

El Modelo de Desarrollo Físico Juvenil: Un nuevo enfoque para el desarrollo atlético a largo plazo

Rhodri S. Lloyd, PhD, CSCS*D¹ and Jon L. Oliver, PhD²

¹Faculty of Applied Sciences, University of Gloucestershire, United Kingdom; and ²Cardiff School of Sport, Cardiff Metropolitan University, United Kingdom

RESUMEN

EL DESARROLLO DE LA APTITUD FÍSICA EN LOS ATLETAS JÓVENES ES UN ÁMBITO DE INTERÉS EXTENDIDO RÁPIDAMENTE EN LOS ENTRENADORES DE FUERZA Y ACONDICIONAMIENTO, EDUCADORES FÍSICOS, ENTRENADORES DEPORTIVOS Y PADRES. LOS MODELOS PREVIOS DE DESARROLLO DEL ATLETA A LARGO PLAZO HAN CLASIFICADO LAS METODOLOGÍAS DE ENTRENAMIENTO BASADAS EN LA JUVENTUD EN RELACIÓN CON LOS GRUPOS DE EDAD CRONOLÓGICA, UN ENFOQUE QUE TIENE LIMITACIONES DISTINTIVAS. MÁS MODELOS RECIENTES HAN INTENTADO UNAR LA MADURACIÓN Y LOS PERÍODOS DE CAPACITACIÓN PARA UN NÚMERO LIMITADO DE CALIDADES DE APTITUD, AUNQUE TALES MODELOS PARECEN QUE ESTÁN BASADOS EN ANÁLISIS SUBJETIVO. EL MODELO DE DESARROLLO FÍSICO DE LA JUVENTUD PROPORCIONA UN ENFOQUE LÓGICO Y BASADO EN LA EVIDENCIA PARA EL DESARROLLO SISTEMÁTICO DEL DESEMPEÑO FÍSICO EN LOS JÓVENES ATLETAS.

INTRODUCCIÓN

En tiempos recientes, los científicos y entrenadores han mostrado un interés creciente el desarrollo de los jóvenes atletas a largo plazo

(7,23,30,44,63,65,80,100,102).

Mejorar las capacidades físicas de los niños a lo largo de la niñez y la adolescencia para maximizar el éxito atlético en la edad adulta no es un concepto novedoso, como lo demuestran los programas de capacitación temprana basados en la juventud (20). Los investigadores han documentado previamente la importancia de no tratar a los niños como "adultos en miniatura" debido a las claras diferencias en el crecimiento físico y la estatura (39). Por lo tanto, el contenido y la entrega de la provisión de fuerza y acondicionamiento para los jóvenes debe ser marcadamente diferente de la de los adultos plenamente maduros.

El modelo de desarrollo de atletas a largo plazo (LTAD) (7) tiene en cuenta el estado de madurez del niño y ofrece un enfoque más estratégico para el desarrollo atlético de los jóvenes. El modelo LTAD sugiere que existen "ventanas de oportunidad" críticas durante los años de desarrollo, en las que los niños y adolescentes son más sensibles a la adaptación inducida por el

entrenamiento (7). El modelo también establece que si no se utilizan estas ventanas se reducirá el potencial atlético futuro (7). Sin embargo, este concepto es en gran parte teórico y carece de evidencia empírica a largo plazo (4,44,84).

Este artículo presentará un nuevo modelo, que proporciona un enfoque más considerado y basado en la evidencia para el desarrollo a largo plazo de los atletas jóvenes. El modelo demostrará que la mayoría, si no todos, los componentes de la aptitud son entrenables durante la niñez y cuestionará algunas ideas preconcebidas de la teoría actual de la LTAD.

LA EVOLUCIÓN DE LA TEORÍA DEL LTAD

Los primeros intentos de objetivar el proceso de LTAD se basaron en investigaciones que resaltaron distintas fases del aprendizaje que caracterizaron el desarrollo de los atletas de élite: los primeros años, los años intermedios y los años posteriores (18). Este primer trabajo fue ampliado por Cote (32) quien, después de entrevistar a los atletas juveniles de élite, identificó 3 etapas de desarrollo específicas del deporte: los años de muestreo (edades 6-12), los años especializados (edades 13-15), y el años de inversión (mayores de 16 años). Un

problema común con estos modelos es que se clasifican de acuerdo con la edad cronológica, un enfoque que previamente se consideró defectuoso (44), debido a las tasas diferenciales de desarrollo de la edad cronológica y la madurez biológica (57,68,108).

En consecuencia, se introdujo un modelo LTAD más completo que intentó abordar la interacción entre crecimiento, maduración y el entrenamiento (7). El modelo sugiere que las medidas de talla y peso se recogen sistemáticamente para poder identificar el pico de velocidad de crecimiento de la talla (PHV siglas en inglés) y el pico de velocidad de crecimiento del peso (PWV), que reflejan las velocidades de maduración individuales (68). PHV se refiere a la velocidad máxima de crecimiento en estatura y se ha utilizado para caracterizar desarrollos en el rendimiento en relación con el crecimiento adolescente (68). La PWV es una fase de desarrollo caracterizada por aumentos rápidos en la masa muscular como resultado del aumento de las concentraciones de hormonas sexuales (44). Al medir objetivamente las tasas de cambio en altura y masa corporal, se sugiere que los niños pueden ser entrenados de acuerdo con el estado biológico en oposición a la edad cronológica (7).

VENTANAS DE OPORTUNIDAD

Un artículo de revisión por Viru et al. (110) examinaron la literatura sobre el desarrollo e identificaron la existencia de períodos naturales de adaptación acelerada para una gama de cualidades biomotrices. Un pico de crecimiento preadolescente se destacó por la fuerza, la velocidad, la fuerza explosiva y la resistencia, tanto en niños como en niñas (110). Se sugirió que los desarrollos relacionados con la edad en las propiedades neuronales eran los responsables de la ventana prepuberal, caracterizada por una mayor coordinación intramuscular e intermuscular y mejoras en los programas de control motor (110). También se identificó un pico de crecimiento adolescente en la revisión, pero esto diferenció entre las cualidades

biomotrices (110). Las adaptaciones relacionadas con la madurez son típicamente el resultado del aumento de las concentraciones de andrógenos, la diferenciación del tipo de fibra, el ATP en reposo y los niveles de PC (fosfocreatina) y un mayor desarrollo de la arquitectura musculoesquelética (73).

Viru et al. (110) identificaron que los picos en velocidad y resistencia ocurrieron antes y alrededor del PHV, respectivamente, mientras que las ganancias aceleradas en las cualidades de la fuerza ocurrieron después del PHV (110). Utilizando PHV como marcador de referencia de maduración clave, el modelo LTAD propone que estos períodos de adaptación acelerada ofrecen ventanas de oportunidad donde las respuestas de entrenamiento se maximizarán (7). En el modelo de LTAD, se supone que estos períodos de rápido desarrollo natural representan un momento de mayor sensibilidad al entrenamiento, aunque faltan pruebas empíricas que respalden esta sugerencia (44). Además, de acuerdo con el modelo LTAD, si un niño no se involucra en el entrenamiento apropiado durante la ventana específica, entonces su potencial máximo nunca se alcanzará. Este concepto parece ser demasiado simplista y recientemente ha sido cuestionado por los investigadores (4,44,85). Por el contrario, las investigaciones sugieren que la mayoría de los componentes de la aptitud física se pueden entrenar durante la infancia y no deben restringirse a "ventanas" específicas en varias etapas de desarrollo (3,44,94). Otra debilidad del actual modelo de LTAD (7) es que su inclusión de resistencia, flexibilidad, velocidad, fuerza y habilidad presenta un enfoque un tanto limitado para el desarrollo holístico de los atletas jóvenes. A pesar de la importancia de la potenciar, la agilidad y la hipertrofia para el rendimiento humano (56, 98, 120), no se ofrece orientación sobre cuándo y por qué estas cualidades deben ser entrenadas durante la niñez y la adolescencia.

EL MODELO DE DESARROLLO FÍSICO JUVENIL

Dadas las limitaciones de los modelos anteriores de desarrollo atlético, el artículo anterior presenta un nuevo modelo alternativo que abarca el

desarrollo atlético desde la primera infancia (2 años de edad) hasta la edad adulta (más de 21 años). El modelo se ha titulado el modelo de Desarrollo Físico Juvenil (YPD) y ofrece un enfoque comprensivo para el desarrollo de hombres jóvenes (Figura 1) y mujeres (Figura 2), respectivamente. Se espera que el nuevo modelo proporcione a entrenadores de fuerza y acondicionamiento, entrenadores deportivos, educadores físicos y padres una visión general del desarrollo físico total, al tiempo que se identifica cuándo y por qué se debe enfatizar el entrenamiento de cada componente de acondicionamiento físico.

