



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

<https://ws072.juntadeandalucia.es/ojs>



Revisión

Entrenamiento de la capacidad aerobia en prepúberes. Revisión sistemática.



L. A. Flores, L. G. De León, B. P. Jiménez-Ponce.

Facultad de Ciencias de la Cultura Física. Universidad Autónoma de Chihuahua. México.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO: Recibido el 25 de abril de 2018, Aceptado el 3 de julio de 2018, Online el 4 de febrero de 2019

RESUMEN

El incremento de la capacidad aerobia en prepúberes beneficia a la salud y favorece la iniciación deportiva. Sin embargo, existe controversia sobre si tales mejoras y en qué medida pueden ser inducidas por un entrenamiento físico en prepúberes. El objetivo fue realizar una revisión sistemática para identificar los cambios en la capacidad aerobia por efecto del entrenamiento en prepúberes. Se revisaron seis bases de datos electrónicas, acorde al cumplimiento de la declaración PRISMA. Solo 11 artículos cumplieron con los criterios establecidos para su inclusión. Se encontró mejoría de la capacidad aerobia en el 73 % de los estudios; y solo en tres estudios no se observaron cambios debido a detalles metodológicos. Sin embargo, es necesario unificar los programas de entrenamiento, así como el diseño de los estudios para establecer con contundencia el entrenamiento de la capacidad aerobia en prepúberes.

Palabras clave: Consumo de oxígeno, Prepúberes, Entrenamiento, Maduración.

Trainability of aerobic capacity in prepubescent: Systematic review

ABSTRACT

Increase of aerobic capacity in children and adolescents is associated with greater health benefits and promotes the sport initiation. However, it has not been determined whether these changes could be attributed to the physical training or are really induced by the natural maturation process in prepubertal children. The aim of this study was to do a systematic review to identify the changes in aerobic capacity by a physical training program in prepubescent. A systematic review in six electronic databases was performed, according to the accomplishment of the PRISMA declaration. Only 11 articles were selected. Increases in aerobic capacity were found in 73 % of the included articles in the present review; and only in three studies changes were not seen due to methodological issues. However, it is necessary to unify training protocols, as well as studies design to establish the aerobic capacity training in prepubescent.

Key words: Oxygen uptake, Prepubescent, Training, Maturation.

Treinamento da capacidade aeróbica em pré-púberes: revisão sistemática

RESUMO

A melhora da capacidade aeróbica em pré-púbere beneficia a saúde e favorece a iniciação esportiva. No entanto, existe controversia sobre essa possível melhoria e em que medida podem ser induzidas pelo treinamento físico em pré-púberes. O objetivo foi realizar uma revisão sistemática para identificar as mudanças na capacidade aeróbica por conta do efeito do treinamento físico em pré-púberes. Foram revisadas seis bases de dados eletrônicas, de acordo com o cumprimento da declaração PRISMA. Somente 11 artigos preencheram os critérios estabelecidos de inclusão. A melhora da capacidade aeróbica foi encontrada em 73% dos estudos; e somente em três estudos não foram observadas alterações devido aos detalhes metodológicos. No entanto, é necessário unificar os programas de treinamento, bem como o desenho dos estudos para estabelecer o treinamento da capacidade aeróbica em pré-púberes.

Palavras-chave: Consumo de oxigênio, Pré-púberes, Treinamento, Amadurecimento.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: gdeleon@uach.mx (L. G. De León).

<https://doi.org/10.33155/j.ramd.2018.07.001>

Consejería de Educación y Deporte de la Junta de Andalucía. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Introducción

El entrenamiento de la capacidad aerobia (CA) en prepúberes ha sido un tema de controversia e interés desde hace décadas debido a que el proceso de maduración y crecimiento en estas edades no ha propiciado los cambios morfológicos y fisiológicos necesarios para que se presenten las adaptaciones en el organismo por el ejercicio físico^{1,2}.

La CA se refiere a la habilidad de liberar oxígeno a los músculos para generar energía y mantener la actividad muscular durante el ejercicio³; depende de la capacidad ventilatoria, de su transporte en la hemoglobina hacia las células en actividad y de la producción de energía en las mitocondrias⁴. Durante el crecimiento y maduración, la CA en los niños se ve modificada, incrementándose paulatinamente⁴.

El parámetro más utilizado para medir la CA es el consumo máximo de oxígeno (VO₂máx) que se determina por la curva final o meseta del VO₂ conocido como "plateau", al término de una prueba de esfuerzo máximo; sin embargo, el plateau no se observa frecuentemente durante la infancia, ya que no se llega a él⁵. Por esa cuestión, se ha reconocido al pico máximo de VO₂ (VO₂pico) como un referente de la CA, definido como la tasa más alta a la cual el oxígeno puede ser consumido durante el trabajo físico máximo^{4,5}. Aunque existen algunas diferencias, muchos estudios utilizan ambos términos para referirse al máximo consumo de oxígeno por ejercicio, por lo que en esta revisión se considerarán de igual manera.

La medición directa del VO₂máx o VO₂pico se realiza por medio de un analizador de gases durante una prueba de esfuerzo máxima progresiva, considerada como el método criterio³. Su expresión en términos absolutos es en litros por minuto (l/min); sin embargo, ya que el pico o máximo está en función de la magnitud de la masa corporal, convencionalmente se expresa como relativo al peso, en ml/kg/min⁹. Se ha demostrado que en niños y niñas con obesidad el VO₂máx absoluto suele ser elevado, pero ajustado a la masa corporal, resulta menor que en niños con normopeso⁵.

El VO₂máx está determinado por el factor genético hasta en un 50%; es siempre mayor en hombres que en mujeres debido a las diferencias de masa muscular que predomina en ellos, lo que facilita la utilización de oxígeno durante el ejercicio⁶, favorece el retorno venoso e impulsa un mayor volumen de eyección cardiaca³.

