

Article

Puede el Entrenamiento Físico mejorar la Potencia Aeróbica Máxima (VO₂ máx.) en los Niños: Una Revisión Meta-analítica

Can Exercise Training Improve Maximal Aerobic Power (VO₂max) In Children: A Meta-Analytic Review

Linda M Lemura¹, Serge P Von Dullivard², Richelle Carlonas¹ y Joseph Andreacci¹¹Division of Exercise Science, Bloomsburg University, Bloomsburg, PA.²Human Performance Laboratory, Department of Physical Education and Exercise Science, University of North Dakota, Grand Forks, ND.

RESUMEN

Este estudio fue conducido para examinar cuantitativamente los efectos del entrenamiento físico sobre la potencia aeróbica máxima (VO₂ máx.) en niños, usando la técnica meta análisis. Además, nosotros examinamos los efectos de los diseños experimentales, protocolos de entrenamiento, sexo, edad y procedimientos de evaluación sobre el VO₂ máx. de los niños. Las investigaciones usadas en el análisis fueron delimitadas a estudios que examinaron los efectos de varias formas de fuerza muscular y entrenamiento de resistencia en niños < 13 años, resultando en un total de 91 estudios. Sin embargo, ya que numerosos estudios no proporcionaron suficiente información o análisis estadísticos adecuados, la fuente final de investigaciones fue limitada a 20 estudios con 32 tamaños de efecto (ES), totalizando 562 sujetos, los estudios que utilizaron un grupo control generaron un tamaño de efecto pre-post entrenamiento medio de 1.1 ± 0.1 , comparado a un ES medio de 0.33 ± 0.2 de aquellos estudios en que los sujetos sirvieron como sus propios controles ($p < 0.0009$). Los estudios que fueron transversales (XS) reportaron típicamente un VO₂ máx. más alto en el grupo entrenado ($ES = 1.7 \pm 0.3$) comparado con los diseños pre-post evaluación ($ES = 0.63 \pm 0.6$). Los análisis de las características de los sujetos indicaron que los niños en el rango de edad de 8 a 10 años ($ES = 0.47 \pm 0.4$) fueron entrenables, sin embargo en una extensión mucho menor que los niños de 11 a 12 años ($ES = 1.1 \pm 0.7$, $p < 0.02$). El ES medio para niños y niñas fue de 1.0 ± 0.6 y 0.64 ± 0.9 , respectivamente. Un análisis de las investigaciones que utilizaron estímulos de entrenamiento de intensidad suficiente, vs. estímulos de entrenamiento inadecuados, resultó en mejoras significativas en el VO₂ máx después del entrenamiento ($ES = 0.33 \pm 0.2$ vs. $ES = 1.2 \pm 0.5$, $p < 0.0004$). Los niños mejoraron su VO₂ máx en un promedio de 6.0 % (47.1 ± 4.3 versus 50.1 ± 4.6) luego del entrenamiento. Los resultados de esta revisión cuantitativa indican que los niños son realmente entrenables, pero los cambios en el VO₂ máx. son modestos y son significativamente impactados por el diseño experimental de la investigación, la edad de los niños, y la naturaleza del estímulo de entrenamiento.

Palabras Clave: meta-análisis, pediátrico, resistencia cardiorrespiratoria

ABSTRACT

This study was conducted to quantitatively examine the effects of physical training on maximal aerobic power (VO₂max) in children using the meta-analytic technique. In addition, we examined the effects of experimental design, training protocol, gender, age, and testing procedures on the VO₂max of children. Past research used in the analyses were delimited to studies examining the effects of various forms of muscular strength and endurance training in children <13 years, resulting in a total of 91 studies. However, as numerous studies failed to provide sufficient information or adequate statistics, the final pool of research was confined to 20 studies with 32 effect sizes (ES), totaling 562 subjects. Studies which utilized a control group generated a mean pre-post training ES of 1.1 ± 0.1 , compared to a mean ES of 0.32 ± 0.2 from those in which subjects served as their own controls ($p < 0.0009$). Studies that were cross sectional (XS) typically reported a higher VO₂max in the trained group ($ES = 1.7 \pm 0.3$) compared to pre-to-post test designs ($ES = 0.63 \pm 0.6$). Analyses of the subjects characteristics indicated that children in the 8 to 10 year old ($ES = 0.47 \pm 0.4$) range were trainable; however not nearly to the same extent as their 11 to 13 year old counterparts ($ES = 1.1 \pm 0.7$, $p < 0.02$). The mean ES for girls and boys was 1.0 ± 0.6 and 0.64 ± 0.9 , respectively. An analysis of investigations which utilized a sufficiently intense training stimulus, vs. an inadequate training stimulus, resulted in significant improvements in VO₂max after training ($ES = 0.33 \pm 0.2$ vs. $ES = 1.2 \pm 0.5$, $p < 0.0004$). Children improved their VO₂max by an average of 6.0% (47.1 ± 4.3 versus 50.1 ± 4.6) after training. The results of this quantitative review indicate that children are indeed trainable, but the changes in VO₂max are modest and are significantly impacted by the experimental design of the investigation, the age of the children, and the nature of training stimulus.

Keywords: Meta-analysis, Pediatric, Cardiorespiratory Endurance

INTRODUCCIÓN

La manera en la cual el entrenamiento físico induce cambios fisiológicos, metabólicos, anatómicos y hemodinámicos en los adultos, ha sido minuciosamente investigada. Aunque los mecanismos por los cuales estas alteraciones son alcanzadas permanecen como foco de investigación y debate, es claro que el entrenamiento incrementa la función cardiovascular a través de cambios cuantificables en la potencia aeróbica máxima (VO₂ máx.). Durante el ejercicio máximo, el VO₂ máx. es aumentado por medio de incrementos significativos del gasto cardíaco (Q) y la diferencia arteriovenosa de oxígeno (a-v O₂ dif.). Estas respuestas están moduladas por numerosas variables, incluyendo una intensidad, frecuencia y duración de ejercicio suficientes.

Nuestro entendimiento actual acerca de cómo responde el sistema cardiovascular de un niño al entrenamiento físico continúa siendo un tema de gran interés de los investigadores, porque no está claro como responden los niños en comparación con los adultos, por ejemplo, es sabido que en los adultos, el Q se incrementa proporcionalmente a la demanda del consumo de oxígeno (VO₂) durante el ejercicio y que el incremento inicial en el Q es acompañado por incrementos en la frecuencia cardíaca (HR) y en el volumen sistólico (SV). Los niños, en comparación con los adultos, demostraron un Q absoluto más bajo a cargas de trabajo submáximas dadas, como resultado de un incremento en el SV, disminuido (1-3). El incremento en la HR al comienzo del ejercicio puede ser atribuido a la retractación de la actividad nerviosa parasimpática y a una actividad nerviosa simpática incrementada. Es también claro que el SV se incrementa hasta una intensidad de ejercicio que es equivalente al 50 a 60 % del VO₂ máx., luego de la cual comienza a hacer plateau, debido a que todos los incrementos subsecuentes en el Q son causados por incrementos continuos en la HR. Esta también es clara que con el incremento de la intensidad de ejercicio, la presión sanguínea media y sistólica, aumentan, mientras que la resistencia vascular sistémica puede disminuir y la presión sanguínea diastólica permanece esencialmente sin cambios. Aunque estas alteraciones arteriales también son controladas en niños, continúa intrigando a los investigadores, si los niños son capaces de mejorar su aptitud física de manera similar a los adultos, como es demostrado por mejoras cuantificables en el VO₂ máx.