Dentro del modelo, el énfasis del entrenamiento se resalta al aumentar el tamaño de la fuente (es decir, cuanto mayor es el tamaño de la fuente, más importante es entrenar para esa calidad de condición física). Por ejemplo, el modelo muestra que un niño de 12 a 13 años debe enfocar principalmente su entrenamiento en la fuerza, la potencia, la velocidad, la agilidad y el desarrollo de habilidades específicas del deporte (SSS), con un enfoque reducido en hipertrofia, movilidad, habilidad de movimiento fundamental (FMS), resistencia y acondicionamiento metabólico. La discusión de cómo el estado de maduración, el sexo y el nivel de entrenamiento inicial afectan la aplicación del modelo se discutirá más adelante en el artículo. A continuación se muestra una visión general detallada de la lógica detrás del énfasis de enfocarse en varios componentes de acondicionamiento físico en diferentes etapas del desarrollo de un niño.

HABILIDADES FUNDAMENTALES DE MOVIMIENTO Y HABILIDADES ESPECÍFICAS DEL DEPORTE

El tema del desarrollo de FMS ha recibido considerable interés debido a la estrecha asociación entre la competencia de FMS, la salud y el bienestar, la actividad física y, en menor grado, el rendimiento físico (29,38,66,82,83,103).

YOUTH PHYSICAL DEVELOPMENT (YPD) MODEL FOR MALES																				
Edad cronológica (Años)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21+
Periodos de edad	Niñez temprana				Niñez media						Adolescencia						Adultez			
Tasa de Crecimiento	Crecimiento rápido ^ ^ STEADY GROWTH ^ y ADOLESCENT SPURT ^ y DECLINE IN GROWTH RATE																			
Status de maduración	AÑOS PRE-PHV ^ PHV AÑOS POST-PHV																			
Adaptacion al entrenamiento	PREDOMINANTLY NEURAL (AGE-RELATED) ^ ^ COMBINATION OF NEURAL AND HORMONAL (MATURITY-RELATED)																			
PHYSICAL QUALITIES	FMS	FMS		FMS		FMS														
	SSS	SSS		SSS		SSS														
	Mobility	Mobility						Mobility												
	Agility	Agility						Agility			Agility									
	Speed	Speed						Speed			Speed									
	Power	Power						Power			Power									
	Strength	Strength						Strength			Strength									
		Hypertrophy						Hypertrophy			Hypertrophy									
	Endurance & MC	Endurance & MC						Endurance & MC			Endurance & MC									
TRAINING STRUCTURE	UNSTRUCTURED				LOW STRUCTURE				MODERATE STRUCTURE				HIGH STRUCTURE				VERY HIGH STRUCTURE			

Figure 1.

The YPD model for males. Font size refers to importance; light blue boxes refer to preadolescent periods of adaptation, dark blue boxes refer to adolescent periods of adaptation. FMS = fundamental movement skills; MC = metabolic conditioning; PHV = peak height velocity; SSS = sport-specific skills; YPD = youth physical development.

La investigación previa ha indicado que el desarrollo de las FMS es esencial para asegurar que los patrones de movimiento correctos se realicen en un entorno seguro y divertido para asegurar una realización segura y efectiva de movimientos deportivos más complejos en una etapa posterior (85). Los FMS han sido vistos como los pilares de los patrones de movimiento específicos del deporte y deberían ser, por lo general, el centro de los programas de desarrollo físico para que los niños desde la primera infancia desarrollen habilidades motoras gruesas (35). Desde el comienzo de la pubertad, los adolescentes pueden ser introducidos a más SSS, por lo que los FMS se prueban dentro de escenarios más competitivos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las FMS siempre debe estar presentes dentro de cualquier programa de fuerza y acondicionamiento,

para cualquier atleta, de cualquier edad (65). Por ejemplo, el énfasis principal de una sesión de entrenamiento para un niño inexperto de 7 años puede girar en torno a una serie de ejercicios de desarrollo de FMS, mientras que un joven de élite de 21 años puede integrar ejercicios de mantenimiento de FMS dentro de una calentamiento dinámico. Este enfoque lógico se refleja en el modelo YPD (Figuras 1 y 2), donde se pone énfasis en el desarrollo de las FMS hasta el inicio de la pubertad, y posteriormente, se enfoca en SSS desde la adolescencia en adelante. Sin embargo, el modelo YPD también muestra que tanto FMS como SSS están presentes en todo momento durante la niñez y la adolescencia, pero el énfasis puesto en ambos componentes varía según la etapa de desarrollo.

FUERZA

A pesar de las preocupaciones

anteriores, ahora se acepta que los niños pueden participar de forma segura y efectiva en el entrenamiento de fuerza, cuando es prescrito y supervisado por personal debidamente calificado (6,11,39,62,88,105). El modelo de LTAD (7) sugiere que una "ventana de oportunidad" para el desarrollo de la fuerza en los jóvenes ocurre entre 12 y 18 meses después del PHV, que generalmente es acorde con la PWV (14,15). El razonamiento detrás de esta ventana es que alrededor del tiempo de PWV, los adolescentes experimentarán períodos de rápidas ganancias en la masa muscular como resultado del aumento de las concentraciones de andrógenos circulantes (110). Sin embargo, al limitar el período de entrenamiento para que coincida con los aumentos relacionados con la madurez de la masa muscular, sugeriría que los

Youth Physical Development Model

niños solo pueden fortalecerse como consecuencia de la hipertrofia de las fibras musculares y los aumentos subsiguientes en el área de la sección transversal del músculo. A pesar de esto, se ha establecido previamente que el desarrollo de la fuerza es multifacético y resulta de una combinación de factores muscular, neurales y mecánicos. ,However, by limiting the period of

trainability to coincide with maturity-related increases in muscle mass would suggest that children can only become stronger as a consequence of muscle fiber hypertrophy and subsequent increases in muscle cross-sectional area. Despite this, it has previously been established that strength development is multifaceted and results from a combination of muscular, (1,34). Debido a la plasticidad neuronal

asociada con los años prepúberes, donde el desarrollo del sistema neuromuscular se acelera naturalmente (21), se sugiere que el desarrollo de la fuerza debe ser el objetivo durante la infancia, además de después del pico de crecimiento adolescente.

YOUTH PHYSICAL DEVELOPMENT (YPD) MODEL FOR FEMALES																					
CHRONOLOGICAL AGE (YEARS)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21+	
AGE PERIODS	EARLY CHILDHOOD			MIDDLE CHILDHOOD					ADOLESCENCE							ADULTHOOD					
GROWTH RATE	RAPID GROWTH			STeady GROWTH					ADOLESCENT SPURT					DECLINE IN GROWTH RATE							
MATURATIONAL STATUS	YEARS PRE-PHV						PHV					YEARS POST-PHV									
TRAINING ADAPTATION	PREDOMINANTLY NEURAL (AGE-RELATED)								COMBINATION OF NEURAL AND HORMONAL (MATURITY-RELATED)												
PHYSICAL QUALITIES	FMS	FMS		FMS		FMS															
	sss	sss		sss		SSS															
	Mobility	Mobility					Mobility														
	Agility	Agility					Agility					Agility									
	Speed	Speed					Speed					Speed									
	Power	Power					Power					Power									
	Strength	Strength					Strength					Strength									
	Hypertrophy				Hypertrophy		Hypertrophy							Hypertrophy							
	Endurance & MC			Endurance & MC					Endurance & MC							Endurance & MC					
TRAINING STRUCTURE	UNSTRUCTURED			LOW STRUCTURE					MODERATE STRUCTURE			HIGH STRUCTURE				VERY HIGH STRUCTURE					

El modelo YPD para mujeres. El tamaño de la fuente se refiere a la importancia: los recuadros de color rosa claro se refieren a los períodos preadolescentes de adaptación, los recuadros de color rosa oscuro se refieren a los períodos de adaptación de los adolescentes. FMS = habilidades fundamentales de movimiento; MC = acondicionamiento metabólico; PHV = velocidad máxima de altura; SSS = habilidades específicas del deporte; YPD = desarrollo físico juvenil.

Figura 2.

Esta noción se ve reforzada por investigaciones y revisiones metaanalíticas que han demostrado que tanto los niños prepúberes como los adolescentes pueden lograr mejoras inducidas por el entrenamiento en la fuerza muscular (12,13,40,42,48).

