Revista de Educación Física, (Rev Edu Fís / J Physical Edu) 2015, 32(4)

Research

Efectos de un Programa de Entrenamiento Aeróbico de 13 semanas sobre la Potencia Máxima desarrollada durante una Evaluación de Fuerza-Velocidad en Niños y Niñas Prepúberes

Effect of a 13-Week Aerobic Training Programme on the Maximal Power Developed During a Force-Velocity Test In Prepubertal Boys and Girls

P. Obert[1], M. Mandihout[1], A. Vinet[1] y D. Courteix[1]

[1]*Laboratory of Muscular Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences, University of Orleans, France.*

RESUMEN

El presente estudio fue llevado a cabo con el objeto de evaluar el efecto de un programa de entrenamiento aeróbico sobre la potencia máxima desarrollada (Pmáx.) durante una evaluación de ejercicio de corta duración en niños prepúberes. 33 niños y niñas de 10-11 años de edad participaron de la investigación: 17 (GE) participaron dos veces por semana (1 h por sesión) de un programa de carreras de 13 semanas de duración y 16 (GC) conformaron el grupo control. La P máx. fue medida durante una evaluación de fuerza-velocidad conducida en un cicloergómetro frenado por fricción. También fueron obtenidas la fuerza (Fopt) y la velocidad (Vopt) a las cuales fue obtenida la Pmáx. La masa muscular de los miembros inferiores (LMM) fue evaluada por medio de absorciometría dual de rayos X. Luego del entrenamiento, la Pmáx. se incremento aún cuando fue tenido en cuenta el cambio de masa muscular debido al proceso de crecimiento (P máx. W: +23 %, W x kg^{-1} LMM: +18 %, $P < 0.001$). El incremento en la Fopt fue principalmente responsable de tal incremento, ya que no fue encontrada ninguna alteración en la Vopt después del entrenamiento. Así como para la Pmáx., la Fopt todavía fue mayor después del entrenamiento, cuando la LMM fue tenida en cuenta ($P < 0.01$). Además, no fueron encontrados cambios para el GC para todas las variables evaluadas durante la evaluación anaeróbica después del período del estudio. Solo fueron obtenidas diferencias entre los grupos experimental y control con respecto a la Pmáx. y Fopt después del entrenamiento. En conclusión este estudio destaca la efectividad de un programa de entrenamiento aeróbico para mejorar la potencia máxima durante un ejercicio de corta duración en niños prepúberes.

Palabras Clave: niños, entrenamiento aeróbico, potencia máxima, evaluación de fuerza-velocidad

ABSTRACT

The present study was undertaken in order to evaluate the effect of an aerobic training programme on the maximal power (Pmax) developed during a short-term exercise test in prepubertal children. Thirty-three 10-11 year old boys and girls were investigated: 17 (TG) participated twice a week (1 h per session) in a 13-week running programme and 16 (CG) served as a control group. Pmax was measured during a force-velocity test conducted on a friction-loaded cycle ergometer. The force (Fopt) and velocity (Vopt) at which Pmax was obtained were determined. Lower limb muscle mass (LMM) was evaluated by means of dual X-ray absorptiometry. Following training, Pmax increased even when muscle mass change due to the growth process was taken into account (Pmax W: + 23 %, W x kg(-1) LMM: + 18%, $p < 0.001$). The increase in Fopt was principally responsible for such an improvement since no alteration was noticed for Vopt after training. As for Pmax, Fopt was still greater following training when LMM was taken into account ($p < 0.01$). Furthermore, no changes were noticed for CG for all variables evaluated during the anaerobic test after the study period. Differences between TG and CG regarding Pmax and Fopt were obtained after training only. In conclusion this study highlights the effectiveness of an aerobic training programme to improve the maximal power during short-term exercise in prepubertal children.

Keywords: children, aerobic training, maximum power, speed strength assessment

INTRODUCCIÓN

Numerosos estudios han sido realizados en adultos acerca del efecto del ejercicio crónico sobre el metabolismo anaeróbico (4, 11, 13, 16, 17, 25-27, 29), pero mucha menos información esta disponible en niños (7, 12, 19, 23, 24). Como resultado de consideraciones éticas, la mayoría de los estudios pediátricos han estimado el rendimiento anaeróbico usando métodos no invasivos. Específicamente, la potencia máxima y/o media, medida durante evaluaciones “máximas” en cicloergómetro ha sido muy usada como índice de rendimiento anaeróbico (4, 30).