El período crítico en la maduración física durante el cual el entrenamiento físico ejerce su mayor influencia sobre el VO₂ máx. permanece en especulación. Por ejemplo, estudios anteriores de Mirwald et al. (4) y Kobayashi et al. (5) encontraron que en estudios longitudinales de varones, el entrenamiento no alteró significativamente el VO₂ máx. antes de la edad de 12 años. Similarmente, Katon (6) explicó numerosos fenómenos fisiológicos como prerrequisitos integrantes de cualquier mejora en el VO₂ máx. en los niños. Su hipótesis disparadora sugirió que la maduración del sistema neuromuscular, el incremento en la concentración de varias hormonas y un incremento en el índice de tejido magro a graso, son todos precursores necesarios para cualquier adaptación metabólica significativa en los niños luego del entrenamiento. El tiempo

crítico en el cual ocurren estos eventos madurativos es inmediatamente antes del inicio de la pubertad. En consecuencia, cualquier entrenamiento físico que ocurra antes de este período crítico va a resultar en alteraciones en el VO_2 máx. mínimas e inexistentes. Dos revisiones subsecuentes proporcionadas por Borms (7) y Bar-Or (8) otorgaron apoyo adicional para la opinión acerca de que el ejercicio no aumenta significativamente la potencia aeróbica en los niños. En la primera revisión, fue destacado que los efectos positivos del entrenamiento sobre el VO_2 máx. no son consistentemente demostrados en los niños, mientras que la segunda revisión concluyó en que el VO_2 máx. sería minimamente o no sería en absoluto cambiado luego del entrenamiento. En conclusión, los dos revisores sugirieron que permanecía incierto si los niños prepúberes podrían o no demostrar ganancias considerables en la potencia aeróbica.

En contraste, otros estudios han reportado incrementos significativos en el VO_2 máx. como resultado directo de la participación en un programa de entrenamiento físico. Las investigaciones de Eiseman y Holding (9), Mayers y Gutin (10), Rowland (11), y Vaccaro y Maton (12) indicaron que la potencia aeróbica puede ser apreciablemente alterada luego del entrenamiento en niños, proporcionando un estímulo de entrenamiento suficiente para la intensidad, frecuencia y duración, existentes. Otras revisiones conducidas por Pate y Ward (13) y Sady (14) sugirieron que los niños pueden demostrar adaptaciones positivas al entrenamiento físico, sin embargo, las respuestas pueden ser cuantitativa y cualitativamente menores que en los adultos. Sady (14) concluyó en que no podía ser hecha una afirmación definitiva con respecto a los efectos cardiorrespiratorios del entrenamiento, ya que han sido conducidos pocos estudios de entrenamiento cuidadosamente controlados y bien definidos incluyendo a variables cardiorrespiratorias. Todos estos datos conflictivos dejan sin respuesta a la pregunta de si los niños pueden mejorar la potencia aeróbica. El asunto de la entrenabilidad aeróbica de los niños es altamente significativo, ya que un entendimiento del mismo y de como estas alteraciones fisiológicas y metabólicas ocurren, podría proveer una idea de los mecanismos del incremento de la aptitud física en todas las edades.

La resistencia mejora progresivamente durante toda la niñez y la adolescencia, más aún en los varones en comparación con las mujeres. Los estudios en sujetos adultos han demostrado que el VO_2 máx. y la reducción en los requerimientos de O_2 con cargas de trabajo submáximas, pueden predecir en forma precisa el estado de entrenamiento de la resistencia. Estas mediciones podrían también jugar roles importantes en el desarrollo de la capacidad de resistencia en la población pediátrica. La masa corporal ha sido extensivamente usada para la determinación de comparaciones intraindividuales de la capacidad aeróbica (15). Sin embargo, varios estudios pediátricos han reportado que el VO_2 máx. no está bien relacionado al estado de entrenamiento en resistencia en los niños en comparación con los adultos (16, 17). Además, el uso del ejercicio como modelo de rehabilitación en los niños con enfermedades cardíacas y pulmonares, sería significativamente aumentado si pudieran ser documentadas mejoras en la potencia aeróbica después del entrenamiento. Finalmente, un entendimiento de la naturaleza de las adaptaciones cardiovasculares al entrenamiento físico resultaría inevitablemente en el diseño de programas de ejercicio seguros y efectivos para guiar el entrenamiento de atletas jóvenes.

Aunque hasta la fecha hay considerables investigaciones acerca del tópico de entrenabilidad en los niños, el asunto permanece poco claro en gran parte, debido a los factores de confusión de la maduración de los niños y los diseños metodológicos empleados por las investigaciones individuales. Muchos estudios que han reportado incrementos significativos en el VO_2 máx. han sido transversales, de este modo, los efectos del crecimiento y el desarrollo pueden haber enmascarado la verdadera contribución del entrenamiento. Claramente los datos longitudinales son preferibles, con el objeto de identificar la contribución relativa de la maduración sobre el desarrollo de la potencia aeróbica. Sin embargo, aún los estudios longitudinales van a ser afectados por los métodos de entrenamiento (intensidad, frecuencia y duración) y por las evaluaciones (cicloergómetro vs. cintaergómetro) de los niños. Por otro lado, la presencia de sujetos controles va a tener obviamente un impacto tremendo sobre los resultados de la investigación. Finalmente, debido a la falta de estudios que examinen los efectos del entrenamiento en niñas, es poco claro si las respuestas aeróbicas máximas de las niñas difieren de aquellas de los niños. Así, esta revisión cuantitativa examinó, utilizando la técnica meta-analítica, los efectos del entrenamiento físico, los asuntos metodológicos y las características de los sujetos sobre el VO_2 máx. en niños.

MÉTODOS

Glass et al. (18) desarrollaron originalmente la técnica estadística de meta-análisis en 1977. Un meta-análisis sobre una investigación dada, está dirigido hacia la integración cuantitativa de los hallazgos de varios estudios. Cada estudio sirvió como la unidad de análisis, los hallazgos entre estudios son comparados por medio de la transformación de los resultados en una medida común llamada tamaño de efecto (ES). Aunque esta técnica de revisión provee un método cuantitativo de combinación de la magnitud de los ES a través de los estudios, ha tenido críticas. La crítica más severa la constituye el hecho de que con esta técnica estadística se produzca la combinación de hallazgos a partir de estudios que representen diferentes escalas de medición, metodologías y diseños experimentales. Sin embargo, la hipótesis de la mezcla de

manzanas y naranjas ha sido establecida por Hedges y Olkin (19), los cuales han revisado y desarrollado el trabajo original de Glass (12). Específicamente, las fórmulas estadísticas han proporcionado (estimadores ES imparciales) que si son usados apropiadamente, van a resultar en medias válidas y confiables para combinar los efectos a través de numerosos estudios.

En esta revisión, el meta-análisis estuvo focalizado sobre el problema específico de intentar dilucidar la pregunta de si el entrenamiento físico puede mejorar el VO_2 máx. en los niños. El debate actual en la literatura indica que el asunto continúa sin solución. De este modo, los propósitos de esta revisión cuantitativa fueron: 1. localizar estudios de entrenamiento físico que utilizaran niños como sujetos; 2. identificar los efectos de los estímulos de entrenamiento sobre la presencia y magnitud de los cambios en el VO_2 máx.; 3. determinar el efecto del diseño metodológico sobre la presencia y magnitud de los cambios en el VO_2 máx.; 4. identificar el impacto de las diferencias de sexo sobre el VO_2 máx.; 5. determinar el impacto de los métodos de evaluación sobre el VO_2 máx. y 6. proporcionar recomendaciones para estudios adicionales ya que la técnica meta-analítica destaca las variables no investigadas en la literatura científica, las cuales podrían ser apropiadas para futuras investigaciones.