El modelo YPD muestra que el desarrollo de la fuerza muscular debe ser una prioridad en todas las etapas del desarrollo tanto para hombres como para mujeres (Figuras 1 y 2). Esta noción se basa en investigaciones previas que revelaron asociaciones cercanas entre la fuerza muscular y la velocidad de la carrera (114), la fuerza muscular (104,116), la velocidad de cambio de dirección (78), la capacidad pliométrica (71) y la resistencia (53). Además, se ha especulado que la fuerza muscular es de hecho crítica para el desarrollo exitoso de las FMS (12). En consecuencia, es razonable sugerir que los niveles de desarrollo de la fuerza muscular deberían ser una prioridad en cualquier programa de desarrollo de atletas, ya que la fuerza parecería trascender todos los demás componentes de la condición física. Aunque no todas estas relaciones han sido validadas en poblaciones pediátricas, las primeras investigaciones han indicado que la fuerza muscular (además de la estatura) podría representar hasta el 70% de la variabilidad en una variedad de habilidades motoras, incluyendo el lanzamiento, el salto y el esprint en niños de 7 a 12 años (106).

El desarrollo de la fuerza muscular también debe verse como un componente integral de los programas de fortalecimiento y acondicionamiento de los jóvenes, no solo para mejorar el rendimiento sino también para reducir el riesgo de lesiones relacionadas con el deporte (39). Se ha informado que la buena forma física aeróbica y los bajos niveles de fuerza muscular aumentan el riesgo de fractura en los niños que participan en los protocolos de ejercicio (26), lo que resalta la importancia de la fuerza dentro de un programa de desarrollo atlético. Ahora se acepta que el riesgo de lesiones relacionadas con los deportes en los jóvenes se puede reducir participando regularmente en un programa de entrenamiento de la fuerza diseñado apropiadamente y

supervisado por personal debidamente calificado (42,73). En 2011, la NSCA sugirió que aproximadamente el 50% de las lesiones por uso excesivo dentro de los deportes juveniles podrían ser prevenibles en parte con un acondicionamiento preparatorio adecuado (109). Sin embargo, debe enfatizarse que las sesiones de desarrollo de fuerza no deben verse simplemente como un agregado al programa de desarrollo de atletas jóvenes, sino como un reemplazo de otra forma de entrenamiento (por ejemplo, entrenamiento de resistencia o sesión de desarrollo de habilidades).

HIPERTROFIA

El modelo de YPD muestra que un énfasis en el entrenamiento para la hipertrofia puede comenzar alrededor de las edades de 14 años en hombres y 12 años en atletas femeninas. Como se mencionó anteriormente, estas fases de desarrollo típicamente ocurrirán después del PHV, en un momento donde los niveles de testosterona circulante y la hormona del crecimiento aumentan rápidamente de acuerdo con el crecimiento acelerado del adolescente (68, 110). Los aumentos en las concentraciones séricas de testosterona, estradiol y progesterona se han relacionado directamente con la estimulación de las vías de sintetización de proteínas (45) y son responsables de la aceleración del crecimiento puberal y las adaptaciones al tejido muscular y esquelético (19). Aunque no se ha demostrado con evidencia directa, es razonable suponer que debido a la falta de andrógenos circulantes, los incrementos significativos inducidos por el entrenamiento en el tamaño muscular antes de la adolescencia parecerían limitados. En consecuencia, dentro del modelo YPD, se sugiere en términos de entrenamiento de resistencia que un enfoque debe orientarse hacia el desarrollo de la fuerza antes de la adolescencia, y después del chorro adolescente, el entrenamiento de la fuerza debe intercalarse con sesiones de entrenamiento de hipertrofia para obtener mayores ganancias en la fuerza muscular y el rendimiento general.

POTENCIA

La capacidad de generar altos niveles de potencia es esencial para el éxito deportivo (119); sin embargo, la potencia, es omitida en el modelo LTAD actual (7). La altura del salto vertical es una medida indirecta de la potencia muscular, y debido a su simplicidad, la mayoría de la literatura sobre desarrollo ha utilizado la modalidad de prueba para evaluar la potencia muscular de las extremidades inferiores en niños (50,55).

El modelo YPD muestra que el período clave de desarrollo de la potencia comienza al inicio de la edad y continúa durante la edad adulta, en gran parte debido a las rápidas mejoras en la potencia muscular durante la adolescencia que se atribuyen a las influencias de la maduración (15). Sin embargo, aunque el desarrollo de la potencia se enfatiza principalmente después del inicio de la pubertad, el modelo de YPD sugiere que también se debe enfocar el entrenamiento en el desarrollo de la potencia durante la fase prepuberal. Esto es en respuesta a la investigación que muestra que tanto los niños como los adolescentes pueden hacer mejoras útiles inducidas por el entrenamiento en medidas de potencia muscular (25,41,64,69,92,97,118). Como en el caso de la fuerza muscular, las investigaciones sugieren que la potencia muscular se puede entrenar durante toda la infancia, aunque la magnitud y la tasa de desarrollo pueden diferir antes y después de la pubertad.

VELOCIDAD

Actualmente, el modelo LTAD defiende que las ventanas de oportunidad para el desarrollo de velocidad están completamente relacionadas con la edad (7). De acuerdo con el modelo, cualquier efecto de entrenamiento será, por lo tanto, el resultado de las adaptaciones neuronales, que previamente se han destacado como factores significativos en las ganancias de velocidad (21). Sin embargo, investigaciones alternativas han indicado que el desarrollo de la velocidad en atletas jóvenes también puede estar influenciado por la maduración (94), lo que sugiere que, como en el caso de muchos componentes de la condición física, la velocidad es entrenable durante la

infancia y la adolescencia. Curiosamente, la revisión de Rumpf et al. (94) revelaron que los prepuberescer se beneficiaron más del entrenamiento que requería altos niveles de activación neural (pliometría y entrenamiento de velocidad), mientras que los adolescentes respondieron de manera más favorable a los modos de entrenamiento que tenían como objetivo el desarrollo neural y estructural (fuerza y pliometría). Esto podría apoyar el concepto de ventanas cuando predominan diferentes adaptaciones de entrenamiento que reflejan el desarrollo natural; sin embargo, la capacidad de aprendizaje per se permanece durante toda la infancia. Desde una perspectiva práctica, esto sugeriría que los niños prepuberescer deben enfocarse en su desarrollo de velocidad alrededor de la pliometría, desarrollo técnico y trabajo de esprint para desarrollar cualidades físicas existentes, mientras que los adolescentes deberían enfocarse más en el entrenamiento de fuerza, pliometría y entrenamiento de la velocidad para maximizar las ganancias de velocidad en general .

AGILIDAD

Se puede decir que la agilidad es uno de los componentes de la aptitud física menos investigados dentro de la literatura pediátrica, a pesar del reconocimiento de que se requiere un alto grado de agilidad para un rendimiento óptimo en la mayoría de los deportes (56). Además, una ventana de oportunidad no está presente dentro del modelo de LTAD actual (7). En consecuencia, es difícil determinar si la edad, la maduración o ambos son determinantes del rendimiento de la agilidad. Existe una falta de investigación que identifique los marcos de tiempo apropiados para enfocarse en la capacitación específica de agilidad. Por lo tanto, el modelo YPD hace inferencias en relación con el desarrollo de los subcomponentes de la agilidad, como se definió previamente (99,120): velocidad de cambio de dirección (incluyendo técnica, velocidad de carrera recta, fuerza de los miembros inferiores y antropometría) y función cognitiva (procesos de percepción y toma de decisiones).

Cambio de velocidad. Al examinar la literatura que rodea estos componentes, el modelo de YPD sugiere que la agilidad debe ser el objetivo durante la prepubertad y la adolescencia. Como la fuerza de los miembros inferiores y la velocidad de la carrera son componentes de la agilidad (120), es lógico buscar desarrollar la agilidad y reforzar la coordinación y los patrones de movimiento durante los primeros años. Ya se ha demostrado que los años prepuberescer representan una oportunidad para que los niños mejoren la fuerza (12,48) y la velocidad (94), lo que resulta en una mayor contribución de la actividad neural a la tasa de desarrollo de la fuerza (110). Una vez que un niño llega a la adolescencia, por lo general experimentará mayores ganancias de fuerza a través de la maduración neural continua y también importantes aumentos en la masa muscular magra, debido al aumento de las concentraciones séricas de andrógenos (110). Es razonable sugerir que la adolescencia, por lo tanto, servirá como un momento oportuno para desarrollar aún más la agilidad, ya que es probable que aumenten la fuerza máxima y la tasa máxima de desarrollo de la fuerza debido a la adaptación en la estructura muscular. La preadolescencia también se ha identificado como un período en el que los niños experimentan un rápido desarrollo en el sistema neuromuscular (21), con tasas de maduración cerebral que alcanzan su máximo entre 6 y 8 y entre 10 y 12 años (90). Naturalmente, debido a la plasticidad neuronal asociada con la preadolescencia, esta sería una oportunidad ideal para desarrollar programas de control motor incluyendo técnicas básicas de cambio de dirección en primera instancia y luego progresando hacia movimientos de agilidad más específicos del deporte a medida que el niño se acerca a la adolescencia .

