a five-year longitudinal study. *J Sci Med Sport.* 2008;11:155-62.
151. Rogasch NC, Dartnall TJ, Cirillo J, *et al.* Corticomotor plasticity and learning of a ballistic thumb training task are diminished in older adults. *J Appl Physiol.* 2009;107:1874-83.
152. Rosengren KS, Geert JP, Savelsbergh JK. Development and learning: a TASC-based perspective of the acquisition of perceptual-motor behaviors. *Inf Behav Dev.* 2003;26:473-94.
153. Faigenbaum AD, Farrell A, Fabiano M, *et al.* Effects of integrative neuromuscular training on fitness performance in children. *Pediatr Exerc Sci.* 2011;23:573-84
154. Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, Noyes FR. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am J Sports Med.* 1999;27:699-706.
155. Myklebust G, Engebretsen L, Braekken IH, *et al.* Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. *Clin J Sports Med.* 2003;13:71-8.
156. Ford KR, Myer GD, Smith RL, *et al.* Use of an overhead goal alters vertical jump performance and biomechanics. *J Strength Cond Res.* 2005;19:394-9.
157. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, *et al.* Preparticipation Physical Exam Using a Box Drop Vertical Jump Test in Young Athletes: The Effects of Puberty and Sex. *Clin J Sports Med.* 2006;16:298-304.
158. Kraemer WJ, Keuning M, Ratamess NA, *et al.* Resistance training combined with bench-step aerobics enhances women's health profile. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:259-69.
159. Quatman CE, Ford KR, Myer GD, *et al.* Maturation leads to gender differences in landing force and vertical jump performance: a longitudinal study. *Am J Sports Med.* 2006;34:806-13.
160. Faigenbaum AD, Zaichkowsky LD, Westcott WL, *et al.* Psychological effects of strength training on children. *J Sport Behav.* 1997;20:164-75.
161. Annesi J, Westcott W, Faigenbaum A, *et al.* Effects of a 12 week physical activity program delivered by YMCA after-school counselors (Youth Fit for Life) on fitness and self-efficacy changes in 5-12 year old boys and girls. *Res Q Exerc Sport.* 2005;76:468-76.
162. Altintaş A, Axçığı FH. Physical self-esteem of adolescents with regard to physical activity and pubertal status. *Pediatr Exerc Sci.* 2008;20:142-56.
163. Strauss RS. Childhood obesity and self-esteem. *Pediatrics.* 2000;105:e15
164. Dunton GF, Schneider M, Graham DJ, *et al.* Physical activity, fitness, and physical self-concept in adolescent females. *Pediatr Exerc Sci.* 2006;18:240-51.
165. Dunton GF, Jamner MS, Cooper DM. Physical self-concept in adolescent girls: behavioural and physiological correlates. *Res Q Exerc Sport.* 2003;74:360-5.
166. Knowles AM, Niven AG, Fawcner SG, *et al.* A longitudinal examination of the influence of maturation on physical self-perceptions and the relationship with physical activity in early adolescent girls. *J Adol.* 2009;32:555-66.
167. Lubans DR, Aguiar EJ, Callister R. The effects of free weights and elastic tubing resistance training on physical self-perception in adolescents. *Psychol Sport Exerc.* 2010;11:497-504
168. Velez A, Golem DL, Arent SM. The impact of a 12-week resistance training program on strength, body composition, and self-concept of Hispanic adolescents. *J Strength Cond Res.* 2010;24:1065-73.
169. Brenner JS. Overuse injuries, overtraining, and burnout in child and adolescent athletes. *Pediatrics.* 2007;119:1242-5.
170. Matos N, Winsley RJ. Trainability of young athletes and overtraining. *J Sports Sci Med.* 2007;6:353-67.
171. Meussen R, Duclos M, Foster C, *et al.* Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45:186-205.
172. Beunen GP. Biological maturation and physical performance. In: Duquet W, Day JAP, eds. *Kinanthropometry IV.* London: E & FN Spon. 1993:190-208.
173. Beunen GP, Malina RM. Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exerc Sport Sci Rev.* 1988;16:503-40.
174. Beunen GP, Malina RM, Van't Hof MA, *et al.* Adolescent Growth and Motor Performance. Champaign, IL: Human Kinetics. 1988:6-9.