Estudios longitudinales han encontrado que la CA incrementa progresivamente por efecto del crecimiento y maduración hasta un 51% en niños debido al aumento de la masa magra y del ventrículo izquierdo que ocurre entre los 8 y 16 años; y en un 26% en niñas por el aumento de la masa magra y la estatura desde los 8 a los 13 años de edad⁷; posteriormente se mantiene estable y se puede alcanzar un VO₂máx de 52 ml/kg/min en ellos y de 40 ml/kg/min en ellas⁶. Sin embargo, desde hace años ha persistido la controversia acerca de si el incremento de la CA puede ser o no, efecto del entrenamiento en edades tempranas, principalmente en prepúberes^{1,2}.

La etapa prepuberal se identifica frecuentemente utilizando el método propuesto por Tanner et al.⁸, que indica el grado de maduración sexual, donde el niño/niña es clasificado en el estadio 1. En este estadio aún no se encuentran presentes los caracteres sexuales secundarios, ni el dimorfismo sexual, ni desde luego, los cambios físicos y fisiológicos asociados a la secreción de hormonas gonadales; pero el crecimiento somático, aunque lento, es constante⁹.

Por otra parte, Katch en 1983¹, planteó que los cambios en la función cardiovascular inducidos por el ejercicio en prepúberes son mínimos o nulos debido a que en estas edades falta el control hormonal que influye en el desarrollo y subsecuentemente en las adaptaciones orgánicas. Además, estos niños presentan menor eficiencia mecánica de movimiento al momento de realizar trabajo

físico, lo que genera mayor demanda metabólica por un aumento de la actividad de los músculos agonistas¹⁰.

Algunos otros factores fisiológicos que pueden impedir esos cambios en la CA por efecto del entrenamiento en prepúberes, son la falta de maduración de la función vascular que limita la diferencia arteriovenosa de oxígeno, siendo hasta 2ml menor en niños de 8-12 años comparado con jóvenes o adultos; así como el menor volumen de eyección cardiaca y de volumen plasmático en los niños².

En contraparte, la literatura también ha reportado que el entrenamiento físico específico en niños de 9 y 10 años incrementa el diámetro de la pared inferior del ventrículo izquierdo y consecuentemente el volumen de eyección¹¹. Estos cambios en las dimensiones morfológicas del miocardio guardan una asociación positiva con los niveles de VO₂pico en ambos géneros¹². Las adaptaciones del sistema cardiovascular y de la musculatura periférica por el entrenamiento de acuerdo con esos autores, tienen correspondencia con el menor tiempo en que tarda el oxígeno en solventar las demandas del ejercicio (cinética del VO₂) en niños y adolescentes entrenados que en aquellos no entrenados¹³.

Los niños y niñas que practican alguna actividad deportiva presentan valores de VO₂ mayores que aquellos que no realizan entrenamiento sistemático⁵. Así mismo, otros autores han encontrado mayores niveles de VO₂pico en prepúberes practicantes de natación, fútbol, voleibol y balonmano, en comparación con niños no deportistas¹⁴.

Por lo tanto, el objetivo de la presente revisión sistemática fue identificar los cambios en el VO₂máx ó VO₂pico por efecto del entrenamiento físico estructurado para incrementar la capacidad aerobia (CA) en prepúberes.

Método

La presente revisión sistemática fue realizada acorde a las directrices establecidas en la declaración PRISMA¹⁵, utilizada principalmente para la estructuración de revisiones sistemáticas basadas en estudios con intervención.

Los descriptores y/o palabras clave que se utilizaron como estrategia de búsqueda se especificaron en español e inglés y fueron 1) consumo de oxígeno/oxigen uptake, 2) capacidad aerobia/aerobic capacity, 3) aptitud física/fitness, 4) entrenamiento/training, 5) niños/children, 6) prepúberes/prepubescent, 7) maduración/maturation, 8) velocidad pico de estatura/peak height velocity, 9) Tanner/Tanner y 10) edad ósea/skeletal age. Se generaron 12 combinaciones por cada idioma utilizando únicamente el operador booleano "AND".

La búsqueda se realizó en octubre del 2017, tomando en cuenta artículos desde Enero de 1975 a Octubre de 2017. Se utilizaron las bases de datos de Pub Med, DOAJ, Scopus, Scielo, Springer, Web de la ciencia y Google Académico. Las palabras clave se buscaron en todos los campos (all fields) excepto en Scopus donde se realizó búsqueda avanzada en el título, resumen y palabras clave debido a la gran cantidad de documentos en dicha base de datos. En Google Académico se investigó solamente en los primeros 100 resultados, respecto a la relevancia y coincidencia, desde el más reciente al más antiguo estudio publicado.

Selección de estudios

Se identificaron los artículos potenciales a través de su título y resumen, eliminando los documentos duplicados; posteriormente se examinaron con base en el cumplimiento de los siguientes criterios de selección:

- artículos en inglés y en español;
- artículos originales;
- documentos completos;
- diseños longitudinales con una medición basal y una post intervención;

e) que los niños y niñas de la muestra estuvieran clasificados como prepúberes; esto es, sin la presencia de características de maduración sexual;

f) que la evaluación del grado de maduración sexual hubiera sido por profesionales capacitados en el método desarrollado por Tanner (1962), identificando claramente el estadio 1 indicador de prepubertad;

g) que los prepúberes no presentaran enfermedad cardiovascular, respiratoria u osteo-mio-articular;

h) que los prepúberes no presentaran discapacidad motriz, intelectual y/o sensorial;

i) que la intervención fuera con ejercicio físico sistematizado y estructurado de tipo aerobio o de resistencia, en un grupo experimental comparado contra un grupo control;

j) que los grupos experimental y control estuvieran pareados por el grado de maduración sexual;

k) que ambos grupos (experimental y control) no tuvieran diferencias basales en los valores de VO_2 máx/ VO_2 pico y composición corporal;

l) que se realizara la medición directa del VO_2 por espirometría con un analizador de gases (carro metabólico), considerada como el método criterio.