Función cognitiva. Según Sheppard y Young (99), una serie de variables perceptivas influyen en la agilidad. Específicamente, los autores afirman que el escaneo visual, el conocimiento de las situaciones, el reconocimiento de patrones y las cualidades anticipatorias influyen en el rendimiento de la agilidad individual (99). Existe una literatura

mínima que examina la influencia del crecimiento y la maduración en estos componentes y sus efectos posteriores sobre el rendimiento de la agilidad. En deportes outdoor, las investigaciones sugieren que las capacidades cognitivas aumentan durante la última infancia y la adolescencia y que a lo largo de estas fases de desarrollo, la exposición repetida a un estímulo dado dará como resultado tiempos de respuesta más rápidos debido a un aparente fortalecimiento de las vías sinápticas existentes (24). Ya sea que estas teorías se traduzcan en situaciones deportivas reales, en las que los atletas tendrán que reaccionar rápidamente ante estímulos fluctuantes (por ejemplo, la posición del cuerpo, el rebote de la pelota, el movimiento de oposición), aún está por verse.

Se espera que la alfabetización deportiva desarrollada durante la fase prepuberal se mejorará continuamente a medida que el niño progresa durante la adolescencia y en la adultez, a través de un aumento en experiencia con las oportunidades de aprendizaje dentro de entornos deportivos específicos. Dada la falta de literatura sobre desarrollo existente, se sugiere que el enfoque de entrenamiento de la agilidad debe ser más desafiante a medida que el individuo progresa durante la niñez y la edad adulta, con el uso de métodos de entrenamiento más abiertos y no planificados para sobrecargar continuamente el estímulo de entrenamiento. Además, con un aumento en las demandas de entrenamiento dentro de un cronograma atlético general, se espera que el desarrollo de la agilidad (y el mantenimiento) se obtenga de sesiones específicas basadas en habilidades deportivas, donde las demandas de movimiento replican las demandas locomotoras exactas de el deporte. Según el desarrollo de la velocidad, se debe tener en cuenta una advertencia para el desarrollo de la agilidad durante la adolescencia, a medida que los niños aprenden a moverse con las extremidades más largas. Las ganancias rápidas en la longitud de las extremidades durante el crecimiento acelerado de la adolescencia pueden conducir a decrementos en el rendimiento del control motor, un concepto comúnmente conocido como

"incomodidad adolescente" (87). Durante esta etapa de desarrollo, los investigadores han sugerido que muchos de los patrones de movimiento adquiridos previamente tendrán perfeccionarse (37). Mediante un seguimiento regular de las tasas de crecimiento, los períodos de "incomodidad adolescente" pueden identificarse y los entrenadores de fuerza y acondicionamiento deben conocer los procesos subyacentes atribuibles a tales interrupciones en el control motor y ajustar el contenido de las sesiones de entrenamiento en consecuencia.

MOVILIDAD

A pesar de destacar la "flexibilidad" como uno de los componentes clave para desarrollar a través del entrenamiento (7), el modelo LTAD no sugiere una ventana de oportunidad apropiada para su desarrollo. El modelo de YPD no pretende en ningún momento que la movilidad sea énfasis principal en un programa de entrenamiento durante la infancia o la adolescencia. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, como autores, recomendamos que el desarrollo de la movilidad y el mantenimiento sean una parte esencial de cualquier programa deportivo para garantizar que los atletas puedan alcanzar los rangos de movimiento requeridos para sus deportes.

Específicamente, el modelo YPD propone que la niñez media (entre 5 y 11 años) sea el marco de tiempo más importante para que un individuo incorpore entrenamiento de la flexibilidad y movilidad. La razón de esta selección es que incorpora un período que anteriormente se había denominado un período crítico de desarrollo para la flexibilidad (67, 96). Las diferencias de sexo son aparentes en la investigación, lo que sugiere que los niños muestran una reducción en la flexibilidad en la flexión anterior del tronco entre 9 y 12 años (16), mientras que las niñas muestran un mejoramiento acelerado a partir de los 11 años (22). Por lo tanto, se sugiere que la preadolescencia sirva como una oportunidad para desarrollar la movilidad, mientras que el mantenimiento de los niveles adquiridos debe ser el enfoque para adolescentes y adultos.

RESISTENCIA Y CONDICIONAMIENTO METABÓLICO

Las primeras investigaciones produjeron resultados contradictorios con respecto a la capacidad de entrenamiento de los jóvenes, con estudios que sugieren que los niños que estaban cerca-PHV poseían una mayor capacidad de respuesta del entrenamiento (113) o, a la inversa, que grandes ganancias de entrenamiento eran posibles para los niños que eran pre-PHV (93). Se sugiere que las inconsistencias en el diseño de la investigación han sido atribuibles a estos resultados confusos y que la falta de evidencia empírica longitudinal refuta las afirmaciones de la existencia de una ventana de oportunidad tal como se define en el modelo de LTAD (44). Independientemente de la falta de pruebas, se espera que los cambios relacionados con el crecimiento en los sistemas cardiovasculares centrales y periféricos, la función neuromuscular y las capacidades metabólicas influyan en el desarrollo de la resistencia y el acondicionamiento metabólico durante la infancia (93).

Dado que los componentes fisiológicos se desarrollan continuamente durante la niñez y la adolescencia, no es sorprendente que se haya informado que los niños prepúberes, durante la pubertad y postpúberes pueden mejorar de manera significativa el rendimiento de la resistencia, como lo indican las respuestas al VO₂max (3).

El modelo YPD propone que se preste más atención a la resistencia y al condicionamiento metabólico a medida que el niño se acerca a la edad adulta, y en ningún momento se lo considera el foco principal del entrenamiento de un individuo. Aunque esto puede parecer controvertido, la lógica se basa en la suposición de que un individuo estará expuesto al desarrollo de la resistencia específica del deporte mientras participa en partidos organizados o competiciones y, potencialmente, dentro de una sesión de habilidades técnicas de su deporte. Además, los niveles notables de resistencia no son absolutamente necesarios en la mayoría de los deportes, y la resistencia parece ser entrenable en la adultez. Dentro del sector educativo, la resistencia

cardiovascular es inadvertidamente el componente de aptitud física más comúnmente desarrollado, ya que pedirle a un niño que realice alguna forma de locomoción submáxima parecería más seguro para los maestros que pedirles que participen en algún tipo de entrenamiento de la fuerza. Este es especialmente el caso en el entorno de la escuela primaria en el Reino Unido, donde no solo disminuyeron los niveles de fuerza en los niños en la última década (31) sino que también se reconoce que los maestros están preparados inadecuadamente mediante la formación docente para enseñar educación física y que los requisitos legales para la educación física no se alcanzan rutinariamente (59).

LA NECESIDAD DE INDIVIDUALIZAR PROGRAMAS DE DESARROLLO ATLÉTICO A LARGO PLAZO

El modelo de YPD se presenta tanto para los hombres (Figura 1) como para las mujeres (Figura 2) que muestran lo que se clasificaría como un niño de madurez promedio (es decir, no un madurador temprano o tardío). Sin embargo, los entrenadores de fuerza y acondicionamiento habitualmente entrarán en contacto con atletas de distintas etapas de maduración, edad, sexo e historial de entrenamiento. Aunque los modelos anteriores han aludido a estas variables (7), no es evidente que se haya abordado el impacto de las variables individuales en la preinscripción del entrenamiento. Por consiguiente, la siguiente sección examinará cómo se debe manipular el modelo YPD cuando se consideran factores dependientes del sexo, el tiempo y las tasas de maduración, y el historial de entrenamiento asociado con diferentes atletas.

DIFERENCIAS SEXUALES

A pesar de que hay más niños participando en deportes juveniles que niñas, ha habido un aumento en el número total de niños y adolescentes que participan activamente en deportes juveniles organizados durante la última década (77). Con el aumento de los números de participación, es imperativo que cualquier entrenador de fuerza y acondicionamiento conozca las diferencias fisiológicas y de maduración

Youth Physical Development Model

que existen entre hombres y mujeres y programas de diseño específico en consecuencia.

Durante los años prepúberes, los niños y niñas seguirán tasas similares de desarrollo en crecimiento y maduración, a pesar de las diferencias sexuales consistentes, la fuerza, la velocidad, la potencia, la resistencia y la coordinación se desarrollarán a tasas similares para ambos sexos durante la infancia (14). En consecuencia, desde una perspectiva de entrenamiento, tanto los niños como las niñas pueden seguir programas de entrenamiento similares durante los años prepúberes. El modelo de YPD aboga por un enfoque prepuberal de entrenamiento tanto para niños como para niñas, que se centra en el FMS, y el desarrollo de la velocidad, la fuerza y la agilidad.