175. Baxter-Jones A, Helms P, Maffulli N, *et al.* Growth and development of male gymnasts, swimmers, soccer and tennis Players: A longitudinal study. *Ann Hum Biol.* 1995;22:381-94.
176. Naughton G, Farpour L, Carlson J, *et al.* Physiological issues surrounding the performance of adolescent athletes. *Sports Med.* 2000;30:309-25.
177. Docherty D, Wenger H, Collis M, *et al.* The effects of variable speed resistance training on strength development in prepubertal boys. *J Hum Mov Stud.* 1987;13:377-82.
178. Hetherington, M. Effect of isometric training on the elbow flexion force torque of grade five boys. *Res Q.* 1976;47:41-7.
179. Faigenbaum AD, Westcott WL, LaRousa Loud R, *et al.* The effects of different resistance training protocols on muscular strength and endurance development in children. *Pediatrics.* 1999;104:e5.
180. Weltman A, Janney C, Rians C, *et al.* The effects of hydraulic resistance strength training in pre-pubertal males. *Med Sci Sports Exerc.* 1986;18:629-38.
181. Kaufman LB, Schilling DL. Implementation of a strength training program for a 5-year-old child with poor body awareness and developmental coordination disorder. *Phys Ther.* 2007;87:455-67.
182. Payne VG, Morrow JR, Johnson L, *et al.* Resistance training in children and youth. *Res Q.* 1997;68:80-8.
183. Pfeiffer R, Francis R. Effects of strength training on muscle development in prepubescent, pubescent and postpubescent males. *Phys Sportsmed.* 1986;14:134-43.
184. Falk B, Tenenbaum G. The effectiveness of resistance training in children: a meta-analysis. *Sports Med.* 1996;22:176-86.
185. Blimkie CJ. Age- and sex-associated variation in strength during childhood: Anthropometric, morphologic, neurological, biomechanical, endocrinologic, genetic and physical activity correlates. In: Gisolfi C, Lamb D, eds. *Perspectives in Exercise Science and Sports.* Indianapolis: Benchmark 1989:99-163.
186. Fukunaga T, Funato K, Ikegawa S. The effects of resistance training on muscle area and strength in prepubertal age. *Ann Physiol Anthropol.* 1992;11:357-64.
187. Mersch F, Stoboy H. Strength training and muscle hypertrophy in children. In: Oseid S, Carlsen K, eds. Children and Exercise XIII. Champaign, IL: *Human Kinetics* 1989:165-82.
188. Bouchant A, Martin V, Maffiuletti NA, *et al.* Viewpoint: can muscle size fully account for strength differences between children and adults. *J Appl Physiol.* 2011;110:1748-9.
189. Sale DG. Strength training in children. In: Gisolfi CV, Lamb DR, eds. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine.* Indianapolis, In: Benchmark Press 1989:165-222.
190. Viru A, Loko J, Harro M, *et al.* Critical periods in the development of performance capacity during childhood and adolescence. *Eur J Phys Educ.* 1999;4:75-119.
191. Ozmun JC, Mikesky AE, Surburg P. Neuromuscular adaptations following prepubescent strength training. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26:510-4.

192. Dorgo S, King GA, Candelaria NG, et al. Effects of manual resistance training on fitness in adolescents. *J Strength Cond Res.* 2009;23:2287-94.
193. Bucheit M, Mendez-Villanueva A, Delhomel G, et al. Improving sprint ability in young elite soccer players: repeated shuttle sprints vs. explosive strength training. *J Strength Cond Res.* 2010;24:2715-22.
194. Chelly MS, Cherif N, Amar MB, et al. Relationships of peak leg power, 1 maximal repetition half back squat and leg muscle volume to 5-M sprint performance in junior soccer players. *J Strength Cond Res.* 2010;24:266-71.
195. Hass CJ, Feigenbaum MS, Franklin BA. Prescription of resistance training for healthy populations. *Sports Med.* 2001;31:953-64.
196. Keiner M, Sander A, Wirth K, et al. Trainability of children and adolescents in the front and back squat. *J Strength Cond Res.* 2013;27:357-62.