Los estudios que tratan los efectos del entrenamiento sobre evaluaciones anaeróbicas han proporcionado datos equívocos. La mayoría de los estudios han investigado el efecto de un programa sobre varias semanas, específicamente concentrándose sobre ejercicios de alta intensidad y corta duración, sobre la potencia pico en 5 s (Ppic) y/o la potencia media sobre 30 s (Pmedia) desarrollada durante el popular test anaeróbico de Wingate. Ha sido demostrado que la Ppic y la Pmedia se incrementan (11, 19) o no se modifican (30) después del entrenamiento en niños o niñas prepúberes. Muy pocos estudios han investigado sin embargo, el efecto de un programa aeróbico específico. Rotstein et al. (23) así como McManus et al. (19) reportaron incrementos significativos de la Ppic después de varias semanas de entrenamiento de resistencia, mientras que no fueron obtenidas modificaciones por Williams (30). Luego de un período de 8 semanas, que incluyo una mezcla equilibrada de entrenamiento de potencia de corta duración y resistencia, Sargeant et al. (24) fallaron en demostrar incrementos significativos en la potencia máxima desarrollada en un cicloergómetro isoquinético en niños. Los resultados son más concluyentes en los adultos y en general, los estudios que tratan el efecto de los programas de entrenamiento de alta intensidad y corta duración han reportado mejoras significativas de la potencia anaeróbica máxima (4, 16, 17, 25-27). Existen menos reportes concernientes al efecto del entrenamiento aeróbico sobre el rendimiento anaeróbico. Se ha demostrado que los programas aeróbicos que usan intensidades de ejercicio moderadas no tienen efecto sobre el rendimiento anaeróbico (13, 19), mientras que han sido reportadas mejoras significativas después de programas de entrenamiento aeróbicos intervalados de alta intensidad (11, 16).

Los factores musculares cualitativos, pero también los cuantitativos pueden contribuir a los incrementos de la potencia anaeróbica máxima después del entrenamiento (4, 20). Entre estos factores, la masa muscular de los miembros inferiores o del muslo es un gran determinante del rendimiento durante evaluaciones máximas en cicloergómetro (6, 20, 29). Sin embargo, particularmente en niños, muy pocos estudios (24) han investigado el efecto del entrenamiento sobre el rendimiento anaeróbico en relación a la masa muscular específicamente involucrada en el ejercicio. Además, cualquiera sea la edad, muy pocos estudios (1, 17) han examinado los factores mecánicos (i.e., velocidad o fuerza) asociados con los cambios de la potencia anaeróbica máxima después del entrenamiento. Para el mejor de nuestros conocimientos, no existen reportes en la literatura acerca de este tópico en niños. Consecuentemente, el propósito del presente estudio fue investigar el efecto de un programa de entrenamiento predominantemente aeróbico sobre la potencia máxima desarrollada durante una evaluación de fuerza-velocidad en niños prepúberes. Una atención especial fue dada a: 1). El efecto del entrenamiento sobre los factores mecánicos (i.e., fuerza y velocidad), los cuales determinan la potencia anaeróbica máxima y 2). Las alteraciones morfológicas y especialmente las alteraciones musculares asociadas con el entrenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sujetos

En el presente estudio estuvieron involucrados 33 niños de 10-11 años de edad, reclutados a partir de la misma escuela primaria. Todos los sujetos eran activos, pero no estaban específicamente entrenados. Los niños practicaban varias actividades fuera de la escuela (danza, gimnasia, judo, básquet, fútbol y navegación) de 1 a 3 h x semana^{-1}, dependiendo de los sujetos. Entre los 33 pupilos, 17 (9 niños, 8 niñas) de una clase, participaron en un programa de entrenamiento aeróbico de 13 semanas (GE) organizado entre Marzo y Junio de 1999. Otra clase de la escuela, compuesta por 16 sujetos (8 niños, 8 niñas) conformó el grupo control (GC) y fueron evaluados en el mismo período un año más tarde. Los grupos experimental y control provenían de la misma comunidad. Durante el período del estudio, los niños de ambos grupos, GC y GE participaron una vez a la semana (una sesión de 1 h) en diferentes juegos de equipo (principalmente fútbol) en la escuela. Esta sesión estaba de hecho incluida en el currículo de la escuela. Además, el GE participó en el programa de entrenamiento mientras que el GC fue instruido para simplemente continuar con las actividades normales. Los niños de los dos grupos participaron en la misma cantidad de actividades físicas fuera de la escuela (GC: 2.1 ±0.7 h x sem.$^{-1}$; GE: 2.1 ±0.7 h x sem.$^{-1}$; NS). La distribución de niños y niñas fue la misma en los dos grupos. El objetivo y el protocolo del estudio fueron descritos a los niños y a sus padres y fue obtenido un consentimiento por escrito en cada clase. El protocolo fue aprobado por el comité ético local. Las examinaciones médicas, así como los cuestionarios de salud fueron conducidos antes de los experimentos iniciales y todos los niños fueron encontrados saludables. La maduración sexual de los niños fue evaluada a partir de los estadios de Tanner (28).