Los años prepúberes son un período en el que los niños experimentarán ganancias rápidas en la masa ósea debido al modelado y la remodelación (9). La exposición a un ejercicio de sobrecarga diseñado apropiadamente con una intensidad de carga moderada a alta (con la calidad técnica adecuada) es un estímulo osteogénico (60,61,111,115). Tal entrenamiento puede resultar en grandes aumentos en la masa y densidad ósea (5,10,17,46,117), y la investigación ha sugerido que esta respuesta adaptativa es más sensible durante los años prepúberes (8). Debido a que las mujeres con mayor riesgo de osteoporosis en etapas posteriores de la vida (58) ya se consideraba que el entrenamiento de fuerza ofrecía la posibilidad de reducir las fracturas osteoporóticas en mujeres mayores (79), la importancia del entrenamiento de fuerza para las mujeres en todas las etapas del desarrollo no debería ser subestimado.

Al inicio del pico de crecimiento adolescente, las claras diferencias de maduración son evidentes para casi todos los componentes de la condición física, y los hombres logran mayores mejoras en la mayoría de las cualidades físicas, con la excepción de la flexibilidad (14,68). Típicamente, el inicio del crecimiento adolescente ocurre alrededor de 2 años antes en

niñas (aproximadamente 10 años de edad) que en niños (aproximadamente 12 años de edad) (14), y en la mayoría de los casos, las niñas experimentan PHV en una edad más temprana que los niños (12 años versus 14 años) (15). A pesar de un presentarun PHV más temprana en las niñas, la magnitud del PHV es mayor en los niños (15).

Durante el estirón adolescente, las atletas se someterán a procesos fisiológicos específicos del sexo que pueden afectar el rendimiento: aumento del tejido adiposo, tasas diferenciales de desarrollo de la fuerza neuromuscular, y altura y peso; inicio del ciclo menstrual, aumento de la laxitud articular, aumento del ángulo del valgo de la rodilla; y una mayor dependencia de estrategias de aterrizaje de tipo cuádriceps-dominante, todas las cuales se han asociado con un mayor riesgo de lesión sin contacto del ligamento cruzado anterior (2,43,51,52,72,75,86,89).

En consecuencia, el modelo YPD sugiere que las estrategias de entrenamiento diseñadas para reducir el riesgo de lesiones del ligamento cruzado anterior sin contacto, como la pliometría, el fortalecimiento del núcleo, el entrenamiento de la fuerza y el entrenamiento del equilibrio y la perturbación (74) deben implementarse dentro de la fuerza y programa de acondicionamiento de atletas femeninas y mantenida en la edad adulta.

INDIVIDUOS MADURADORES TEMPRANOS VERSUS TARDÍOS INITIAL TRAINING STATUS

Debido al tiempo de maduración altamente individual, es imperativo que cualquier modelo de LTAD contenga un grado de flexibilidad (65). Un niño de madurez temprana se define previamente como una niña o un niño que comienza su crecimiento adolescente aproximadamente 1.5 o 2 años antes que un niño de maduración tardía (47).

Aunque la investigación ha indicado que la altura adulta no se ve afectada por la maduración temprana o tardía (49), los entrenadores de fuerza y acondicionamiento deben apreciar que un niño con madurez temprana o tardía tendrá que ser tratado de manera

diferente a un niño "promedio" que está madurando cuando se prescriben programas de desarrollo atlético a largo plazo. Por ejemplo, si un niño es monitoreado sistemáticamente en su estatura y masa corporal cada 3-6 meses a través de la niñez, se pueden calcular las tasas de crecimiento, el porcentaje de estatura adulta y las predicciones de edad por PHV (70). Usando estas medidas, el estado de madurez de un niño puede ser aproximado, proporcionando así una estimación más precisa de su edad biológica.

En relación con el modelo YPD, si se considera que un niño es un madrugador temprano, entonces los componentes del modelo deberán moverse hacia la izquierda, lo que permitirá al niño comenzar técnicas de entrenamiento más avanzadas a una edad cronológica más temprana. Por el contrario, un entrenador de fuerza y acondicionamiento debe permitir que los componentes del modelo YPD se muevan hacia la derecha para un niño que se considere madurador tardío, y así introducirlos en un entrenamiento más avanzado en una edad cronológica posterior, cuando estén fisiológicamente preparados para hacer frente al aumento del estímulo de entrenamiento. En cualquiera de estos casos, aunque la prescripción de entrenamiento variará de acuerdo con la edad cronológica, debería permitir una mayor consistencia y más precisión en términos de la edad biológica del niño independientemente de la edad cronológica o biológica, un entrenador de fuerza y acondicionamiento debe pensar en la **edad de entrenamiento** de cualquier atleta con el que comiencen a trabajar. La edad de entrenamiento se puede definir como el número de años que un atleta ha estado participando en un entrenamiento formal y es un factor importante a considerar cuando se diseñan programas de desarrollo atlético a largo plazo. Tal enfoque es particularmente pertinente cuando un entrenador de fuerza y acondicionamiento comienza a trabajar con un atleta que se acerca a la edad adulta que ha pasado por alto las etapas iniciales del modelo YPD.

En tal caso, los atletas deben comenzar con el desarrollo temprano de las FMS y

la fuerza muscular antes de embarcarse en el contenido de entrenamiento que sea proporcional a su edad cronológica. Por el contrario, si un entrenador de fuerza y acondicionamiento comienza a trabajar con un niño de 10 años de edad que puede mostrar una fuerza, velocidad y potencia excepcionales mientras mantiene la competencia técnica requerida, entonces no debe restringirse a los métodos de entrenamiento introductorio más parecidos a su edad cronológica. Este concepto se ha discutido previamente en relación con los modelos de desarrollo pliométrico (63) y del weightlifting (65).

EL MODELO YPD COMO VEHÍCULO PARA EL BIENESTAR DEL ATLETA

El bienestar se ha definido como un estado positivo y sostenible que permite que individuos, grupos o naciones prosperen y florezcan (54). La filosofía del modelo YPD es que permite la individualización, se centra en los atletas y promueve el desarrollo del niño sobre los resultados o performance deportiva. Esto puede sacrificar el éxito en el desempeño a corto plazo, pero debe maximizar la oportunidad de fomentar una sensación de bienestar y proporcionar ganancias a largo plazo. Esta filosofía ayudará al niño a apreciar los beneficios del entrenamiento y desarrollar la motivación intrínseca para participar en el entrenamiento, que es un fuerte predictor de bienestar (95) y se asocia con comportamientos positivos (112). Además, siempre que el entrenador pueda entregar el contenido del modelo de una manera positiva, el niño debe reconocer los logros que está logrando (por ejemplo, desarrollo técnico, físico, de), lo que lleva a una mayor competencia percibida, que es un determinante principal de una sensación de bienestar en los niños atletas (91). Esto aumentará la probabilidad de que el niño pueda persistir frente a la adversidad y mantener un interés continuo en el deporte (4,36).

El modelo de YPD aboga por el desarrollo de las FMS desde una edad temprana, que están asociados con los beneficios de salud físicos y psicológicos en los niños (66). Además, la progresión proporcionada en todo el

modelo YPD permitirá a los niños experimentar el dominio continuo de nuevas tareas a lo largo de sus años de desarrollo.

El dominio de las tareas se asocia con el incremento del disfrute, la competencia percibida, la satisfacción y las creencias de que el esfuerzo causa el éxito (81,101,107). Tales experiencias positivas también deberían proporcionar habilidades de vida valiosas y altamente transferibles (33). El desarrollo continuado y superpuesto de una serie de componentes de acondicionamiento físico en el modelo YPD también debe proporcionar la fuerza y el entrenador con la capacidad de desarrollar programas de entrenamiento que contengan un alto grado de variación, algo que se ha sugerido que es importante para mantener el interés y promoción del bienestar de los niños atletas (85).

REQUERIMIENTOS PARA ENTRENADORES DE FUERZA Y ACONDICIONAMIENTO QUE TRABAJAN CON ATLETAS JUVENILES

Es importante darse cuenta de que el éxito de cualquier programa de desarrollo a largo plazo dependerá en gran medida del nivel de educación y la calidad de la instrucción recibida por el atleta del entrenador responsable (73). Dentro de la literatura, los casos de lesiones inducidas por el entrenamiento en niños y adolescentes se informan solo en casos en que un atleta joven ha estado expuesto a un entrenamiento excesivo, poco familiar y mal prescrito, que en ambos casos ha llevado a la rabdomiolisis y a la hospitalización (27,28). Las investigaciones sugieren que, fuera de estos casos aislados, la mayoría de las lesiones relacionadas con el entrenamiento de la fuerza tienden a ser de naturaleza accidental, y el número de lesiones accidentales disminuye con la edad (76). Sin embargo, para minimizar las posibilidades de que ocurran casos aislados de este tipo, es imperativo que aquellos entrenadores que entrenan activamente a atletas jóvenes posean las credenciales apropiadas.