Selección de los Estudios

Los estudios fueron localizados por medio de citas generadas por computadora y por la búsqueda en revistas científicas clave. Fueron conducidas, dos búsquedas online por computadora, en las bases de datos Medline y SPORT, para localizar investigaciones publicadas acerca del efecto del entrenamiento sobre el VO_2 máx. en niños. Una muestra de las palabras descriptas usadas para localizar estudios relevantes en revistas de investigación, conferencias y resúmenes de disertaciones incluyó: máxima captación de oxígeno, capacidad aeróbica, aptitud aeróbica, aptitud cardiorrespiratoria, niños, pubertad, crecimiento, desarrollo y entrenamiento. La mayoría de los estudios aplicables provinieron de áreas de fisiología del ejercicio pediátrico (o sea, Medicine and Science in Sports and Exercise, Pediatric Exercise Science, International Journal of Sports Medicine, Journal of Pediatrics). Aunque fueron encontrados 90 estudios que examinaron los efectos del entrenamiento para mejorar la potencia aeróbica en los niños, solo 20 estudios reunieron los criterios para la inclusión y contaron con los estadígrafos descriptivos necesarios para calcular los ES's.

Características de Codificación de los Estudios

Los estudios de esta revisión fueron codificados de acuerdo a las variables metodológicas de interés que se conoce influyen el VO_2 máx. en los niños. Estas características incluyen: la edad y el sexo de la niños, la intensidad, frecuencia y duración del entrenamiento físico, la presencia o ausencia de un grupo control, el diseño metodológico del estudio (diseño transversal (XS) vs. diseño pre-post test (PP)), y métodos de evaluación del VO_2 máx. (cicloergómetro (BE) vs. cintaergómetro (TM)).

Los criterios de inclusión finales fueron establecidos de la siguiente manera:

1. El propósito del estudio fue determinar los efectos del entrenamiento sobre el VO_2 máx. en los niños.
2. Los estudios debieron haber sido conducidos sobre sujetos normales y sanos (i.e., no asmáticos u obesos).
3. Las mediciones de VO_2 máx. deben haber sido reportadas en $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Es importante destacar que aunque los criterios de VO_2 máx. típicos no son siempre encontrados en los niños (o sea, no fue alcanzado un plateau, durante una evaluación progresiva e incremental), fueron considerados otros índices reportados por los investigadores para indicar el logro de un esfuerzo máximo. Estos índices incluyeron pico de VO_2 , pico de HR, a partir de la HR máxima estimada, y un índice de intercambio respiratorio (RER) > 1.1, ya que no quisimos eliminar estudios que no indicaron una nivelación de la captación de oxígeno (14).
4. Las mediciones del VO_2 máx. deben haber sido tomadas utilizando un ciclo o cintaergómetro con un circuito espirométrico abierto.
5. Deben haber sido incluidos los estadígrafos descriptivos apropiados (o sea, medias, desvíos estándar, y valores n). En algunos casos cuando la media principal del grupo experimental o control no fue proporcionada, los estadígrafos necesarios fueron calculados a partir de los datos individuales proporcionados por los investigadores. Así, cada esfuerzo fue hecho para incluir estudios relevantes siempre que fue posible.
6. Los estudios debían haber sido incluido grupos de sujetos por edad que fueran de 16 años o menos (Tabla 1). Los estudios fueron luego estratificados por grupos por edad para examinar el impacto de diferencia en la maduración.
7. La duración del estudio debía haber sido menor a un año.

Cálculo y Análisis del ES

El ES fue originalmente definido como la diferencia entre las medias del grupo experimental (ME) y el grupo control (MC), dividido por el desvío estándar del grupo control (SC). Así, la siguiente fórmula puede ser aplicada para el cálculo del ES:

$$ES = (ME - MC) / SC$$

Esta fórmula transforma los hallazgos de un estudio individual en una medida común que puede ser sometida a otros análisis estadísticos. Esto es, puede ser promediada a través de los estudios para determinar un efecto de tratamiento total, y las mismas pueden ser estratificadas de acuerdo a las características codificadas. En muchos de los estudios de entrenamiento, no fueron usados sujetos controles. En cambio, cada sujeto sirvió como su propio control. De este modo, para los propósitos de cálculo del ES, fueron usados los cambios pre-post entrenamiento en el VO₂ máx. como la medición dependiente para determinar el efecto total del ejercicio siempre que los controles desentrenados no fueran usados. El VO₂ máx. pre-entrenamiento fue sustraído del VO₂ máx. post-entrenamiento para mantener el signo algebraico del ES positivo. Así, un ES positivo indica una mejora en el VO₂ máx. al completar el entrenamiento físico. La diferencia entre las mediciones pre y post-entrenamiento para el VO₂ máx., en los estudios que no tenían grupo control, fue dividida por una varianza agrupada:

$$(VO_2 \text{ máx post entrenamiento- } VO_2 \text{ máx. pre-entrenamiento) / \text{varianza agrupada}$$

De acuerdo con Hedges (19) una estimación agrupada de la varianza proporciona una estimación más precisa de la varianza de la población. La varianza agrupada fue obtenida calculando la raíz cuadrada de la siguiente fórmula:

$$Sp = [s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)] / (n_1 + n_2 - 2)$$

Para la cual: Sp = desvíos estándar agrupados, s_1^2 = varianza del grupo experimental o grupo uno, s_2^2 = varianza del grupo experimental o grupo dos, n_1 = número de sujetos en el grupo uno, y n_2 = número de sujetos en el grupo dos.

Aquellos estudios que utilizaron un grupo control, estuvieron sujetos a la fórmula básica previamente descrita para el cálculo del ES. Además, todos los ES fueron corregidos para el sesgo del tamaño de la muestra. Luego de estratificar los estudios de acuerdo a las características de codificación de interés, los ES's de cada una de las categorías fueron combinados a través de los estudios y subsecuentemente analizados para obtener diferencias significativas. Un test t de Student fue usado para determinar la significancia de los efectos de las características de los estudios (prescripción de entrenamiento, diseño metodológico, protocolo de evaluación, sexo, etc.). La significancia estadística fue establecida en $p < 0.05$ para la determinación de diferencias significativas entre las variables codificadas.