Programa de Entrenamiento Aeróbico

Además de la sesión semanal de educación física en la escuela (una sesión basada en juegos aeróbicos), los niños del GE participaron en dos sesiones adicionales de actividad física por semana durante 13 semanas. La adherencia fue alta, debido a que estas sesiones fueron incluidas en su currículo durante ese período. Cada sesión duraba cerca de 1 h y era cuidadosamente supervisada por un profesor de educación física. El entrenamiento era predominante mente aeróbico y consistía de una sesión de carreras intervaladas (series de trabajo-recuperación repetidas sobre distancias cortas: 10 x 300 m, 12 x 250 m, 4 x 600 m) y una sesión de carrera continua de larga distancia (cerca de 15 a 20 min). Las intensidades de entrenamiento fueron definidas para que indujeran frecuencias cardiacas durante la carrera, mayores al 90 y 75-80 % de la frecuencia cardiaca máxima de cada niño (determinada antes del entrenamiento durante el test de ir y volver) para las carreras intervaladas y continuas, respectivamente. La frecuencia cardiaca máxima determinada durante el test de ir y volver (198 ±7 lat/min) fue similar a aquella obtenida durante una evaluación aeróbica máxima conducida dentro del laboratorio (18). Durante cada sesión, niños seleccionados al azar usaban un monitor de frecuencia cardiaca portátil (Sport-Tester PE4000) con el objeto de comprobar que el objetivo (i.e., intensidad de entrenamiento) fuera alcanzado. Durante una 1 h de entrenamiento, los niños pasaban 10 y 20 min en la zona objetivo para las carreras intervaladas y continuas, respectivamente, y para las dos sesiones de carrera, al menos 35 a 40 min arriba de 140 lat./min. La distancia cubierta durante la carrera continua así como la velocidad durante la carrera intervalada fueron gradualmente incrementadas durante todo el período del período de entrenamiento (18). Para mantener un alto grado de motivación e interés, así como para respetar las diferencias inter-individuales de aptitud aeróbica, el programa de entrenamiento de carreras fue organizado sobre la base de “competiciones y juegos” entre diferentes grupos de 4 a 6 sujetos con una velocidad aeróbica máxima similar.

Evaluaciones de Laboratorio

Para ambos grupos, todas las evaluaciones fueron realizadas antes y después del período del estudio en las mismas condiciones y usando los mismos materiales y metodología.

Variables Antropométricas

La talla y la masa corporal (MC) fueron medidas usando métodos convencionales. Además, la masa muscular de los miembros inferiores (MMI) y la masa muscular del muslo (MMM) fueron evaluadas por medio de absorciometría dual por rayos X en un Hologic QDR-1000/W (Hologic Inc, Waltham, MA, USA). Los compartimiento corporales (masas ósea, magra y adiposa) fueron derivados a partir de todo el cuerpo usando el software de “análisis aumentado de todo el cuerpo” proporcionado por el fabricante (versión 5.71). Esta técnica ha sido validada para proporcionar una evaluación exacta de la composición corporal (14). En los miembros inferiores, la masa magra puede ser considerada como masa muscular. Estudios anteriores de nuestro laboratorio (5) han demostrado que cuando esta técnica es usada, el coeficiente de variación de las mediciones de la masa corporal magra es menor al 2 %.