La búsqueda de los documentos potenciales la realizó el investigador principal, mientras que la identificación y selección de los artículos se hizo por dos investigadores de acuerdo a los criterios establecidos para la selección de los mismos; cuando existió ambigüedad sobre el cumplimiento de los criterios planteados, se discutió en conjunto entre todos los investigadores para tomar la decisión de su inclusión o no.

Finalmente se utilizó la escala PEDro¹⁶ como una referencia para observar el cumplimiento de los aspectos procedimentales de ensayos aleatorizados con un tratamiento o intervención, pero no para influir en los criterios de inclusión y exclusión de los documentos (Tabla 1). *Extracción de los datos*

En cada artículo seleccionado se identificaron idioma, autores, año, revista, objetivo, cantidad y características de la población, diseño, criterios de inclusión, instrumentación y metodología para medir las variables, tipo y características del programa de intervención en actividad física, análisis estadístico utilizado, resultados principales, resultados secundarios, conclusiones y puntuación en la escala de calidad PEDro¹⁶. Además, se examinaron los valores promedio de VO_2 máx y VO_2 pico, relativos al peso corporal y su desviación estándar tanto en el grupo experimental como en el grupo control, así como los porcentajes de cambio después de la intervención con ejercicio físico, en cada uno de los documentos seleccionados.

Resultados

Resultados de búsqueda

La cantidad de artículos encontrados en las bases de datos consultadas y las diferentes combinaciones de descriptores/palabras clave se muestran en la Figura 1. Se revisaron un total de 7538 títulos de los cuales se identificaron 318 artículos potenciales. Se eliminaron 69 documentos duplicados, lo que representó un 22% de duplicidad en las bases de datos utilizadas. Finalmente se seleccionaron 11 artículos a los que se asignó un número de identificación desde A1 hasta A11¹⁷⁻²⁷, en función de su relevancia y cumplimiento de criterios. Los resultados del procedimiento de identificación y selección de los artículos se muestran en la Figura 2.

Las características de los estudios que integran la muestra se especifican en la Tabla 2. De los artículos seleccionados, dos se publicaron antes del 2000 (A1¹⁷, A4²⁰), otros 8 entre el 2000 y 2010 (A2¹⁸, A3¹⁹, A5-A8²¹⁻²⁴, A10²⁶, A11²⁷) y uno entre el 2011 y 2017 (A9²⁵). A pesar de la gran cantidad de títulos revisados, no se encontraron documentos más recientes que cumplieran con los criterios propuestos.

Al aplicar la escala PEDro, la mayor calificación alcanzada fue 8 de 11 puntos totales por un artículo (A9²⁵), tres documentos consiguieron 7 puntos (A2¹⁸, A6²² y A10²⁶), otros 5 artículos solo alcanzaron 6 puntos de 11 totales, (A1¹⁷, A5²¹, A7²³, A8²⁴ y A11²⁷) y dos apenas cumplieron con 5 puntos (A3¹⁹ y A4²⁰).

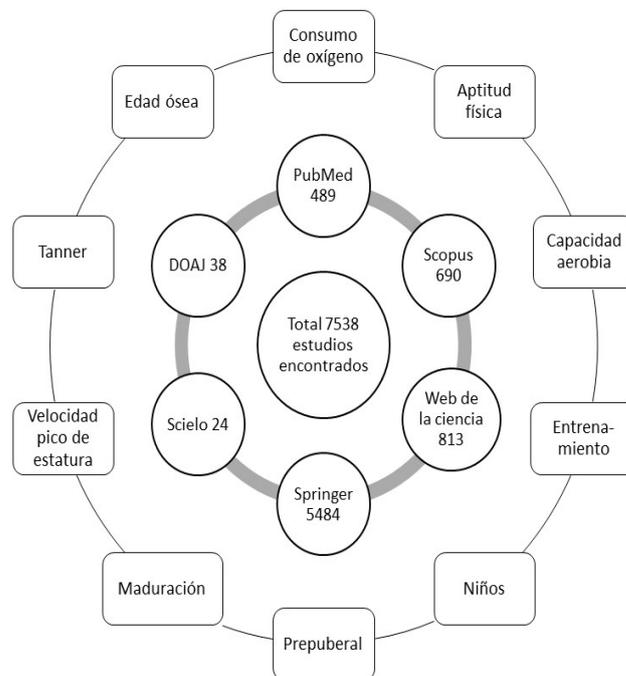


Figura 1. Esquema del proceso de búsqueda en las bases de datos consultadas. La búsqueda se realizó con diferentes combinaciones posibles de los descriptores, que fueron utilizados en inglés y español: Consumo de oxígeno/Oxygen uptake. Capacidad aerobia/Aerobic Capacity. Aptitud física/Fitness. Entrenamiento/Training. Niños/Children. Prepúberes/prepubescent. Maduración/Maturation. Velocidad pico de estatura/Peak height velocity. Tanner/Tanner. Edad ósea/Skeletal age. Fuente: elaboración propia del autor.