197. Lephart SM, Abt JP, Ferris CM, et al. Neuromuscular and biomechanical characteristic changes in high school athletes: a plyometric versus basic resistance program. *Br J Sports Med.* 2005;39:932-8.
198. Gentil P, Bottaro M. Influence of supervision ratio on muscle adaptation to resistance training in nontrained subjects. *J Strength Cond Res.* 2010;24:639-43.
199. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, et al. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;687-708.
200. Plisk SS, Stone MH. Periodization strategies. *Strength Cond J.* 2003;25:19-37.
201. Stone MH, Potteiger JA, Pierce KC, et al. Comparison of the effects of three different weight-training programs on the one repetition maximum squat. *J Strength Cond Res.* 2000;14:332-7.
202. Byrd R, Pierce K, Reilly L, et al. Young weightlifters' performance across time. *Sports Biomech.* 2003;2:133-40.
203. Hamill B. Relative safety of weightlifting and weight training. *J Strength Cond Res.* 1994;8:53-7.
204. Pierce KC, Byrd R, Stone MH. *Youth weightlifting – is it safe?*. Weightlifting USA 1999;17:5.
205. Dvorkin LS. The Training of young weightlifters 13 -16 years old. In: Scheithauer BW (translated). *The 1975 Russian Weightlifting Yearbook*. Moscow: Fiskultura 1 Sport Publishing 1975:36-40.
206. Häkkinen K, Mero A, Kauhainen H. Specificity of endurance, sprint and strength training on physical performance capacity in young athletes. *J Sports Med.* 1989;29:27-35.
207. Christou M, Smilios I, Sotiropoulos K, et al. Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. *J Strength Cond Res.* 2006;20:783-91.
208. Faigenbaum AD, Mediate P. The effects of medicine ball training on physical fitness in high school physical education students. *Phys Educat.* 2006;63:160-67.
209. Faigenbaum AD, Milliken L, Moulton L, et al. Early muscular fitness adaptations in children in response to two different resistance training regimens. *Ped Exerc Sci.* 2005;17:237-48.
210. Faigenbaum AD, LaRosa Loud R, O'Connell J, et al. Effects of different resistance training protocols on upper-body strength and endurance development in children. *J Strength Cond Res.* 2001;15:459-65.
211. Faigenbaum AD, McFarland J, Keiper F, et al. Effects of a short term plyometric and resistance training program on fitness performance in boys age 12 to 15 years. *J Sports Sci Med.* 2007;6:519-25.
212. Granacher U, Muehlbauer T, Doerflinger B, et al. Promoting strength and balance in adolescents during physical education: effects of a short-term resistance training. *J Strength Cond Res.* 2011b;25:940-9.
213. Lloyd RS, Oliver JL, Hughes MG, et al. Effects of 4-weeks plyometric training on reactive strength index and leg stiffness in male youths. *J Strength Cond Res.* 2012;26:2812-9.
214. Meylan C, Malatesta D. Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *J Strength Cond Res.* 2009;23:2605-13.
215. Szymanski DJ, Szymanski JM, Molloy JM, et al. Effect of 12 weeks of wrist and forearm training on high school baseball players. *J Strength Cond Res.* 2004;18:432-40.
216. Tsolakis CK, Vagenas GK, Dessypris AG. Strength adaptations and hormonal responses to resistance training and detraining in preadolescent males. *J Strength Cond Res.* 2004;18:625-9.
217. Tsolakis C, Messinis D, Stergioulas A, et al. Hormonal responses after strength training and detraining in prepubertal and pubertal boys. *J Strength Cond Res.* 2000;14:399-404.
218. Zakas A, Doganis G, Papageorgopoulou M, et al. The effect of cycle ergometer strength training in pubescent and post-pubescent untrained males. *Isokinet Exerc Sci.* 2004;14:45-52.
219. Fleck SJ, Kraemer WJ. *Strength training for young athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics. 2005:6-9.
220. Schwanbeck S, Chillbeck PD, Binsted G. A comparison of free weight squat to smith machine squat using electromyography. *J Strength Cond Res.* 2009;23:2588-91.
221. Schick EE, Coburn JW, Brown LE, et al. A comparison of muscle activation between a Smith machine and free weight bench press. *J Strength Cond Res.* 2010 24: 779-84.