Evaluación Anaeróbica

Antes y después del período de entrenamiento, todos los sujetos realizaron una evaluación de fuerza-velocidad en un cicloergómetro frenado por fricción (Ergoméca, Etablissement Giordano, Toulon, France) adaptado para niños. Esta evaluación consistió en realizar piques máximos de corta duración contra diferentes fuerzas de frenado (Ffrict). Antes de cada evaluación, la altura del asiento y del manillar fue ajustada a la talla de cada sujeto y sus pies fueron sujetados a los pedales por medio de punteras. Cada evaluación fue precedida por un período de entrada en calor de 5 min, durante el cual se les pidió a los sujetos pedalear a 70 rpm contra una fuerza de frenado correspondiente a 25 g x kg^{-1} de peso corporal. Después de un período de descanso de 4 min, empezaba la evaluación. La posición de inicio estándar fue definida con la palanca izquierda del cicloergómetro en frente en un ángulo de 90º con respecto a la vertical y ante la señal "adelante" del evaluador, los sujetos eran alentados a pedalear lo más rápido posible durante al menos 7-8 s. Los niños tenían que permanecer sentados en el asiento del ergómetro durante la evaluación. Todos los sujetos realizaron en un orden al azar 2 piques en contra de la Ffric correspondiente a 30 y 60 g x kg^{-1} del peso corporal. Estas Ffric han sido clásicamente usadas en estudios anteriores (1, 10) y permitieron la determinación de la potencia máxima. Un período de descanso de 4 min separó cada pique. El sistema MEV5000 fue usado con el objeto de evaluar la potencia máxima así como las características de relación fuerza-velocidad y potencia-velocidad. Tal dispositivo permitió registrar la velocidad de rotación de manera muy precisa y especialmente tener en cuenta la inercia de la rueda. La descripción y validación de este sistema y los detalles de la metodología usada en este estudio han sido reportados en otros estudios (1, 10). Brevemente, la velocidad fue registrada usando un disco adherido en la rueda del cicloergómetro. Este disco presentaba 4 ranuras las cuales pasaban en frente de una célula fotoeléctrica. Dado que la corona y el piñon de la rueda del cicloergómetro consistían de 64 y 16 dientes, respectivamente, podían ser obtenidos 16 datos por revolución del pedal. Un capturador magnético fue colocado al nivel del pedal (pedal derecho en posición vertical) y detectado al inicio de cada revolución del pedal. La inercia de la rueda fue determinada antes de las evaluaciones usando el método recomendado por Lakomy (15), donde la inercia es calculada a partir de la deceleración libre de la rueda contra una Ffric dada. La fuerza de inercia (Finerc) fue calculada a partir de ese procedimiento y la potencia instantánea fue determinada de acuerdo a: Potencia = (Ffric + Finer) x velocidad. Fueron obtenidas varias combinaciones de fuerza, velocidad y potencia durante un pique, el cual permitió que sean determinadas las relaciones de fuerza-velocidad-potencia. La potencia instantánea fue promediada en cada período descendente del pedal (correspondiente a la parte de arriba y abajo del punto muerto en la rotación del pedal). En realidad, de acuerdo a Williams et al. (31), este procedimiento refleja el ciclo de contracción completa de los músculos involucrados durante la tarea motora. A partir de esto, fueron calculadas la potencia máxima (Pmáx.) así como la velocidad (Vopt) y fuerza (Fopt) correspondientes para cada pique. Al inicio y al final de este estudio, no fueron obtenidas diferencias y fueron obtenidas correlaciones altamente significativas (r =0.82-0.90) entre la Pmáx. desarrollada durante los piques de 30 y 60 g x kg^{-1}. Esto coincide con otros estudios, los cuales han usado el mismo protocolo que nosotros (1, 10) y demuestra que, cuando la inercia de la rueda es tenida en cuenta, la Pmáx, puede ser medida a partir de un único pique, ya sea con una resistencia alta o baja, a condición de que el sujeto realice un esfuerzo máximo. Como resultado, los datos (i.e., fuerzas y velocidades instantáneas) obtenidos durante cada pique fueron combinados. Esto permitió, a partir de la regresión establecida de fuerza-velocidad-potencia, determinar la Pmáx., Vopt y Fopt correspondientes, reportadas en el presente manuscrito.