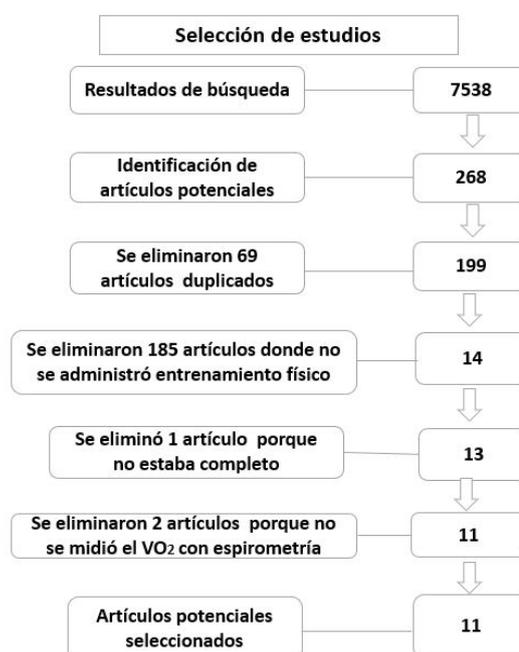


Figura 2. Esquema de selección de artículos. Fuente: elaboración propia del autor.

Tabla 1. Calidad metodológica de los estudios evaluada por la escala PEDro

ID	Autor	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6	Ítem 7	Ítem 8	Ítem 9	Ítem 10	Ítem 11	Total PEDro
A1	Obert et al., (1996). ¹⁷	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
A2	Nourry et al., (2005). ¹⁸	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	7
A3	Baquet et al., (2002). ¹⁹	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	5
A4	Lussier et al., (1977). ²⁰	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	5
A5	Baquet et al., (2010). ²¹	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
A6	Gamelin y et al., (2009). ²²	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	7
A7	Mandigout et al., (2001). ²³	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
A8	Mandigout et al., (2002). ²⁴	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
A9	Cunha et al., (2014). ²⁵	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	8
A10	George et al., (2005). ²⁶	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	7
A11	William et al., (2000). ²⁷	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6

Ítem 1: Criterios de inclusión, Ítem 2: Aleatoriedad en grupos control y experimental, Ítem 3: Asignación oculta, Ítem 4: Homogeneidad de grupos control y experimental, Ítem 5: Ciego en sujetos, Ítem 6: Ciego en administradores de intervención, Ítem 7: Ciego en evaluadores, Ítem 8: Más del 85% de los sujetos evaluados, Ítem 9: Resultados reportados, Ítem 10: Comparación entre grupos, Ítem 11: Medidas de variabilidad reportada.

Tabla 2. Características de los programas de entrenamiento de los diferentes estudios analizados

ID	Autor	Maduración de población	Tipo de programa	Duración del programa	Frecuencia	Tipo de ejercicios	Tiempo	Intensidad
A1	Obert et al., (1996). ¹⁷	Prepúberes deportistas de natación femenino	Continuo	10 meses	5 ses/sem.	Ejercicios de natación: aprender técnica de nado. Nadar	120-180 min/sem	Vigorosa (170-180 lat/min)
A2	Nourry et al., (2005). ¹⁸	Prepúberes activos femenino y masculino	Intermitente	8 semanas	2 ses/sem.	Sprints de 10 a 20 s	30 min/sem	100% de la velocidad aerobia máxima
A3	Baquet et al., (2002). ¹⁹	Prepúberes activos femenino y masculino	Intermitente	7 semanas	2 ses/sem	Ejercicios cortos de 10 a 20s	30 min/sem.	Correr al máximo
A4	Lussier et al., (1977). ²⁰	Prepúberes activos femenino y masculino	Continuo	12 semanas	4 ses/sem	Correr actividades recreativas	10-45 min/sem.	80% VO ₂ máx
A5	Baquet et al., (2010). ²¹	Prepúberes activos femenino y masculino	GE1: Continuo	7 semanas	3 ses/sem.	Correr en set de 6 a 20 minutos	18-39 min/sem.	80 - 85% de velocidad aerobia máxima
			GE2: Intermitente	7 semanas	3 ses/sem.	Sprints de 10, 15, 20 o 30 segundos	18-39 min/sem.	100 - 190 % de velocidad aerobia máxima
A6	Gamelin y et al., (2009). ²²	Prepúberes activos femenino y masculino	Intermitente	7 semanas	3 ses/sem	Spints de 10 a 30 segundos	30 min/sem.	100 - 190 % de velocidad aerobia máxima
A7	Mandigout et al., (2001). ²³	Prepúberes activos femenino y masculino	Continuo intermitente	13 semanas	3 ses/sem.	Correr continuamente 15-20 min, nadar, jugar fútbol y basquetbol; además de ejercicios intermitentes como correr de 100 a 600 metros en periodos de 4 a 10 repeticiones.	60-90 min/sem.	75 - 90 % FC máx
A8	Mandigout et al., (2002). ²⁴	Prepúberes activos femenino y masculino	Continuo intermitente	GE1: 13 semanas	3 ses/sem.	Una sesión de carrera continua de 15-35 min, una sesión de ejercicios intermitentes como correr de 100 a 600 metros en periodos de 4 a 10 repeticiones, y una sesión de actividades aerobias como nadar, jugar fútbol o basquetbol.	60 min/sem	80 - 90 % FC máx
			Continuo intermitente	GE2: 13 semanas	2 ses/sem.	Una sesión de carrera continua de 15-20 min, una sesión de ejercicios intermitentes como correr de 100 a 600 metros en periodos de 4 a 10 repeticiones.	60 min/sem	80 - 90 % FC máx
A9	Cunha et al., (2014). ²⁵	Prepúberes activos masculino	Resistencia muscular	12 semanas	3 ses/sem.	3 set de 6 a 15 repeticiones de flexiones de codo, extensiones de rodilla, press de pecho, abducción y aducción de cadera, etc.	60 min/sem.	60 - 80 % de 1 repetición máxima
A10	George et al., (2005). ²⁶	Prepúberes activos femenino y masculino	Continuo	12 semanas	3 ses/sem	Cicloergómetro	30 min/sem.	80 % FC máx
A11	William et al., (2000). ²⁷	Prepúberes activos masculino	GE1: Intermitente	8 semanas	3ses/sem.	Sprints de 10 a 30 segundos	--	Correr al máximo
			GE2: Continuo	8 semanas	3ses/sem.	Cicloergómetro	20 min/sem.	80 - 85 % FC máx