En primer lugar, un entrenador debe tener una calificación de fuerza y

acondicionamiento relevante (por ejemplo, Especialista en entrenamiento de la fuerza y condición certificada en los Estados Unidos o Entrenador acreditado de Fuerza y acondicionamiento en el Reino Unido). Segundo, un entrenador debe tener un sólido conocimiento de la ciencia del ejercicio pediátrico, idealmente en un nivel de pregrado o postgrado. Finalmente, un entrenador debe tener un fuerte bagaje pedagógico para asegurarse de que aprecien los diferentes estilos de comunicación e interacción que necesitarán adoptar con los atletas, que pueden ser desde prepubescentes precoces hasta adolescentes finales. Se espera que la satisfacción de estos criterios asegure que los modelos de desarrollo de atletas jóvenes se entreguen de manera segura y efectiva, respaldados por un diseño de programa individual apropiado (incluyendo selección y progresiones de ejercicio, cargas de volumen, descanso y recuperación), establecimiento de objetivos realistas de y una filosofía de entrenamiento que se adapta al desarrollo holístico del joven atleta.

Es importante darse cuenta de que el éxito de cualquier programa de desarrollo a largo plazo dependerá en gran medida del nivel de educación y la calidad de la instrucción recibida por el atleta del entrenador responsable (73). Dentro de la literatura, los casos de lesiones inducidas por el entrenamiento en niños y adolescentes se informan solo en casos en que un atleta joven ha estado expuesto a un entrenamiento excesivo, poco familiar y mal prescrito, que en ambos casos ha llevado a la rabdomiolisis de esfuerzo y la hospitalización (27,28). La investigación sugiere que, fuera de estos casos aislados, la mayoría de las lesiones relacionadas con el entrenamiento de resistencia tienden a ser de naturaleza accidental, y el número de lesiones accidentales disminuye con la edad (76). Sin embargo, para minimizar las posibilidades de que ocurran casos aislados de este tipo, es imperativo que aquellos entrenadores que entrenan activamente a atletas jóvenes posean las credenciales apropiadas.

En primer lugar, un entrenador debe tener una calificación de fuerza y acondicionamiento relevante (por

Youth Physical Development Model

ejemplo, Especialista en fortaleza y condición certificada en los Estados Unidos o Entrenador acreditado de resistencia y acondicionamiento en el Reino Unido). Segundo, un entrenador debe tener un sólido conocimiento de la ciencia del ejercicio pediátrico, idealmente en un nivel de pregrado o postgrado. Finalmente, un entrenador debe tener un fuerte bagaje pedagógico para asegurarse de que aprecien los diferentes estilos de comunicación e interacción que necesitarán adoptar con los atletas, que pueden ser desde prepubescentes precoces hasta adolescentes avanzados. Se espera que la satisfacción de estos criterios asegure que los modelos de desarrollo de atletas jóvenes se entreguen de manera segura y efectiva, respaldados por un diseño de programa individual apropiado (incluyendo selección y progresiones de ejercicio, cargas de volumen, descanso y recuperación), establecimiento realista de los objetivos, y una filosofía de entrenamiento que se adapta al desarrollo holístico del joven atleta.

RESUMEN

El presente artículo ha proporcionado una sólida base para el modelo YPD. Este enfoque para el desarrollo de atletas jóvenes parece ser más realista en términos de reconocer que la mayoría de los componentes de la aptitud física se pueden entrenar durante toda la infancia. Para el modelo YPD, es fundamental que, durante la preadolescencia, la fuerza, las FMS, la velocidad y la agilidad sean las cualidades físicas principales que se persiguen y que las respuestas adaptativas a los métodos de entrenamiento apropiados sean de naturaleza neural. Una vez que el niño llega a la adolescencia, los componentes adicionales (SSS, potencia e hipertrofia) se vuelven más importantes debido al aumento del entorno androgénico interno asociado con esta etapa de desarrollo. La necesidad de individualización del modelo no debe subestimarse cuando se trata de atletas de diferente sexo, estado de madurez e historial de entrenamiento. Fundamentalmente, el personal debidamente calificado siempre debe ser responsable de la implementación del modelo YPD, para

garantizar el desarrollo holístico de niños y adolescentes.



Rhodri S. Lloyd
is the program director for the Sport Strength and Conditioning degrees at the University of Gloucestershire.



Jon L. Oliver
is a lecturer in Sport and Exercise Physiology at Cardiff Metropolitan University.

REFERENCIAS

1. Aagaard P. Training-induced changes in neural function. *Sports Med* 31: 61-67, 2003.
2. Arendt E and Dick R. Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer: NCAA data and review of the literature. *Am J Sports Med* 23: 694-701, 1995.
3. Bacquet G, van Praagh E, and Berthoin S. Endurance training and aerobic fitness in young people. *Sports Med* 33: 1127-1143, 2003.
4. Bailey R, Collins D, Ford P, MacNamara A, Toms M, and Pearce G. Participant development in sport: An academic review. *Sports Coach UK* 4: 1-134, 2010.
5. Bailey DA, Faulkner RA, and McKay HA. Growth, physical activity and bone mineral acquisition. In: *Exercise and Sports Science Review. American College of Sports Medicine Series*.
6. Holloszy JO, ed. Vol. 24. Baltimore, MD: Williams & Wilkins, 1996. pp. 233-266.
7. Baker D, Mitchell J, Boyle D, Currell S, Wilson G, Bird SP, O'Connor D, and Jones J. Resistance training for children and youth: A position stand from the Australian Strength and Conditioning Association (ASCA). 2007. Available at: <http://www.strengthandconditioning.org>. Accessed July 13, 2011.
8. Balyi I and Hamilton A. *Long-Term Athlete Development: Trainability in Childhood and Adolescence-Windows of Opportunity-Optimal Trainability*. Victoria, Canada: National Coaching Institute British Columbia & Advanced Training and Performance Ltd, 2004.
9. Bass SL. The prepubertal years-A unique opportune stage of growth when the skeleton is most responsive to exercise? *Sports Med* 30: 73-78, 2000.
10. Bass S, Delmas PD, Pearce G, Hendrich E, Tabensky A, and Seeman E. The differing tempo of growth in bone size, mass and density in girls is region-specific. *J Clin Invest* 104: 795-804, 1999.
11. Bass SL and Myburg K. The effect of exercise on peak bone mass and bone strength. In: *Sports Endocrinology*. Warren M and Constantini N, eds. Totowa, NJ: Humana Press Inc, 2000. pp. 253-280.
12. Behm DG, Faigenbaum AD, Flak B, and Klentrou P. Canadian Society for Exercise Physiology position paper: Resistance training in children and adolescents. *Appl Physiol Nutr Metab* 33: 547-561, 2008.
13. Behringer M, vom Heede A, Matthews M, and Mester J. Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatr Exerc Sci* 23: 186-206, 2011.
14. Behringer M, vom Heede A, Yue Z, and Mester J. Effects of resistance training in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatrics* 126: 1199-1210, 2010.
15. Beunen GP and Malina RM. Growth and biological maturation: Relevance to athletic performance. In: *The Child and Adolescent Athlete*. Bar-Or O, ed. Oxford, United Kingdom: Blackwell Publishing, 2005. pp. 3-17.
16. Beunen GP and Malina RM. Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exerc Sport Sci Rev* 16: 503-540, 1988.
17. Beunen GP, Malina RM, Van't Hof MA, Simons J, Ostyn M, Renson R, and Van Gerven D. *Adolescent Growth and Motor Performance*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1988. pp. 6-9.
18. Blimkie CJ, Rice S, Webber CE, Martin J, Levy D, and Gordon CL. Effects of resistance training on bone mineral content and density in adolescent females. *Can J Physiol Pharmacol* 74: 1025-1033, 1996.
19. Bloom BS. *Developing Talent in Young People*. New York, NY: Ballantine Books, 1985. pp. 139-211.
20. Boisseau N and Delamarche P. Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Med* 30: 405-422, 2000.
21. Bompa TO. *Total Training for Young Champions*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2000. pp. 21-31.