RESULTADOS

Fueron encontradas 92 investigaciones que estudiaron los efectos del entrenamiento sobre la potencia aeróbica máxima en los niños. De aquellos, 20 reunieron los criterios para la inclusión en esta revisión cuantitativa y fueron sujetos a análisis. Los 20 estudios generaron 32 ES's basados en un total de 562 sujetos. Numerosos estudios fueron eliminados por un aporte inapropiado de las variables, o debido a que estuvieron ausentes los estadígrafos descriptivos esenciales para el cálculo del ES. Otras razones para la exclusión incluyeron una combinación de grupos por edades que hizo imposible discernir las influencias de maduración de los efectos del entrenamiento, algunas investigaciones no fueron verdaderamente estudios de entrenamiento, y algunas estaban en idiomas extranjeros y no pudieron ser traducidas. Cada intento fue hecho para considerar aquellos estudios que contaban con nuestros criterios de inclusión, incluyendo contactar a los autores individuales para obtener los estadígrafos necesarios para calcular los ES's. La Tabla 1 resume las características de codificación de los 20 estudios y provee los respectivos ES's. Algunas investigaciones produjeron más de un ES porque fueron reportados distintos grupos (i.e., diferencias por edad, o niños vs. niñas) separadamente. Las figuras 1-3 describen las diferencias en el cambio porcentual en el VO₂ medio (ml. kg⁻¹.min⁻¹) entre las pre y post evaluaciones para los grupos de niños y niñas, y niños y niñas combinados. La media de VO₂ máx. pre entrenamiento para todos los sujetos en esta revisión fue de 47.2 ± 4.3 , mientras que el VO₂ máx. post entrenamiento fue de 50.1 ± 4.6 . Estos datos reflejan la habilidad de los niños de demostrar alguna mejora en la potencia aeróbica luego del entrenamiento. El análisis de las características de codificación, sin embargo, demostró un impacto del diseño experimental. Diferencias de los sujetos (o sea., edad y sexo) y del programa de entrenamiento sobre las respuestas de estos estudios.

Un análisis de los estudios que utilizaron grupo control ($ES = 1.1 \pm 0.1$) versus aquellos en los cuales los sujetos sirvieron como sus propios controles ($ES = 0.32 \pm 0.2$) reveló una diferencia significativa en la respuesta de la potencia aeróbica máxima ($p < 0.0009$). Debido a que solo seis ES's fueron generados de aquellos estudios que utilizaron un diseño XS ($ES = 1.7 \pm 0.3$) en oposición a los 24 E's de aquellos estudios PP ($ES = 0.63 \pm 0.6$), fue posible realizar un análisis significativo. Las diferencias en las características de los sujetos indicaron que los niños en el rango de edad de 11 a 13 años (15-25) ($ES = 1.1 \pm 0.7$) versus aquellos en el rango de 8 a 10 años (26-33) ($ES = 0.47 \pm 0.4$) generaron datos de VO₂ máx. significativamente más altos ($p < 0.02$). Los análisis de los niños de menos de 7 y mayores de 13 años no fueron posibles.

debido a que solo fueron generados 2 ES en cada grupo. Cuando se estudio el impacto del sexo, una mayoría de estos estudios utilizó niños como sujetos. Un total de 23 ES's fueron generados a partir de los sujetos varones, mientras que solo 7 fueron a partir de las niñas. El ES medio para ambos grupos fue de 0.64 ± 0.6 , respectivamente y no reveló diferencias. El protocolo de evaluación para determinar el VO_2 máx. reveló que ni la cintaergómetro ($ES = 0.71 \pm 0.7$) ni el cicloergómetro ($ES = 0.94 \pm 0.7$) proporcionaron un impacto discernible sobre la respuesta de la potencia aeróbica máxima. Finalmente, las guías del American Collage of Sport Medicine fueron usadas para determinar la eficacia de la prescripción del ejercicio. La suficiencia del protocolo de entrenamiento fue medida contra la frecuencia estándar de 3 veces por semana, una duración mínima de 6 semanas, y una intensidad de ejercicio suficiente. En muchos casos, fue difícil de determinar la intensidad de ejercicio debido a que los investigadores individuales dieron solo detalles limitados en sus reportes. De este modo, fueron frecuentemente necesarias decisiones subjetivas. La prescripción de ejercicio precisa proporcionada por los autores está incluida en la Tabla 1. Para aquellos estudios que reportaron un protocolo de entrenamiento adecuado, el ES medio fue de 1.2 ± 0.5 , mientras que el ES medio de aquellos estudios con un protocolo de entrenamiento inadecuado fue de 0.33 ± 0.2 . Estos hallazgos fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.004$). Los resultados de estos análisis están resumidos en la Tabla 2.

Estudio	N, Sexo	Edad (años)	Entrenamiento	Protocolo de VO_2 máx	VO_2 Pre ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	VO_2 Post ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	Control	ES
Bar-Or & Zwiren, 1989 ²⁰	22 M 24 F	9-10	Carrera Intervalada 20-25 min, 2-4 x/Sem., 9 semanas	Cintaergómetro	(M) 50.2 ± 6.3 (F) 44.2 ± 4.6	49.4 ± 4.8 46.1 ± 4.2	Si	0.02 0.37
Bendict, Vaccaro, & Hatfield, 1985 ²¹	3 M 8 F	9-11	Salto, 1 hora 2 x/Sem, 5min, 3. x/Sem., 8 semanas	Cintaergómetro	42.4 ± 4.5	42.8 ± 4.3	No	0.02
Brown, Harrower, & Deeter, 1971 ²²	12 F	8-13	Carrera, 1-2 horas 4-5 x/Sem. 12 semanas.	Cintaergómetro	46.29 ± 8.4	53.6 ± 6.2	Si	1.80
Conn, et al., 1988 ²³	9 M 13 F	9.5-12.9	Natación, 3200 m 4x/Sem. >35 semanas.	Cintaergómetro	(M) 47.3 ± 6.7 (F) 40.3 ± 4.9	54.7 ± 7.9 48.5 ± 6.0	Si	1.10 1.67

Cumming, Goulding, & Baggle, 1969²⁴	44 M	6th grade	9-meses de educación física 2 x/6 días (1) 1 horas, 2 x/Sem. (2) no formal (3) 30-45 min	Cicloergómetro.	46.9 ± 3.3 47.6 ± 5.4 49.2 ± 6.0	47.1 ± 3.5 47.1 ± 4.6 49.8 ± 5.5	No	0.05 - 0.10 - 0.10
Docherty, Wegner, & Collis, 1987²⁵	23 M	11-13	Entrenamiento Intervalado de alta velocidad y baja resistencia, 3 x/Sem., 4 semanas	Cicloergómetro.	47.0 ± 5.0	54.7 ± 4.9	Si	1.9
Eisenman & Golding, 1974⁹	16 F	(G) 12-13 (W) 18-21	Carrera, 30 min 3 x/Sem. 14 semanas	Cintaergómetro	42.7 ± 6.1 38.1 ± 3.8	49.6 ± 3.7 44.8 ± 1.3	Si	2.79
Iklblom, 1969²⁶	6 M	11	Entrenamiento Intervalado, 45 min, 4-5 x/Sem., 6 o 26 meses.	Cintaergómetro	(6 meses) 53.9 ± 6.2 (26 meses) 55.9 ± 8.9	59.4 ± 6.3 57.5 ± 3.6	Si	2.0 0.97
Gilliam & Greedson, 1980²⁷	11 M	7-9	Entrenamiento Intervalado, 4 x/Sem., 12 semanas.	Cicloergómetro.	48.1 ± 3.3	47.9 ± 2.9	Si	0.0
Koch & Eriksson, 1973²⁸	9 M	11-13	Carrera Intervalada, 16 semanas.	Cicloergómetro.	41.7 ± 6.5	48.1 ± 5.0	No	1.10
Lussier & Buskirk, 1977²⁹	16 M & F	8-12	Carrera, 4 x/Sem. 12 semanas.	Cintaergómetro	45.6 ± 3.9	48.4 ± 2.3	Si	0.47