ID: Número de identificación de artículo, Ses/sem: sesiones por semana, GE: Grupo Experimental, FC máx: Frecuencia cardíaca máxima. Fuente: elaboración propia del autor

En todos los artículos, la muestra fue considerada como prepúber, utilizando la clasificación de Tanner³⁰ realizada por pediatras o enfermeros cualificados en el método. La mayoría de los artículos reportó una población de escolares sanos y activos¹⁸⁻²⁷ y solo uno de ellos estudió niños en iniciación deportiva (A1¹⁷). El intervalo de edad de todas las muestras fue entre 8 y 12 años.

Respecto a la duración, tipo, frecuencia e intensidad de los programas de entrenamiento administrados en los 11 estudios seleccionados, se encontró que, en nueve de ellos se utilizó entrenamiento aerobio de tipo intermitente, continuo o ambos, dirigidos a prepúberes activos (A2-A8¹⁸⁻²⁴, A10²⁶ y A11²⁷); uno presentó un entrenamiento aerobio con enfoque a prepúberes en iniciación deportiva (A1¹⁷); y en otro se aplicó trabajo de resistencia muscular (A9²⁵).

Los programas de entrenamiento más utilizados fueron el continuo y el intermitente (diez estudios) y la duración común fue entre 7 y 13 semanas. El programa con la mayor duración lo reportó A1¹⁷ con 10 meses de intervención y ningún programa tuvo una duración menor a 7 semanas.

En solo un estudio se prescribió ejercicio de cinco sesiones por semana (A1¹⁷), con una duración mayor a 100 minutos por sesión; en otros dos se aplicó entrenamiento dos sesiones por semana con una duración de 30 minutos cada una (A2¹⁸, A3¹⁹); y en el resto de los documentos, las sesiones por semana fueron tres con una duración que varió entre los 20 y 90 minutos cada una.

Finalmente, la intensidad manejada en la mayoría de los programas fue de vigorosa a máxima, utilizando como parámetro de control la frecuencia cardíaca máxima y la velocidad aerobia máxima. Solo en un estudio se utilizó el VO₂máx para determinar y monitorear la intensidad de las sesiones (A4²⁰).

Análisis de los cambios en el VO₂ por efecto del ejercicio

En la Tabla 3 se muestran los valores medios y desviaciones estándar del VO₂máx/VO₂ pico de cada uno de los estudios, así como su porcentaje de cambio después de la intervención con ejercicio físico.

De los 11 estudios analizados, ocho artículos (73%) reportaron que el grupo experimental mejoró el valor del VO₂máx/VO₂pico

Tabla 3. Valores de Consumo máximo y/o pico de oxígeno en cada uno de los estudios seleccionados

ID	Grupo experimental								Grupo Control									
	n	Género	VO ₂ pico/máx relativo (ml/kg*min)						% de aumento	n	Género	VO ₂ pico/máx relativo (ml/kg*min)						
			Pre			Post						Pre			Post			
X	±	DS	X	±	DS	X	±	DS	X	±	DS	X	±	DS	% de aumento			
A1 Con ¹⁷	5	Niñas	26.2	±	4.0	33.8	±	5.0	28%	9	Niñas	24.7	±	3.1	24.9	±	4.1	NA
A2 Int ¹⁸	9	Ambos	37.4	±	7.3	43.2	±	7.6	15%	9	Ambos	36.8	±	7.8	36.6	±	7.5	NA
A3 Int ¹⁹	33	Ambos	43.9	±	6.2	47.5	±	7.2	8%	20	Ambos	46.2	±	8.5	45.3	±	7.2	NA
A4 Con ²⁰	16	Ambos	55.6	±	2.1	59.4	±	2.3	7%	10	Ambos	53.1	±	1.3	53.9	±	1.3	NA
A5 Con ²¹	22	Ambos	50.1	±	6.0	53.6	±	6.3	7%	19	Ambos	50.6	±	6.1	49.7	±	6.7	NA
A5 Int ²¹	22	Ambos	51.6	±	2.8	54.1	±	3.4	5%									
A6 Int ²²	22	Ambos	51.6	±	2.8	54.1	±	3.4	5%	16	Ambos	49.9	±	4.8	48.7	±	5.3	NA
A7 Con + Int ²³	18	Niños	47.2	±	7.9	49.2	±	7.1	4%	28	Niños	46.1	±	6.0	45.5	±	7.6	NA
	17	Niñas	38.6	±	4.4	41.9	±	4.6	8%	22	Niñas	39.6	±	5.3	39.5	±	5.8	NA
A8 Con + Int	18	Niños	46.9	±	7.9	49.3	±	7.1	5%	15	Niños	46.6	±	6.3	45.6	±	8.2	NA
E1 ²⁴	18	Niñas	38.2	±	4.4	41.5	±	4.6	7%									
A8 Con + Int	10	Niños	45.5	±	5.9	45.2	±	7.0	NA	13	Niñas	41.1	±	5.4	40.1	±	3.6	NA
E2 ²⁴	10	Niñas	40.1	±	5.2	40.6	±	6.8	NA									
A9 RM ²⁵	9	Niños	34.1	±	4.7	35.6	±	3.6	NA	9	Niños	34.9	±	1.6	33.6	±	3.6	NA
A10 Con ²⁶	25	Ambos	54.0	±	7.0	55.0	±	6.0	NA	34	Ambos	57.0	±	6.0	56.0	±	7.0	NA
A11 Con ²⁷	13	Niños	54.7	±	9.7	57.5	±	7.0	NA	14	Niños	56.4	±	8.2	56.7	±	8.1	NA
A11 Int ²⁷	12	Niños	54.8	±	5.1	53.9	±	7.8	NA									