Análisis Estadísticos

Los datos fueron expresados como medias ±DS. Para los parámetros bioenergéticos y biométricos, las comparaciones entre las pre- y post-evaluaciones así como entre los grupos experimental y control fueron analizadas por medio de un análisis de varianza a dos vías (1 dentro, 1 entre) con mediciones repetidas (ANOVA). Cuando eran observadas interacciones significativas, era usado un test post-hoc Scheffe. Además, fue llevado a cabo un análisis de co-varianza (ANCOVA) para la Pmáx. y Fopt usando la MMI como covariante. También fueron usados análisis de regresión lineal con el objeto de evaluar la relación entre 2 parámetros. La significancia estadística fue elegida a una $P<0.05$.

RESULTADOS

Variables Antropométricas

Para el tiempo de las post-evaluaciones, los niños de los GE y GC eran significativamente más altos y más pesados que para las sesiones pre-evaluación (Tabla 1). Similarmente, durante el período del estudio de 13 semanas, los niños de los dos grupos mostraron incrementos significativos en la MMI y MMM, lo cual fue, sin embargo, proporcional al incremento total en el tamaño del cuerpo. No hubo diferencias entre los dos grupos para todas las variables biométricas en las pre-evaluaciones, así como en las post-evaluaciones, excepto en la MMM, la cual fue ligeramente mayor en el GE.

Rendimiento Anaeróbico

Como se muestra en la Tabla 2, la Pmáx. (W) fue significativamente más alta al final del período de entrenamiento (+23%). Las diferencias de los valores pre-entrenamiento fueron menores, pero todavía significativas cuando se expresaban de acuerdo a la masa corporal (+18%), MMI (+18%) o MMM (+18%). Tal incremento fue principalmente explicado por mayores Fopt (+17%), ya que no fueron observadas diferencias a partir de los valores pre-entrenamiento para la Vopt (Tabla 2). También, el incremento significativo en la Fopt no pudo ser solamente explicado sobre la base de una mayor masa muscular después del período de entrenamiento de 13 semanas, ya que las diferencias eran todavía altamente significativas después de corregir para la MMI o MMM (Tabla 2). Además, fueron obtenidas diferencias significativas después del programa de entrenamiento aeróbico para la Pmáx. y Fopt, cuando se uso la MMI como una covariante (Pmáx.: pre-entrenamiento: 354 ±41, post-entrenamiento: 419 ±42 w; $P<0.001$; Fopt: pre-entrenamiento: 30.7 ±3.4, post-entrenamiento; 34.6 ±3.4 N, $P<0.001$). No fueron observados cambios entre las pre- y post-evaluaciones para el GC para todas estas variables. Finalmente, cualquiera sea el modo de expresión, la Pmáx, y Fopt fueron similares entre los 2 grupos en el pre-entrenamiento, pero fueron obtenidos valores significativamente más altos ($P<0.001$) para el GE al tiempo de las sesiones post-evaluación. Sin embargo no fueron obtenidas diferencias para la Vopt.

		GE	GC
Talla (cm)	T1 T2	140.8 ±5.5*** 143.0 ±5.7	140.7 ±6.5*** 142.8 ±7.1
Masa Corporal (kg)	T1 T2	35.9 ±5.5*** 37.3 ±6.1	34.0 ±5.5*** 35.3 ±5.7
MMM (kg)	T1 T2	3.7 ±0.5*** £ 3.9 ±0.5 £	3.3 ±0.6*** 3.5 ±0.6
MMI (kg)	T1 T2	5.1 ±0.6*** 5.3 ±0.7	4.9 ±0.7 5.1 ±0.8

Tabla 1. *Parámetros biométricos evaluados antes y después de 13 semanas en el grupo entrenado (GE) y grupo control (GC). Los valores son presentados como medias ±DS. MMI y MMM: masa muscular de los miembros inferiores y masa muscular del muslo correspondiente al promedio de las piernas izquierda y derecha. T1: pre-test; T2: post-test. ***: significativamente diferente con respecto a T2 a una P<0.001. □: significativamente diferente con respecto al GC a una P<0.05.*

		GE	CG
Pmáx. (W)	T1 T2	350 ±51*** 432 ±69 £	326 ±79 330 ±81
Pmáx. (W x kg⁻¹ de masa corporal)	T1 T2	10.0 ±1.8 *** 11.8± 1.7£	9.6 ±1.7 9.4 ±1.9
Pmáx. (W x kg⁻¹ de MMI)	T1 T2	67.6 ±8.3*** 80.1 ±7.4 £	65.6 ±8.2 64.5 ±10.4
Fopt (N)	T1 T2	30.2 ±4.2 *** 35.3 ±5.7 £	28.5 ±5.6 28.6 ±4.8
Fopt (N x kg⁻¹ de MMI)	T1 T2	5.8 ±0.5 ** 6.6 ±0.7 £	5.7 ±0.6 5.6 ±0.5
Vopt (rpm)	T1 T2	117 ±17 122 ±8	114 ±13 115 ±16