Massicotte & Macnab, 1974³⁰	27 M	11-13	Ciclismo, 12 min, 3 x/Sem. (T1) HR entre = 170-180 lat./min (T2) HR entre = 150-160 lat./min (T3) HR entre = 130-140 lat./min	Cicloergómetro.	44.2 ± 3.1 44.2 ± 3.1 44.2 ± 3.1	51.8 ± 6.0 48.0 ± 6.0 48.2 ± 3.6	Si	2.54 1.20 1.29
Mocellin & Wasmund, 1973³¹	14 M, 15 F 11 M, 13 F	8.8-10.3 7.6-9.4	1000 m carrera, 2 x/Sem., 800 m de carrera 1 x/Sem., 6 semanas.	Cicloergómetro.	(M) 54.2 ± 5.9 (F) 47.3 ± 7.9 (M) 51.8 ± 4.2 (F) 44.8 ± 5.4	55.9 ± 5.2 48.9 ± 7.1 52.9 ± 5.0 46.4 ± 8.2	No	0.30 0.21 0.24 0.14
Rowland & Boyajian, 1995³²	13 M 24 F	10.9-12.8	Actividad aeróbica 30 min, 3 x/Sem. 12 semanas.	Cintaergómetro	44.7 ± 5.8	47.6 ± 6.4	No	0.54
Stewart & Gutin, 1976³³	13 M	10-12	Entrenamiento Intervalado 40 min 4 x/Sem. 8 semanas.	Cintaergómetro	49.8 ± 6.1	49.5 ± 6.1	Si	0.1
Sundberg & Elovainio, 1982³⁴	34 M	12-16	Carrera 40-100 km/Sem., 8 semanas.	Cicloergómetro.	(12 años) 51.1 ± 6.2 (14 años) 56.0 ± 5.1 (16 años) 56.1 ± 5.2	59.3 ± 6.2 63.7 ± 4.8 66.4 ± 6.0	Si	1.32 1.51 1.98
Vaccaro & Clarke, 1978³⁵	3 M 12 F	9-11	Natación 2750-9150 m/Sem.	Cintaergómetro	47.3 ± 8.2	55.4 ± 6.9	Si	1.00
Yoshida, Ishiko, & Muroka, 1980³⁶	30 M 27 F	5	750-1500 m de carrera (a) 1 x/sem. (b) 5 x/sem. 14 meses	Cintaergómetro	43.5 ± 4.9 42.1 ± 5.2	41.6 ± 6.3 38.9 ± 4.3	Si	- 0.93 - 1.86
Yoshizawa, et al., 1990³⁷	12 M	5-6	915 m de carrera 6 x/sem. 6 meses.	Cintaergómetro	47.6 ± 1.3	50.4 ± 2.1	Si	0.24

Tabla 1. Características de codificación de los sujetos.

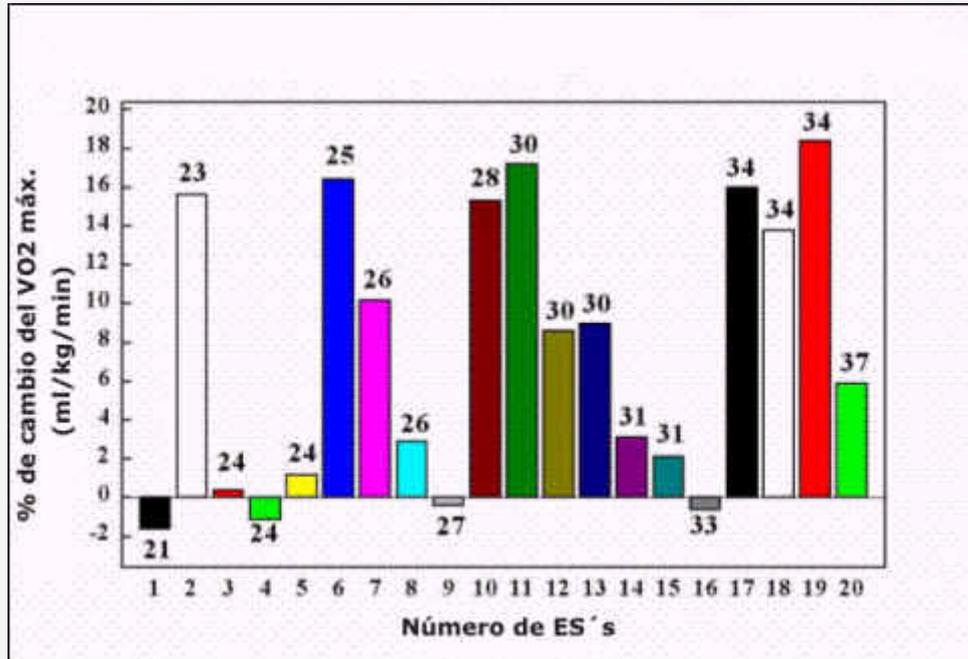


Figura 1. Cambios en % medios en el VO₂ máx. de todos los sujetos a través de los estudios. Los números arriba de los histogramas corresponden a las referencias en la matriz.

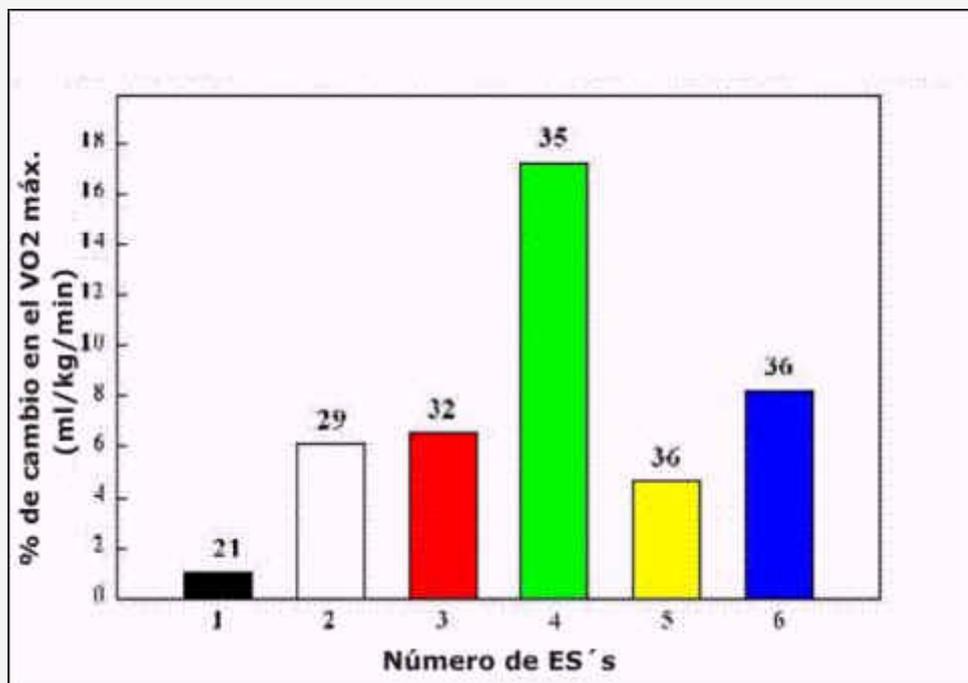


Figura 2. Cambios en % medios en el VO₂ máx. de todas las mujeres a través de los estudios. Los números arriba de los histogramas corresponden a las referencias en la matriz.