ID= Número de identificación de artículo. X= media. DS= Desviación estándar. NA= No aumentó. Con= Entrenamiento continuo. Int= Entrenamiento intermitente. E1: Entrenamiento continuo e interválico 3 veces por semana. E2= Entrenamiento continuo e interválico 2 veces por semana. RM= programa de entrenamiento orientado a la resistencia muscular. Fuente: elaboración propia del autor.

relativo a la masa corporal¹⁷⁻²⁴, evidenciando que el incremento de la CA fue por efecto del entrenamiento físico y no del proceso de maduración; en tres estudios que representaron el 27% de los artículos, no hubo cambios en la CA atribuidos al entrenamiento (A9-A11²⁵⁻²⁷).

Los estudios A1 y A2 mostraron mayor incremento del VO₂pico^{17,18}, en un 28% y 15% respectivamente. Solo en el estudio A8²⁴ el VO₂máx no incrementó en ambos grupos (experimental y control) con el programa basado en dos sesiones por semana.

Los valores de VO₂máx/VO₂pico determinados después del entrenamiento en los prepúberes fueron: en los niños entre 45.5 ml/kg/min y 56.4 ml/kg/min (correspondientes a 1.6 l/min y 1.9 l/min respectivamente) y en las niñas entre 24.0 ml/kg/min y 41.1 ml/kg/min (equivalentes a 0.69 l/min y 1.45 l/min respectivamente).

Discusión

En la presente revisión sistemática se encontró que el 73% de los estudios reportó un aumento del VO₂máx o VO₂pico por efecto del entrenamiento aerobio en prepúberes.

La mayoría de los estudios en donde se observaron mejoras en la CA, presentan un tamaño de muestra pequeño. De acuerdo con las guías para identificar el nivel de evidencia científica de un estudio desarrolladas por el Instituto Nacional del Corazón, los Pulmones y la Sangre de Estados Unidos²⁸ (NHLBI por sus siglas en inglés), esto es una limitación.

Existen revisiones de tipo no sistemático que han abordado este tema y han encontrado resultados similares al presente trabajo. Baquet et al.²⁹, encontraron que el VO₂pico puede incrementar entre el 5% y el 6% debido al ejercicio físico en prepúberes y púberes, independientemente del género; y que cuando se consideran solamente estudios que han reportado el efecto del entrenamiento el incremento del VO₂pico oscila entre 8% y 10%. Esto coincide con el resto de trabajos analizados en esta revisión, donde las mejoras del VO₂máx o VO₂pico fueron comúnmente entre el 7% y el 8% en los estudios analizados.

En niñas y niños prepúberes, el mejoramiento de la CA en respuesta al entrenamiento aerobio solo representa la mitad de lo que se puede incrementar cuando la intervención ocurre después de la etapa puberal donde se reportan aumentos entre el 10% y el 20%⁴.

Solo en dos estudios de la presente revisión se encontraron incrementos por encima del 15% (A1¹⁷ y A2¹⁸); sin embargo, en ambos estudios el tamaño de muestra fue pequeño y el valor del VO₂máx / VO₂pico en la medición basal fue bajo. Si bien, el tamaño de muestra no es un impedimento para observar los cambios por el entrenamiento, si puede influir en el análisis estadístico para identificar la magnitud de cambios en el VO₂máx; no manifiesta representatividad y es un factor que resta evidencia científica acorde a los lineamientos del NHLBI²⁸.

Por otra parte, McNarry et al.³⁰, mencionan que en los niños existen respuestas fisiológicas al entrenamiento aerobio lo que permite mejorar la capacidad aerobia; y que la influencia del entrenamiento está en función del volumen de ejercicio físico y tipo de programa y no del grado de maduración.

Rodríguez-Ferreira, et al.¹⁴, reportaron que en prepúberes y púberes se obtiene una mejor capacidad aerobia cuando el entrenamiento físico es sistematizado en comparación con aquellos que realizan actividad física recreativa o incluso en contraste con adultos no entrenados¹⁰. En otro estudio llevado a cabo en prepúberes y púberes³¹, se observó que, al aplicar entrenamiento aerobio a una intensidad moderada-vigorosa, el VO₂máx incrementó. Sin embargo, este reporte deberá tomarse con cautela ya que el VO₂máx fue estimado y no medido directamente como se especificó en los criterios de inclusión de la presente revisión, por lo que no fue considerado.

Se ha reportado que el grado de intensidad del ejercicio administrado es un factor importante para la mejora de la CA en prepúberes³⁰. Para que se incremente la frecuencia cardíaca por un tiempo prolongado y sostenido y se estimule a un alto nivel la función del sistema aerobio², la actividad debe ser moderada-vigorosa. En la presente revisión sistemática, en el 73% de los estudios que presentaron mejoras en la CA, la intensidad más común fue mayor al 80% de la frecuencia cardíaca máxima medida, en sesiones de 30 a 60 minutos tres veces por semana

durante 8 a 12 semanas, utilizando programas de tipo continuo e interválico; aunque hubo variación en el diseño de los programas de entrenamiento.

Otros autores recomiendan que los programas de entrenamiento tengan una duración mínima de seis semanas con una frecuencia de tres a cuatro sesiones por semana, a una intensidad moderada-vigorosa para favorecer más el aumento de la CA en prepúberes³².

En niños que presentan obesidad, también se han encontrado mejoras de la CA por efecto del entrenamiento físico y se ha identificado que las ganancias de VO₂ ocurren en programas de entrenamiento con una duración mayor a 12 semanas, una acumulación de 3.000 o más minutos totales de ejercicio, en sesiones de 60 min o más, tres veces por semana³³.