Tabla 2. *Rendimiento anaeróbico evaluado antes y después de las 13 semanas en el grupo entrenado (GE) y en el grupo control (GC). Los valores son presentados como medias ±DS. Pmáx.: potencia anaeróbica máxima (potencia promediada sobre cada período descendente del pedal), Fopt y Vopt: fuerza y velocidad a las cuales es obtenida la Pmáx., MC: masa corporal, MMI: masa muscular del miembro inferior, T1: pre-test; T2: post-evaluación. ** y ***: significativamente diferente con respecto a T2 a una P<0.01 y P<0.001, respectivamente; □: significativamente diferente con respecto al GC a una P<0.001.*

DISCUSIÓN

El mayor hallazgo del presente estudio fue demostrar que la potencia máxima durante el ejercicio "máximo" puede ser incrementada en niños prepúberes después de varias semanas de un programa de entrenamiento aeróbico. Tal incremento existía todavía aún después tener en cuenta los cambios biométricos y especialmente el incremento de la MMI y fue atribuido principalmente a un incremento óptimo de la fuerza.

Los estudios que trataron el efecto del entrenamiento aeróbico sobre la potencia máxima o pico en niños han proporcionado resultados conflictivos. Rotstein et al. (23) usando un programa de carreras aeróbicas de 9 semanas, reportó, como nosotros, un incremento significativo (+ 9.7 %) en la potencia pico durante el test de Wingate en niños de 10-11 años de edad. Similarmente, McManus et al. (19) demostraron un incremento significativo en la potencia pico en niñas prepúberes luego de 8 semanas, de ya sea un período de entrenamiento de resistencia sobre un cicloergómetro (+20 %) o un programa de carreras de sprint (+10 %). Usando la misma metodología y entrenamiento que McManus, Williams (30) fallo, sin embargo, en demostrar algún incremento significativo en la potencia pico en niños de 10 años de edad. En adultos, Levesque et al. reportaron (16) un incremento significativo en la potencia máxima desarrollada durante un test de 10 s después de 5 semanas de un programa predominantemente aeróbico (principalmente basado en 30 min de ciclismo continuo al 65-75% de la frecuencia cardiaca máxima de reserva, conducido 3 veces por semana). Resultados similares fueron obtenidos por Gaiga y Docherty (11), sobre la potencia pico de corta duración, después de un programa de entrenamiento aeróbico de 9 semanas. Sin embargo, otros estudios realizados en adultos, usando programas aeróbicos moderados, fallaron en demostrar cambios significativos en el rendimiento anaeróbico (13, 27).