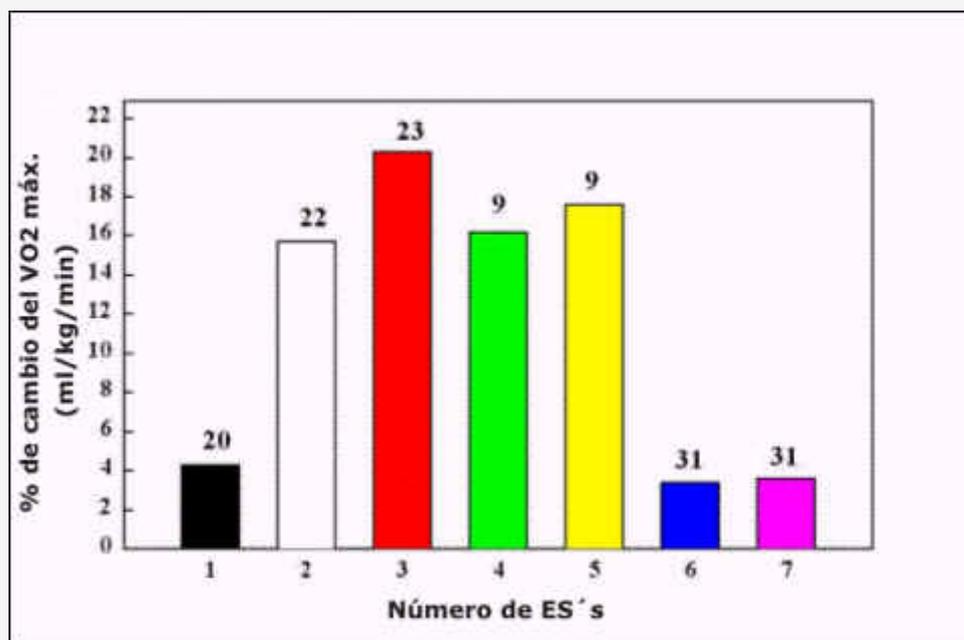


Figura 3. Cambios en % medios en el VO₂ máx. de todos los sujetos (M & F) a través de los estudios. Los números arriba de los histogramas corresponden a las referencias en la matriz.

Caract. de los Sujetos	N	Media±DS	Aspectos Metodol.	N	Media±DS	Métodos de Entr. y Protocolos de Evaluación	N	Media±DS
Edad (años)			Estudios con controles	20	1.1 ± 0.1	Estímulo de entrenamiento suficiente	15	1.2 ± 0.52
<7	2	-0.4 ± 0.8	Estudios sin controles	11	0.3±0.2 p<0.0009	Estímulo de entrenamiento insuficiente	13	0.3±0.2 p=0.004
>13	2	1.7 ± 0.3	Diseños Pre-post	24	0.6 ± 0.6	Evaluación en Cintaergómetro	13	0.8 ± 0.7
8-10	11	0.5 ± 0.4	Diseños transversales	6	1.7 ± 0.3	Evaluación en Cicloergómetro	18	0.9 ± 0.7
11-13	17	1.1±0.7 p<0.02						
Sexo								
Niños	23	0.6 ± 0.6						
Niñas	7	1.0 ± 0.6						

Tabla 2. Análisis de las Características de Codificación.

DISCUSIÓN

El propósito de este meta-análisis fue sintetizar las investigaciones dirigidas hacia el entrenamiento físico en niños y proveer una revisión cuantitativa del impacto específico del ejercicio sobre el VO_2 máx. La cuestión de si los niños pueden mejorar la potencia aeróbica a través del entrenamiento es poco clara, particularmente antes de la pubertad. Ha sido difícil discernir los efectos del entrenamiento por varias razones, incluyendo dificultades metodológicas. De este modo, nosotros intentamos dilucidar los efectos de los diseños de investigación sobre la magnitud de los ES's. En el primer análisis, determinamos que aquellos estudios que utilizaron controles desentrenados reportaron típicamente un incremento significativamente más alto en el VO_2 máx. después del entrenamiento en oposición a aquellos en los cuales los sujetos sirvieron como sus propios controles ($p < 0.0009$). Estos hallazgos apoyan la opinión de Rowland y Boyajian (32), quienes reconocieron la necesidad de utilizar grupo control cuando se estudia a niños, así como la conveniencia de diseños PP en vez de XS. Un análisis de las estadísticas descriptivas indicó que los diseños XS generaron claramente ES's más altos en oposición a aquellos estudios con diseños PP ($ES = 1.7$ vs. 0.63). Estos dos hallazgos demostraron la necesidad de tener en cuenta las flaquezas metodológicas con el objeto de minimizar o eliminar los efectos de confusión de variables como el crecimiento y la maduración, particularmente propios de los diseños XS. El impacto potencial de un diseño poco sólido, particularmente en estudios de niños prepúberes, le ha impedido seriamente a la habilidad del investigador atribuir los incrementos en el VO_2 máx. al protocolo de entrenamiento.

Un análisis de la edad de los sujetos reveló que los niños que estuvieron en el rango de 11 a 13 años mejoraron su potencia aeróbica en más de un desvío estándar ($ES = 1.1$), mientras que aquellos que estaban en el rango de edad de 8 a 10 años mejoraron en aproximadamente una mitad de desvío estándar después del entrenamiento ($ES = 0.47$). Este hallazgo significativo ($p < 0.02$) apoya a las investigaciones que establecieron que el entrenamiento es mucho menos efectivo durante la primera década de vida. El apoyo fisiológico de estos hallazgos se basa en la observación de que existe una falla del control hormonal en los niños (6). Es posible afirmar que todos los niños en los grupos de edades más jóvenes de 8 a 10 años, eran efectivamente prepúberes o que aquellos en el grupo de mayor edad (11 a 13 años) eran púberes, no obstante, la magnitud de las diferencias en los ES's medios, indicaron que había muy probablemente un incremento substancial en el VO_2 máx. en función de la edad. En su estudio acerca del desarrollo de la potencia aeróbica en atletas jóvenes, Baxter-Jones et al. (33) reportaron que cuando la edad, la talla y el peso fueron controlados, el VO_2 máx. se incrementó significativamente con el estado puberal. En otras palabras, el VO_2 máx. se incremento proporcionalmente a la masa corporal en ambos sexos. Nuestros datos apoyan estos hallazgos, debido a que las diferencias en el efecto de entrenamiento total, manifestado en el VO_2 máx., fue significativamente mayor en los grupos de mayor edad.

Fue imposible determinar, en nuestro estudio, cualquier diferencia significativa entre niños y niñas, en gran parte debido a la falta de estudios en los cuales las niñas fueran usadas como sujetos. Aunque solo siete ES's pertenecieron a un análisis de los efectos del entrenamiento en las niñas, la media fue 1.0. En contraste, 23 ES's fueron calculados a partir de los estudios de niños, resultando en un ES medio de 0.64. Estos datos indican que los niños y las niñas demostraron incrementos en la potencia aeróbica luego del entrenamiento, sin embargo, es claro que deberían ser dirigidas investigaciones adicionales hacia el impacto del entrenamiento en las niñas, para definir claramente los efectos del estado puberal. Mientras que es conocido que las niñas son por lejos menos activas que los niños antes de la pubertad por varias razones, como la influencia social, sería interesante estudiar el espectro de respuestas fisiológicas que podrían explicar las diferencias en el VO_2 máx. antes y después de la pubertad, con el entrenamiento. Aunque el ES medio sugiere que las niñas podrían ser más entrenables que los niños, no podemos descartar la posibilidad de niveles iniciales de aptitud bajos, como una explicación. Esta claro que el tópico de adaptaciones diferentes en los niños y las niñas requiere investigaciones adicionales.