Estas directrices coinciden con lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS)³⁴, donde se recomienda realizar diariamente un mínimo de 60 minutos de actividad física de intensidad moderada – vigorosa en niños y jóvenes de 5 a 17 años, para mejorar la función cardiorespiratoria.

Sin embargo, no solo la intensidad condiciona la efectividad de un programa de entrenamiento. Aspectos como el tipo de programa de ejercicio aplicado, la frecuencia y duración de las actividades, así como limitantes en el diseño experimental (tamaño de muestra y aleatorización), también son importantes.

En uno de los tres estudios de esta revisión donde no se reportaron incrementos en la CA después de la aplicación de un programa de entrenamiento (A9²⁵), se observó que el tipo de programa administrado tuvo una orientación para el desarrollo de la resistencia muscular. Ya ha sido ampliamente documentado que ese tipo de entrenamientos no generan las suficientes adaptaciones fisiológicas que puedan provocar un mayor aumento del VO₂ tal como los mismos autores del estudio lo señalan²⁵.

Por otra parte, en A10²⁶ y A11²⁷ la dosificación del ejercicio de tres sesiones por semana durante 20 y 30 minutos respectivamente, en cicloergómetro, a una intensidad del 80% de la frecuencia cardíaca máxima, no permitió observar cambios por la poca frecuencia y duración de las sesiones, de acuerdo con los autores. Sin embargo, la prescripción del ejercicio en estos estudios fue similar a otros trabajos de la presente revisión, donde sí hubo incrementos en la CA a pesar de haber administrado las sesiones con las mismas características.

Hay otros factores que también influyen en este tipo de investigaciones, como la adherencia al programa de entrenamiento, la motivación de los participantes durante la ejecución de las pruebas de evaluación o la familiarización con la prueba, así como la aplicación de las sesiones de entrenamiento³⁰, que pueden condicionar el éxito del programa para la mejora de la CA.

Finalmente, otro aspecto a considerar es el grado de maduración somática presente en los prepúberes de cada muestra de estudio, aunque a una velocidad más lenta y constante⁹. Se ha observado que el crecimiento somático es el que guarda una relación importante con el desarrollo de la masa del ventrículo izquierdo, principalmente en la infancia³⁵. En edades tempranas, Daniels et al.³⁶, encontraron que el género, la estatura y el área de superficie corporal guardan relación con el desarrollo de la masa del ventrículo izquierdo.

La maduración somática temprana en prepúberes parece inducir adaptaciones morfo-fisiológicas que permiten incrementar su CA por entrenamiento; sin embargo, es necesario realizar estudios al respecto ya que, para el presente trabajo, no se encontraron evidencias que lo sustenten, lo que constituyó una restricción para la revisión.

En conclusión, en la mayoría de los estudios de la presente revisión sistemática se reportaron incrementos en el VO₂máx/VO₂pico por efecto de un programa de entrenamiento físico, que los autores consideraron como un mejoramiento de la CA en prepúberes; sin embargo, el diseño de las investigaciones, principalmente el tamaño de muestra reducido y/o la no

aleatorización tanto en el muestreo como en la asignación al grupo experimental o control; así como la amplia variedad de protocolos de entrenamiento encontrados, no permiten establecer definitivamente el éxito del entrenamiento para incrementar la CA en estas edades.

Autoría. Todos los autores han contribuido intelectualmente en el desarrollo del trabajo, asumen la responsabilidad de los contenidos y, asimismo, están de acuerdo con la versión definitiva del artículo. **Financiación.** Los autores declaran no haber recibido financiación. **Conflicto de intereses.** Los autores declaran no tener conflicto de intereses. **Origen y revisión.** No se ha realizado por encargo, la revisión ha sido externa y por pares. **Responsabilidades éticas.** Protección de personas y animales: Los autores declaran que los procedimientos seguidos están conforme a las normas éticas de la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki. Confidencialidad: Los autores declaran que han seguido los protocolos establecidos por sus respectivos centros para acceder a los datos de las historias clínicas para poder realizar este tipo de publicación con el objeto de realizar una investigación/divulgación para la comunidad. Privacidad: Los autores declaran que no aparecen datos de los pacientes en este artículo.