22. Borms J. The child and exercise: An overview. *J Sports Sci* 4: 4-20, 1986.
23. Branta C, Haubenstricker J, and Seefeldt V. Age changes in motor skills during childhood and adolescence. *Exerc Sport Sci Rev* 12: 467-520, 1984.
24. Burgess DJ and Naughton GA. Talent development in adolescent team sports: A review. *Int J Sports Physiol Perform* 5: 103-116, 2010.
25. Casey BJ, Giedd JN, and Thomas KM. Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biol Psychol* 54: 241-257, 2000.
26. Chiodera P, Volta E, Gobbi G, Milioli MA, Mirandola P, Bonetti A, Deisignore R, Bernasconi S, Anedda A, and Vitale M. Specifically designed physical exercise programs improve children's motor abilities. *Scand J Med Sci Sports* 18: 179-187, 2008.
27. Clark EM, Tobias JH, Murray L, and Boreham C. Children with low muscle strength are at an increased risk of fracture with exposure to exercise. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 11: 196-202, 2011.
28. Clarkson PM. Case report of exertional rhabdomyolysis in a 12-year-old boy. *Med Sci Sports Exerc* 38: 197-200, 2006.
29. Cleary MA, Sadowski KA, Lee SY, Miller GL, and Nichols AW. Exertional rhabdomyolysis in an adolescent athlete during preseason conditioning: A perfect storm. *J Strength Cond Res* 25: 3506-3513, 2011.
30. Cliff DP, Okely AD, Smith LM, and McKeen K. Relationships between fundamental movement skills and objectively measured physical activity in preschool children. *Pediatr Exerc Sci* 21: 436-449, 2009.
31. Coble S, Baker J, Wattie N, and McKenna J. Annual age-grouping and athlete development: A meta-analytical review of relative age effects in sport. *Sports Med* 39: 235-256, 2009.
32. Cohen DD, Voss C, Taylor MJ, Delextat A, Ogunleye AA, and Sandercock GR. Ten-year secular changes in muscular fitness in English children. *Acta Paediatr* 100: e175-e177, 2011.
33. Cote J. The influence of the family in the development of talent in sport. *Sport Psychol* 13:395-417, 1999.
34. Danish S, Forneris T, Hodge K, and Heke I. Enhancing youth development through sport. *World Leisure J* 46: 38-49, 2004.
35. De Ste Croix M. Advances in paediatric strength assessment: Changing our perspective on strength development. *J Sports Sci Med* 6: 292-304, 2007.
36. Deli E, Bakle I, and Zachopoulou E. Implementing intervention movement programs for kindergarten children. *J Early Child Res* 4: 5-18, 2006.
37. Donaldson SJ and Ronan KR. The effects of sports participation on young adolescents' emotional wellbeing. *Adolescence* 41: 369-388, 2006.
38. Drabik J. *Children & Sports Training: How Your Future Champions Should Exercise to be Healthy, Fit, and Happy*. Island Pond, VT: Stadion Publishing Co, 1996.
39. Faigenbaum AD, Farrell A, Fabiano M, Radler T, Nacierio F, Ratamess NA, Kang J, and Myer GD. Effects of integrative neuromuscular training on fitness performance in children. *Pediatr Exerc Sci* 23: 573-584, 2011.
40. Faigenbaum AD, Kraemer WJ, Blimkie CJ, Jeffreys I, Micheli LJ, Nitka M, and Rowland TW. Youth resistance training: Updated position statement paper from the National Strength and Conditioning Association. *J Strength Cond Res* 23: S60-S79, 2009.
41. Faigenbaum AD, Loud RL, O'Connell J, Glover S, O'Connell J, and Westcott W. Effects of different resistance training protocols on upper-body strength and endurance development in children. *J Strength Cond Res* 15: 459-465, 2001.
42. Faigenbaum A and Mediate P. Medicine ball for all: A novel program that enhances physical fitness in school-age youths. *J Phys Educ Recreation Dance* 77: 25-30, 2006.
43. Faigenbaum AD and Myer GD. Resistance training among young athletes: Safety, efficacy and injury prevention effects. *Br J Sports Med* 44: 56-63, 2010.
44. Fischer DV. Neuromuscular training to prevent anterior cruciate ligament injury in the female athlete. *Strength Cond J* 28: 44-54, 2006.
45. Ford PA, De Ste Croix MBA, Lloyd RS, Meyers R, Moosavi M, Oliver J, Till K, and Williams CA. The long-term athlete development model: Physiological evidence and application. *J Sports Sci* 29: 389-402, 2011.
46. Fragala MS, Kraemer WJ, Denegar CR, Maresh CM, Mastro AM, and Volek JS. Neuroendocrine-immune interactions and responses to exercise. *Sports Med* 41: 621-639, 2011.
47. Fuchs RK, Bauer JJ, and Snow CM. Jumping improves hip and lumbar spine bone mass in prepubescent children: A randomized controlled trial. *J Bone Miner Res* 16: 148-156, 2001.
48. Gasser T, Sheehy A, Molinari L, and Largo RH. Growth of early and late maturers. *Ann Hum Biol* 28: 328-336, 2001.
49. Granacher U, Goesele A, Roggo K, Wischer T, Fischer S, Zuerny C, Gollhofer A, and Kriemler S. Effects and mechanisms of strength training in children. *Int J Sports Med* 32: 357-364, 2011.
50. Hagg U and Taranger J. Height and height velocity in early, average and late maturers followed to the age of 25: A prospective longitudinal study of Swedish urban children from birth to adulthood. *Ann Hum Biol* 18: 47-56, 1991.
51. Harrison AJ and Gaffney S. Motor development and gender effects on SSC performance. *J Sci Med Sport* 4: 406-415, 2001.
52. Hewett TE, Myer GD, and Ford KR. Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes. *J Bone Joint Surg Am* 86: 1601-1608, 2004.
53. Hewett TE, Zazulak BT, and Myer GD. Effects of the menstrual cycle on anterior cruciate ligament injury risk: A systematic review. *Am J Sports Med* 35: 659-668, 2007.
54. Hoff J, Helgerud J, and Wisloff U. Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc* 31: 870-877, 1999.
55. Huppert FA, Baylis N, and Keverne B. Introduction: Why do we need a science of well-being? *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 359: 1331-1332, 2004.
56. Isaacs LD. Comparison of the vertec and just jump systems for measuring height of vertical jump by young children. *Percept Mot Skills* 86: 659-663, 1998.
57. Jeffreys I. Motor learning-Applications for agility, part 1. *Strength Cond J* 28: 72-76, 2006.
58. Katzmarzyk PT, Malina RM, and Beunen GP. The contribution of biological maturation to the strength and motor fitness of children. *Ann Hum Biol* 24: 493-505, 1997.
59. Kelly PJ, Twomey L, Sambrook PN, and Eisman JA. Sex differences in peak adult bone mineral density. *J Bone Miner Res* 5: 1169-1175, 1990.
60. Kirk D. Physical education, youth sport and lifelong participation: The importance of early learning experiences. *Eur Phys Edu Rev* 11: 239-255, 2005.
61. Lanyon LE. Functional strain in bone tissue as the objective and controlling stimulus for adaptive bone remodeling. *J Biomech* 20: 1083-1095, 1987.
62. Lanyon LE and Rubin CT. Static versus dynamic loads as an influence on bone remodeling. *J Biomech* 12: 897-907, 1984.
63. Lloyd RS, Brewer C, Faigenbaum AD, Jeffreys I, Moody J, Myer GD, Oliver JL, Pierce K, and Stone MH. United Kingdom Strength and Conditioning Association