Fue conducido un análisis separado sobre la calidad de la prescripción del ejercicio, para evaluar la suficiencia del efecto del entrenamiento sobre la potencia aeróbica máxima. Aquellos estudios que mantuvieron un protocolo de ejercicio que consistió de una frecuencia de entrenamiento mínima de 3 veces por semana, una duración de 6 meses y una intensidad que fue equivalente o mayor al 70 % de la HR máxima, fueron considerados suficientes en cuanto al estímulo de entrenamiento.

Todas las otras prescripciones de entrenamiento fueron consideradas insuficientes. El ES medio para aquellos estudios que utilizaron un estímulo de entrenamiento suficiente fue de 1.2 ± 0.5 y 0.33 ± 0.2 , para aquellos estudios con un estímulo insuficiente ($p < 0.004$). Este análisis indicó que el estímulo de entrenamiento, particularmente la intensidad del ejercicio, tubo un impacto significativamente alto sobre el VO_2 máx. en los niños, quizás en el mismo grado que en los adultos. Nosotros fuimos algo precavidos acerca de la interpretación de este hallazgo debido a la documentación inadecuada de la intensidad del entrenamiento en todos los estudios incluidos en esta revisión. Consecuentemente, es difícil afirmar con certeza la habilidad del protocolo de entrenamiento para causar alteraciones favorables sobre el VO_2 máx. Estos datos de ES son corroborados por los resultados de uno de los pocos estudios longitudinales, bien controlados acerca de los efectos

del entrenamiento en los niños. Rowland y Boyajian (32) estudiaron a 24 niños (de 10 a 13 años de edad) que participaron en un programa de entrenamiento aeróbico con una prescripción de ejercicio que contaba con nuestros criterios de un estímulo de entrenamiento suficiente (HR media de la actividad de 166 lat./min). Luego de 12 semanas de entrenamiento, los niños mejoraron su VO_2 máx. en un 6.5 % ($p < 0.05$). Los autores concluyeron que el entrenamiento puede mejorar el VO_2 máx. en los niños, sin embargo, su habilidad para manifestar grandes incrementos es algo limitada en comparación con los adultos. Ellos hipotetizaron que varios factores contribuyentes, pueden comprometer las respuestas del entrenamiento en los niños prepúberes, incluyendo a niveles iniciales de aptitud y actividad física más altos. En nuestra revisión el VO_2 máx. pre intervención para todos los niños fue de 47.1 ± 4.3 , el cual es considerado como relativamente alto para los grupos de edades que estudiamos. El VO_2 máx. post intervención fue de 50.1 ± 0.5 , que refleja un 6 % de incremento. De este modo, hay suficiente evidencia para sugerir que el entrenamiento puede incrementar la potencia aeróbica máxima en los niños, pero la magnitud de este incremento es probablemente más baja que la que puede razonablemente esperada en los adultos.

El último análisis que conducimos fue un estudio del protocolo de evaluación usado por los investigadores para medir el VO_2 máx. antes y después del entrenamiento. Fue un prerrequisito necesario que todas las evaluaciones fueran conducidas con un circuito espirométrico abierto. Ya que esta bien documentado que una evaluación en TM genera un VO_2 máx. que es en promedio 10 a 15 % mayor que aquellos conducidos en un cicloergómetro debido al incremento significativo en la cantidad de masa muscular implicada, nosotros quisimos determinar si estas diferencias serían reflejadas en la potencia aeróbica máxima de los niños. Interesantemente, el ES medio para las evaluaciones conducidas en TM fue de 0.75 ± 0.7 , mientras que el ES medio para las evaluaciones en el BE fue de 0.94 ± 0.7 . Nosotros especulamos que la familiarización con el movimiento del ciclismo pudo causar realmente que el BE fuera un modo preferencial de evaluación de la potencia aeróbica máxima. El TM, de otro modo, requiere en cierto modo un efecto de aprendizaje antes de que el sujeto este cómodo. La falta de familiaridad con el TM puede ser especialmente relevante en los niños. Son necesarios estudios adicionales para determinar si la familiaridad con el patrón de movimiento del cicloergómetro supera el impacto del uso de una mayor masa corporal durante la evaluación TM, particularmente en niños.

CONCLUSIÓN

Nuestra revisión cuantitativa apoya claramente la posición de que los niños son realmente entrenables, pero la magnitud de la respuesta de entrenamiento puede ser algo más baja que en los adultos. Parece que el estado puberal juega el rol más significativo en la determinación del efecto del entrenamiento sobre el VO_2 máx., pero no hay evidencias suficientes para determinar los efectos del estímulo de entrenamiento, particularmente debido a la falta de intensidades de ejercicio apropiadamente documentadas en las investigaciones pasadas. Además, son claramente preferibles los datos longitudinales, particularmente, en los estudios que examinen los efectos del entrenamiento como una función del estado puberal. La etapa crítica de la maduración donde el entrenamiento puede ejercer su mayor impacto permanece en especulación, así, hay una necesidad de investigaciones adicionales para dilucidar esta complicada cuestión. Esta respuesta es difícil de discernir, en gran parte debido a la inhabilidad de estudiar invasivamente los mecanismos adaptativos del entrenamiento, tales como, la contractibilidad miocárdica, el volumen plasmático, la actividad nerviosa simpática, la extracción periférica de oxígeno, y la concentración de enzimas aeróbicas tales como succinato dehidrogenasa (39). Permanece poco claro como están asociados los cambios en estas variables clave con el estado puberal.

Finalmente, como resultado de esta revisión integrativa, proporcionamos las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones, que pueden aumentar nuestro entendimiento de las adaptaciones al entrenamiento en los niños:

1. Diseñar estudios que controlen la maduración y el crecimiento para delinear claramente los efectos del entrenamiento como una función del estado puberal.
2. Considerar investigaciones que demuestren cualquier diferencia en el sexo para todas las edades.
3. Buscar la utilización de métodos no invasivos para dilucidar los mecanismos adaptativos implicados en el incremento del VO_2 máx. .
4. Determinar el impacto del estímulo de entrenamiento (particularmente al intensidad de entrenamiento) y los modos de entrenamiento más efectivos que podrían inducir adaptaciones favorables. En las investigaciones incluidas en esta revisión, la mayoría de los investigadores entrenó a los niños por medio de la carrera. Solo algunos usaron el ciclismo, y el entrenamiento intervalado, y menos aún utilizaron la natación. No hubo variabilidad suficiente en el modo de entrenamiento para conducir un análisis significativo.
5. Evaluar las actividades típicas sostenibles por los niños. Quizás estos datos apoyarían o refutarían la idea que los niños son menos entrenables porque son incapaces de adherirse a un programa de entrenamiento riguroso y

consistente.

Es probable que los resultados de tal investigación proporcionen respuestas que impactarían positivamente el estado de acondicionamiento de niños sanos y limitados físicamente (i.e., asmáticos), y proporcionen a los médicos e investigadores perspectivas razonables de las respuestas fisiológicas para ejercitar a los niños a través de sus años de adolescencia.