Bibliografía

1. Katch VL. Physical conditioning of children. *J Adolesc Health Care.* 1983;3(4):241-6.
2. Rowland TW. Trainability of the cardiorespiratory system during childhood. *Can J Sport Sci.* 1992;17(4):259-63.
3. Armstrong N, McNarry M. Aerobic Fitness and Trainability in Healthy Youth: Gaps in our Knowledge. *Pediatr Exerc Sci.* 2016;28(2):171-7.
4. Anderson GS, Twist P. Trainability of children. *IDEA Fitness Journal.* 2005. Disponible en: <https://www.idealibrary.com/fitness-library/trainability-children-0> Fecha de Consulta: 04/02/2019.
5. Armstrong N. Aerobic fitness and physical activity in children. *Pediatr Exerc Sci.* 2013;25(4):548-60.
6. Goswami B, Roy AS, Dalui R, Bandyopadhyay A. Impact of pubertal growth on physical fitness. *Am J Sports Sci Med.* 2014;2(5A):34-9.
7. Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. Growth, maturation, and physical activity 3rd ed. Champaign, Estados Unidos de América. Human Kinetics. 2004.
8. Tanner JM. Growth at adolescence 2nd ed. Oxford, UK: Blackwell, 1962.
9. Hernández-Rodríguez M. Fisiología y valoración del crecimiento y la pubertad. *Pediatría Integral.* 2007;11(6):471-84. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/96631511/Fisiologia-Valoracion-Crecimiento-Pubertad>. Fecha de Consulta: 04/02/2019.
10. Ratel S, Blazevich AJ. Are Prepubertal Children Metabolically Comparable to Well-Trained Adult Endurance Athletes? *Sports Med.* 2017;47(8):1477-85.
11. Krstrup P, Hansen PR, Nielsen CM, Larsen MN, Randers MB, Manniche V, et al. Structural and functional cardiac adaptations to a 10-week school-based football intervention for 9-10-year-old children. *Scand J Med Sci Sports.* 2014;24(S1):4-9.
12. Dencker M, Wollmer P, Karlsson MK, Andersen LB, Thorsson O. Aerobic capacity related to cardiac size in young children. *J Sports Med Phys Fitness.* 2013;53(1):42-7.
13. Marwood S, Roche D, Rowland T, Garrard M, Unnithan VB. Faster pulmonary oxygen uptake kinetics in trained versus untrained male adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(1):127-34.
14. Rodrigues-Ferreira MA, Vences-Brito AM, Fernandes R, Mendes J, Romero F, Fernando C. Aerobic performance in young girls during a maximal laboratory treadmill test: differences between athletes and non-athletes. *Rev UIIPS.* 2015;3(3):78-88.
15. Urrútia G, Bonfill X. Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Med Clin (Barc).* 2010;135(11):507-11.
16. Sherrington C, Herbert RD, Maher CG, Moseley AM. PEDro. A database of randomized trials and systematic reviews in physiotherapy. *Man Ther.* 2000;5(4):223-6.
17. Obert P, Courteix D, Lecoq AM, Guenon P. Effect of long-term intense swimming training on the upper body peak oxygen uptake of prepubertal girls. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1996;73(1-2):136-43.

18. Nourry C, Deruelle F, Guinhouya C, Baquet G, Fabre C, Bart F, et al. High-intensity intermittent running training improves pulmonary function and alters exercise breathing pattern in children. *Eur J Appl Physiol.* 2005;94(4):415-23.
19. Baquet G, Berthoin S, Dupont G, Blondel N, Fabre C, Van Praagh E. Effects of high intensity intermittent training on peak VO₂ in prepubertal children. *Int J Sports Med.* 2002;23(6):439-44.
20. Lussier L, Buskirk ER. Effects of an endurance training regimen on assessment of work capacity in prepubertal children. *Ann NY Acad Sci.* 1977;301:734-47.
21. Baquet G, Gamelin FX, Mucci P, Thévenet D, Van Praagh E, Berthoin S. Continuous vs. interval aerobic training in 8- to 11-year-old children. *J Strength Cond Res.* 2010;24(5):1381-8.
22. Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L. Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol.* 2009;105(5):731-8.
23. Mandigout S, Lecoq AM, Courteix D, Guenon P, Obert P. Effect of gender in response to an aerobic training programme in prepubertal children. *Acta Paediatr.* 2001;90(1):9-15.
24. Mandigout S, Melin A, Lecoq AM, Courteix D, Obert P. Effect of two aerobic training regimens on the cardiorespiratory response of prepubertal boys and girls. *Acta Paediatr.* 2002;91(4):403-8.
25. Cunha GdosS, Sant'anna MM, Cadore EL, Oliveira NL, Santos CB, Pinto RS, et al. Physiological adaptations to resistance training in prepubertal boys. *Res Q Exerc Sport.* 2014;86(2):172-81.
26. George KP, Gates PE, Tolfrey K. The impact of aerobic training upon left ventricular morphology and function in pre-pubescent children. *Ergonomics.* 2005;48(11-14):1378-89.
27. Williams CA, Armstrong N, Powell J. Aerobic responses of prepubertal boys to two modes of training. *Br J Sports Med.* 2000;34(3):168-73.
28. National Heart, Lung, and Blood Institute. Clinical guidelines on the identification, evaluation, and treatment of overweight and obesity in adults: the evidence report. 1998. [En línea]. Disponible en: https://www.nhlbi.nih.gov/files/docs/guidelines/ob_gdlns.pdf. Fecha de consulta: 5 de julio de 2018.
29. Baquet G, van Praagh E, Berthoin S. Endurance training and aerobic fitness in young people. *Sports Med.* 2003;33(15):1127-43.
30. McNarry M, Jones A. The influence of training status on the aerobic and anaerobic responses to exercise in children: a review. *Eur J Sport Sci.* 2014;14(S1):S57-68.
31. Marta CC, Marinho DA, Izquierdo M, Marques MC. Differentiating maturational influence on training-induced strength and endurance adaptations in prepubescent children. *Am J Hum Biol.* 2014;26(4):469-75.
32. Braaksma P, Stuive I, Garst RME, Wesselink CF, van der Sluis CK, Dekker R, et al. Characteristics of physical activity interventions and effects on cardiorespiratory fitness in children aged 6-12years-A systematic review. *J Sci Med Sport.* 2018;21(3):296-306.
33. Saavedra JM, Escalante Y, Garcia-Hermoso A. Improvement of aerobic fitness in obese children: a meta-analysis. *Int J Pediatr Obes.* 2011;6(3-4):169-77.
34. OMS, Organización Mundial de la Salud. La actividad física en los jóvenes. 2016. [En línea] Disponible en: http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_young_people/es/ Fecha de consulta: 4 de febrero de 2019.
35. de Simone G, Devereux RB, Daniels SR, Koren MJ, Meyer RA, Laragh JH. Effect of growth on variability of left ventricular mass: assessment of allometric signals in adults and children and their capacity to predict cardiovascular risk. *J Am Coll Cardiol.* 1995;25(5):1056-62.
36. Daniels SR, Meyer RA, Liang YC, Bove KE. Echocardiographically determined left ventricular mass index in normal children, adolescents and young adults. *J Am Coll Cardiol.* 1988;12(3):703-8.