Youth Physical Development Model

- position statement on youth resistance training. *Prof Strength Cond J* In press.
64. Lloyd RS, Meyers RW, and Oliver JL. The natural development and trainability of plyometric ability during childhood. *Strength Cond J* 33: 23-32, 2011.
 65. Lloyd RS, Oliver JL, Hughes MG, and Williams CA. Effects of 4-weeks plyometric training on reactive strength index and leg stiffness in male youths. *J Strength Cond Res* 2012, in press. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318242d-2ec.
 66. Lloyd RS, Oliver JL, Meyers RW, Moody J, and Stone MH. Long-term athletic development and its application to youth weightlifting. *Strength Cond J* 2012, in press. DOI: 10.1519/SSC.0b013e31825ab4bb.
 67. Lubans DR, Morgan PJ, Cliff DP, Barnett LM, and Okely AD. Fundamental movement skills in children and adolescents. *Sports Med* 40: 1019-1035, 2010.
 68. Malina RM. Growth, maturation and development: Applications to young athletes and in particular to divers. In: *USA Diving Coach Development Reference Manual*. Malina RM and Gabriel JL, eds. Indianapolis, IN: USA Diving, 2007. pp. 3-29.
 69. Malina RM, Bouchard C, and Bar-Or O. *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2004. pp. 41-77.
 70. McGuigan MR, Tataschiere M, Newton RU, and Pettigrew S. Eight weeks of resistance training can significantly alter body composition in children who are overweight or obese. *J Strength Cond Res* 23: 80-85, 2009.
 71. Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Bailey DA, and Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc* 33: 689-694, 2002.
 72. Miyaguchi K and Demura S. Relationships between muscle power output using the stretch-shortening cycle eccentric maximum strength. *J Strength Cond Res* 22: 1735-1741, 2008.
 73. Murphy DF, Connolly DAJ, and Beynon BD. Risk factors for lower extremity injury: A review of the literature. *Br J Sports Med* 37: 13-29, 2003.
 74. Myer GD, Faigenbaum AD, Ford KR, Best TM, Bergeron MF, and Hewett TE. When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sport-related injuries and enhance health in youth. *Curr Sports Med Rep* 10: 157-166, 2011.
 75. Myer GD, Ford KR, Palum-Bo JP, and Hewett TE. Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *J Strength Cond Res* 19: 51-60, 2005.
 76. Myer GD, Ford KR, Paterno MV, Nick TG, and Hewett TE. The effects of generalized joint laxity on risk of anterior cruciate ligament injury in young female athletes. *Am J Sports Med* 36: 1073-1080, 2008.
 77. Myer GD, Quatman C, Khoury J, Wall E, and Hewett T. Youth vs. adult "weightlifting" injuries presenting to United States emergency rooms: Accidental vs. non-accidental injury mechanisms. *J Strength Cond Res* 23: 2054-2060, 2009.
 78. National Council on Youth Sports. NCYS report on trends and participation in organized youth sports (2008 Edition). Available at: <http://www.ncys.org/pdfs/2008/2008-ncys-market-research-report.pdf>. Accessed December 23, 2011.
 79. Negrete R and Brophy J. The relationship between isokinetic open and closed kinetic chain lower extremity strength and functional performance. *J Sports Rehab* 9: 46-61, 2000.
 80. Nelson ME, Fiatarone MA, Morganti CM, Trice I, Greenberg RA, and Evans WJ. Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. *J Am Med Assoc* 272: 1909-1914, 1994.
 81. Norris SR. Long-term athlete development Canada: Attempting system change and multi-agency cooperation. *Curr Sports Med Rep* 9: 379-382, 2010.
 82. Ntoumanis N and Biddle SJH. A review of motivational climate in physical activity. *J Sports Sci* 17: 643-665, 1999.
 83. Okely AD, Booth ML, and Patterson JW. Relationship of physical activity to fundamental movement skills among adolescents. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1899-1904, 2001.
 84. Okely AD, Booth ML, and Patterson JW. Relationship of cardiorespiratory endurance to fundamental movement skill proficiency among adolescents. *Pediatr Exerc Sci* 13: 380-391, 2001.
 85. Oliver JL and Lloyd RS. Long-term athlete development and trainability during childhood. *Prof Strength Cond J*. In press.
 86. Oliver JL, Lloyd RS, and Meyers RW. Training elite child athletes: Welfare and well-being. *Strength Cond J* 33: 73-79, 2011.
 87. Padua DA, Arnold BL, Perrin DH, Gansnedter BM, Carcia CR, and Granata KP. Fatigue, vertical leg stiffness, and stiffness control strategies in males and females. *J Athl Train* 41: 294-304, 2006.
 88. Philippaerts RM, Vaeyens R, Janssens M, Van Renterghem B, Matthys D, Craen R, Bourgois J, Vrijens J, Beunen GP, and Malina RM. The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J Sports Sci* 24: 221-230, 2006.
 89. Pierce KC, Brewer C, Ramsey MW, Byrd R, Sands WA, Stone ME, and Stone MH. Youth resistance training. *Prof Strength Cond J* 10: 9-23, 2008.
 90. Quatman CE, Ford KR, Myer GD, and Hewett TE. Maturation leads to gender differences in landing force and vertical jump performance: A longitudinal study. *Am J Sports Med* 34: 806-813, 2006.

91. Rabinowickz T. The differentiated maturation of the cerebral cortex. In: *Human Growth: A Comprehensive Treatise, Postnatal Growth: Neurobiology*. Falkner F and Tanner J, eds. Vol. 2. New York, NY: Plenum, 1986.
92. Reinboth M, Duda JL, and Ntoumanis N. Dimensions of coaching behavior, need satisfaction, and the psychological and physical welfare of young athletes. *Motiv Emot* 28: 297-313, 2004.
93. Rhea MR, Peterson MD, Lunt KT, and Ayllon FN. The effectiveness of resisted jump training on the VertiMax in high school athletes. *J Strength Cond Res* 22: 731-734, 2008.
94. Rowland TW. Aerobic response to endurance training in prepubescent children: A critical analysis. *Med Sci Sports Exerc* 17: 493-497, 1985.
95. Rumpf MC, Cronin JB, Oliver JL, and Hughes MG. Effect of different training methods on running sprint times in male youth. *Pediatr Exerc Sci* In press.
96. Ryan RM and Deci EL. Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and wellbeing. *Am Psychol* 55: 68-78, 2000.
97. Sands WA. Physiology. In: *Scientific Aspects of Women's Gymnastics*. Sands WA, Caine DJ, and Borms J, eds. Basel, Switzerland: Karger, 2002. pp. 128-161.
98. Santos E and Janeira MA. Effects of complex training on explosive strength in adolescent male basketball players. *J Strength Cond Res* 22: 903-909, 2008.
99. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res* 24: 2857-2872, 2010.
100. Sheppard JM and Young WB. Agility literature review: Classifications, training and testing. *J Sports Sci* 24: 919-932, 2006.
101. Smith DJ. A framework for understanding the training process leading to elite performance. *Sports Med* 33: 1103-1126, 2003.
102. Smith RE, Smoll FL, and Cumming SP. Motivational climate and changes in young athletes' achievement goal Orientations. *otiv Emot* 33: 173-183, 2009.
103. Stafford I. *Coaching for Long-Term Athlete Development: To Improve Participation and Performance in Sport*. Leeds, United Kingdom: Sports Coach UK, 2005.
104. Stodden DF, Goodway JD, Langendorfer SJ, Robertson MA, Rudisill ME, Garcia C, and Garcia LE. A developmental perspective on the role of motor skill competence in physical activity: An emergent relationship. *Quest* 60: 290-306, 2008.
105. Stone MH, Sanborn K, O'Bryant HS, Hartman M, Stone ME, Proulx C, Ward B, and Hruby J. Maximum strength-power-performance relationships in collegiate throwers. *J Strength Cond Res* 17: 739-745, 2003.
106. Stratton G, Jones M, Fox KR, Tolfrey K, Harris J, Maffulli N, Lee M, and Frsotick SP. BASES position statement on guidelines for resistance exercise in young people. *J Sports Sci* 22: 383-390, 2004.
107. Teeple JB, Lohman TG, Misner JE, Boileau RA, and Massey BH. Contribution of physical development and muscular strength to the motor performance capacity of 7 to 12 year old boys. *Br J Sports Med* 9: 122-129, 1975.
108. Theeboom M, De Knop P, and Weiss MR. Motivational climate, psychological responses, and motor skill development in children's sport: A field-based intervention study. *J Sport Exerc Psychol* 17: 294-311, 1995.
109. Vaeyens R, Lenoir M, Williams MA, and Philippaerts RM. Talent identification and development programmes in sport. *Sports Med* 38: 703-714, 2008.
110. Valovich-McLeod TC, Decoster LC, Loud KJ, Micheli L, Parker JT, Sandrey MA, and White C. National Athletic Trainers' Association position statement: Prevention of pediatric overuse injuries. *J Athl Train* 46: 206-220, 2011.
111. Viru A, Loko J, Harro M, Volver A, Laaneots L, and Viru M. Critical periods in the development of performance capacity during childhood and adolescence. *Eur J Phys Educ* 4: 75-119, 1999. Vuori I, Heinonen A, Sievanen H, Kannus P, Pasanen M, and Oja P. Effects of unilateral strength training and detraining on BMD and content in young women: A study of mechanical loading and deloading in human bones. *Calcif Tissue Int* 55: 59-67, 1994.
112. Wang CKJ and Biddle SJH. Understanding young people's motivation towards exercise. In: *Intrinsic Motivation and Self-Determination in Exercise and Sport*. Hagger MS and Chatzisarantis NLD, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 2007. pp. 193-208.
113. Weber G, Kartodiharjo W, and Klissouras V. Growth and physical training with reference to heredity. *J Appl Physiol* 40: 211-215, 1976.
114. Weyand PG, Sternlight DB, Bellizzi MJ, and Wright S. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol* 89: 1991-1999, 2000.
115. Whalen RT and Carter DR. Influence of physical activity on the regulation of bone density. *J Biomech* 21: 825-837, 1988.
116. Wisloff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, and Hoff J. Strong correlations of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med* 38: 285-288, 2004.
117. Witzke KA and Snow CM. Effects of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc* 32: 1051-1057, 2000.
118. Wong P, Chamari K, and Wisloff U. Effects of 12-week on-field combined strength and power training on physical performance among U-14 young soccer players. *J Strength Cond Res* 24: 644-652, 2010.
119. Young WB. Transfer of strength and power training to sports performance. *Int J Sports Physiol Perform* 1: 74-78, 2006.
120. Young WB, James R, and Montgomery I. Is muscle power related to running speed with changes of direction? *J Sports Med Phys Fitness* 43: 282-288, 2002.