222. Jones RM, Fry AC, Weiss LW, et al. Kinetic comparison of free weight and machine power cleans. *J Strength Cond Res.* 2008;22:1785-9.
223. Borms J. The child and exercise: An overview. *J Sports Sci.* 1986;4:4-20.
224. Rabinowick T. The differentiated maturation of the cerebral cortex. In: Falkner F, Tanner J, eds. *Human Growth: A Comprehensive Treatise, Postnatal Growth: Neurobiology*. New York, NY: Plenum 1986.
225. Casey BJ, Giedd JN, Thomas KM. Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biol Psychol.* 2000;54:241-57.
226. Casey BJ, Tottenham N, Liston C, et al. Imaging the developing brain: what have we learned about cognitive development? *Trends Cogn Sci.* 2005;9:104-10.
227. Lubans DR, Morgan PJ, Cliff DP, et al. Fundamental movement skills in children and adolescents. *Sports Med.* 2010;40:1019-35.
228. Baechle TR, Earle RW, Wathen D. Resistance training. In: Baechle TR, Earle RW, eds. *Essentials of Strength Training and Conditioning*. Champaign, IL: Human Kinetics. 2008:381-412.
229. Faigenbaum AD, Milliken LA, Westcott WL. Maximal strength testing in healthy children. *J Strength Cond Res.* 2003;17:162-6.
230. Faigenbaum AD, McFarland JE, Herman RE, et al. Reliability of the one-repetition-maximum power clean test in adolescent athletes. *J Strength Cond Res.* 2012;26:432-7.
231. Horvat M, Franklin C, Born D. Predicting strength in high school women athletes. *J Strength Cond Res.* 2007;21:1018-22.
232. Kravitz L, Akalan C, Nowicki K, et al. Prediction of 1 repetition maximum in high school power lifters. *J Strength Cond Res.* 2003;17:167-72.
233. Mayhew J, Kerksick C, Lentz D, et al. Using repetitions to predict one-repetition maximum bench press in male high school athletes. *Ped Exerc Sci.* 2004;16:265-76.
234. Milliken LA, Faigenbaum AD, LaRosa Loud R. Correlates of upper and lower body muscular strength in children. *J Strength Cond Res.* 2008;22:1339-46.
235. Castro-Piñero J, Ortega FB, Artero EG, et al. Assessing muscular strength in youth: usefulness of standing long jump as a general index of muscular fitness. *J Strength Cond Res.* 2010;24:1810-7.
236. Channell BT, Barfield JP. Effect of Olympic and traditional resistance training on vertical jump improvement in high school boys. *J Strength Cond Res.* 2008;22:1522-7.
237. Dasteridis G, Piliandis T, Mantzouranis N. The effect of different strength training programmes on young athletes' sprint performance. *Stud Phys Cult Tourism.* 2011;18:141-7.
238. Faigenbaum AD, Ratamess N, McFarland J, et al. Effect of rest interval length on bench press performance in boys, teens and men. *Ped Exerc Sci.* 2008;20:457-69.
239. Zafeiridis A, Dalamitros A, Dipla K, et al. Recovery during high-intensity intermittent anaerobic exercise in boys, teens and men. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37:505-12.
240. Eston R, Byrne C, Twist C. Muscle function after exercise-induced muscle damage: Considerations for athletic performance in children and adults. *J Exerc Sci Fitness.* 2003;1:85-96.
241. Falk B, Dotan R. Child-adult differences in the recovery from high intensity exercise. *Exerc Sport Sci Rev.* 2006;34:107-12.
242. Faigenbaum AD, Zaichkowsky L, Westcott WL, et al. The effects of a twice per week strength training program on children. *Ped Exerc Sci.* 1993;5:339-46.
243. Faigenbaum AD, McFarland JE, Buchanan E, et al. After-school fitness performance is not altered after physical education lessons in adolescent athletes. *J Strength Cond Res.* 2010;24:765-70.
244. Young WB. Transfer of strength and power training to sports performance. *Int J Sports Physiol Perf.* 2006;1:74-83.
245. Kawamori N, Newton RU. Velocity specificity of resistance training: actual movement velocity versus intention to move explosively. *Strength Cond J.* 2006;28:86-91.