Dirección para Correspondencia: Serge P. von Duvillard, PhD, Director-Human Performance Laboratory, Department of Physical Education & Exercise Science, University of North Dakota, PO Box 9037, Grand Forks, ND 58202, (701) 777-4345 (office), (701) 777-3531 (Fax), E-mail: vonduvil@badlands.nodak.edu

REFERENCIAS

1. Godfrey, S (1974). Exercise testing in children. *London: W. B. Saunders*
2. Katasura, T (1986). Influence of age and sex on cardiac output during submaximal exercise. *Ann Physiol Anthropol; 5: 39-57*
3. Rowland, T.W., Staab, J., Unnithan, V., and Siconolfi, S (1988). Maximal cardiac responses in prepubertal and adult males. *Med Sci Sports Exerc; 20 (Suppl.), S32*
4. Mirwald, R., Bailey, D., Cameron, N. & Rasmussen, R (1981). Longitudinal comparison of aerobic power in active and inactive boys aged 7 to 17 years. *Ann Hum Biol; 8: 405-414*
5. Kobayashi, K., Kitokazu, K., Miura, M. & Sodeyama, H (1978). Aerobic power as related to growth and training in Japanese boys: a longitudinal study. *J Appl Physiol; 44: 666-672*
6. Katch, V.L (1983). Physical conditioning of children. *J Adol Health Care; 3: 241-246.*
7. Borms, J (1986). The child and exercise: An overview. *J Sports Sci; 4: 3-20*
8. Bar-Or, O (1989). Trainability of the prepubescent child. *Physician Sports Med; 17:65-81*
9. Eisenman, P.A. & Golding, L.A (1975). Comparison of effects of training on VO₂ max in girls and young women. *Med Sci Sports and Exerc; 7: 136-138*
10. Mayers, N. & Gutin, B (1979). Physiological characteristics of elite prepubertal cross-country runners. *Med Sci in Sports and Exerc; 11: 172-176*
11. Rowland, T.W (1985). Aerobic responses to endurance training in prepubescent children: A critical analysis. *Med Sci in Sports and Exerc; 17: 493-497*
12. Vaccaro, P. & Mahon, A (1987). Cardiorespiratory responses to endurance training in children. *Sports Med; 4: 352-363*
13. Pate, R. & Ward, D (1985). Endurance exercise trainability in children and youth. In B.J. Sharkey (Ed.), *Advances in Sports Med Fit; (Vol. 3., 37-55). Chicago: Yearbook Medical*
14. Sady, S (1986). Cardiorespiratory exercise training in sports medicine. *Clin Sports Med; 5: 493-514*
15. Krahenbuhl, G.S., Skinner, J.S., and Kohrt, W.M (1985). Developmental aspects of maximal aerobic power in children. *Exercise and Sports sciences reviews; 13; 503-538*
16. Cunningham, D.A., Paterson, D.H., and Blimkie, C.J.R (1984). The development of the cardiorespiratory system with growth and physical activity. In R.A. Boileau (Ed.), *Advances in Pediatric Sport Sciences; pp. 85-116. Human Kinetics, Champaign, IL*
17. Shephard, R.J (1982). Physical activity and growth. *Year Book Medical Publishers, Chicago, IL*
18. Glass, G.V (1977). Integrating findings: The meta-analysis of research. *Rev Research Edu; 5: 351-379*
19. Hedges, L.V. & Olkin, I (1985). Statistical Methods for Meta-Analysis. *New York: Academic Press.*
20. Bar-Or, O. & Zwiren, L (1973). Physiological effects of increased frequency of physical education classes and of endurance conditioning on 9 to 10 year old girls and boys. In O. Bar-Or (Ed.), *Pediatric Work Physiology: Proceedings of the Fourth International Symposium. 114-126*
21. Benedict, G., Vaccaro, P. & Hatfield, B (1985). 8 week precision jump rope program in children. *Am Correc Ther; 5: 108-111*
22. Brown, C., Harrowere, J. & Deeter, M (1972). The effects of cross-country running on pre-adolescent girls. *Med Science Sports Exerc; 4: 1-5*
23. Conn, C.A., Schemmel, R. Smith, B. Ryder, E. Heusner, W. & Ku, P (1988). Plasma and erythrocyte magnesium concentrations and correlations with maximum oxygen in nine to twelve year old competitive swimmers. *Magnesium; 7: 27-36*
24. Cumming, G. Goulding, D. & Baggley, G (1969). Failure of school physical education to improve cardiorespiratory fitness. *Can Med Assoc J; 101: 69-73*
25. Docherty, D. Wenger, H. & Collis, M (1987). The effects of resistance training on aerobic and anaerobic power of young boys. *Med Sci Sports Exerc; 19; 389-392*
26. Ekblom, B (1969). Effect of physical training in adolescent boys. *J Appl Physiol; 27: 350-355*
27. Gilliam, T. & Freedson, P (1980). Effects of a twelve-week school physical fitness program on peak VO₂, body composition, and blood lipids in 7 to 9 year old children. *Int J of Sports Med; 1: 73-78*
28. Koch, G. & Eriksson, B.O (1973). Effect of physical training on pulmonary ventilation and gas exchange during submaximal and maximal work in boys aged 11-13 years. *Scan J Clin Lab Invest; 31: 87-94*
29. Lustier, L. & Buskirk, E (1977). Effects of an endurance training regimen on assessment of work capacity of prepubertal children. *Annals of the New York Academy of Science; 30: 734-747*
30. Massicotte, D. & MacNab (1974). Cardiorespiratory adaptations to training at specified intensities in children. *Med Sci Sports Exerc; 6: 242-246*

31. Mocellin, R. & Wasmun, U (1973). Investigation of the influence of a running training programme on the cardiovascular and motor performance capacity of 53 boys and girls of a second and third primary class. In O. Bar-Or (Ed.), *Pediatric Work Physiology: Proceedings of the Fourth International Symposium*, 277-278
32. Rowland, T.W. & Boyajian, A (1995). Aerobic response to endurance exercise training in children. *Pediatrics*; 96: 654-658
33. Stewart, K. & Gutin, B (1976). Effects of training on cardiorespiratory fitness in children. *Res Quart*; 47: 110-120
34. Sunberg, S. & Elovainio, R (1982). Cardiorespiratory function in competitive endurance runners aged 12-16 years compared with ordinary boys. *Acta Paediatrica Scan*; 71: 987-992
35. Vaccaro, P. & Clarke, D.H (1978). Cardiorespiratory alterations in 9 to 11 year old children following a season of competitive swimming. *Med Sci Sports Exerc*; 10; 204-207
36. Yoshida, T., Ishiko, I. & Muraoka, I (1980). Effects of endurance training on cardiorespiratory function of 5 year old boys. *Int J Sports Med*; 1: 91-94
37. Yoshizawa, S.A., Honda, H. Urushibara, M. & Nakamura, N (1990). Effects of endurance run on the cardiorespiratory system in young children. *J Hum Ergology*; 19:41-52
38. Baxter-Jones, A., Goldstein, H., & Helms, P (1993). The development of aerobic power in young athletes. *J Appl Physiol*; 75: 1160-1167
39. Holloszy, J.O (1973). Biochemical adaptations to exercise: aerobic metabolism. *Exerc Sport Sci Rev*; 1: 45-71

Cita Original

Linda M. Lemura, Serge P. Von Dullivard, Richelle Carlonas, and Joseph Andreacci. Can exercise training improve maximal aerobic power (VO₂max) in children: A meta-analytic review. *JEPonline*; Vol. 2 No. 3, 2 (3): 1-22, 1999