Las razones por las que se alcanzaron grandes incrementos en la Pmáx. (+23%), después de un programa de entrenamiento predominantemente aeróbico en el presente trabajo son desconocidas. Para el mejor de nuestros conocimientos, ningún estudio en la literatura ha tratado de identificar las razones para la alteración de la potencia anaeróbica máxima después del entrenamiento en niños. La masa muscular de los miembros inferiores es un fuerte determinante del rendimiento durante evaluaciones de alta intensidad y corta duración en cicloergómetro (6, 20). En el presente trabajo, cualquiera sea el período de estudio fueron encontradas fuertes correlaciones entre la Pmáx. y la MMI ($r = 0.76$, $P < 0.001$). Sin embargo muy pocos estudios han investigado en niños, el efecto del entrenamiento sobre la potencia máxima o pico, en relación a la masa muscular específicamente involucrada en el ejercicio. Sargeant et al. (24) reportaron en niños de 13 años de edad después de 8 semanas de un programa de entrenamiento aeróbico/anaeróbico mezclado, un incremento de 8.5% en la potencia pico desarrollada durante una evaluación supra-máxima isoquinética en cicloergómetro, el cual estuvo asociado con un incremento similar de 9.7 % el volumen muscular del muslo. En el presente estudio, la MMI y la MMM se incrementaron después del entrenamiento (Tabla 1), pero no más allá de lo que sería normalmente esperado para el proceso de crecimiento normal y no fue observado ningún efecto específico del entrenamiento sobre estos parámetros. Los incrementos de la Pmáx. aún permanecieron siendo significativos para el GE después de tener en cuenta los cambios en la MMI. Además, no existió ninguna relación entre el porcentaje de los cambios después del entrenamiento para la Pmáx, y la MMI ($r = 0.25$, ns). Parecería, de este modo, que los factores cuantitativos jugaron un rol pequeño en el incremento de la Pmáx. del GE y que los factores cualitativos podrían estar bien involucrados. Para el mejor de nuestros conocimientos, las características mecánicas (i.e., fuerza y velocidad) responsables de la mejora de la potencia máxima inducida por el entrenamiento no han sido presentados en trabajos anteriores en niños. En nuestro estudio, no fue obtenida ninguna alteración en la Vopt después del entrenamiento y consecuentemente el incremento de la Pmáx. fue principalmente atribuido al incremento de la Fopt. Tal incremento existía todavía aún después de tener en cuenta la MMI. La proporción y el tamaño de las fibras de contracción rápida, así como las características musculares del músculo esquelético (actividad de la creatín quinasa (CK) o fosfofruto quinasa (PFK), concentraciones de fosfato de creatina (CP), adenosín trifosfato (ATP) o glucógeno) son determinantes en la habilidad para producir un rendimiento máximo durante ejercicios de alta intensidad y corta duración (4). Debido a consideraciones éticas fácilmente entendibles, muy pocos estudios están disponibles en la literatura acerca de las adaptaciones musculares al entrenamiento. Eriksson et. al (8, 9) no reportaron ningún cambio en la distribución y tamaño de las fibras en niños de 11-13 años luego de varios meses de entrenamiento de resistencia. Ellos demostraron, sin embargo, un incremento significativo en las concentraciones de reposo de CP, ATP y glucógeno, así como en la actividad de las enzimas oxidativas (succinato dehidrogenasa) y glucolíticas (PFK) después de varias semanas de un programa de entrenamiento similar al nuestro (8). Es desconocido por nosotros si ocurrieron adaptaciones metabólicas o en la distribución de fibras musculares en nuestros sujetos del GE. Ha sido demostrada una fuerte relación en adultos entre la Vopt y la distribución y el tamaño de las fibras de contracción rápida (29). La ausencia de alteraciones en la Vopt luego del entrenamiento en nuestro estudio, asociada con los resultados de trabajos anteriores (8, 9) excluye al menos las alteraciones en la morfología y tipología de las fibras. Otros factores relacionados al sistema neuromuscular podrían estar implicados con el objeto de explicar el incremento de la Fopt y consecuentemente de la Pmáx. luego del entrenamiento. Varios estudios han demostrado, en realidad, adaptaciones neurales en niños luego de varias semanas de entrenamiento de fuerza y potencia (2, 19, 20). En particular, estos estudios reportaron un incremento en el reclutamiento de unidades motoras con mayores niveles de activación muscular total y más

patrones de activación sincrónica después del entrenamiento. En la ausencia de hipertrofia muscular, los autores de estas investigaciones concluyeron en que los factores neurológicos explicaron principalmente el mejor rendimiento reportado después del entrenamiento. En nuestro estudio, aún si el régimen de entrenamiento del GE estuvo principalmente orientado hacia ejercicios aeróbicos, nosotros pudimos hipotetizar que las adaptaciones neurológicas reportadas arriba también ocurrieron en nuestros sujetos. Tales alteraciones nos permitieron entender que, para la misma cantidad de MMI, los niños fueron capaces de ejercer una fuerza mayor sobre el pedal (mayor Fopt) a una velocidad de rotación similar (misma Vopt) después del entrenamiento. Van a ser necesitados estudios futuros que incluyan una evaluación de la respuesta del sistema neuromuscular al entrenamiento en los niños (con mediciones de EMG por ejemplo).

En conclusión, los resultados del presente estudio demuestran que la potencia máxima desarrollada durante una evaluación de fuerza-velocidad en niños puede incrementarse luego de varias semanas de un programa de entrenamiento aeróbico. Tal incremento fue principalmente atribuido a la fuerza a la cual fue obtenida la potencia máxima. Los incrementos de la potencia máxima y los incrementos óptimos de la fuerza fueron todavía significativos aún después de tener en cuenta la masa muscular involucrada en el ejercicio. Así en las alteraciones inducidas por el entrenamiento reportadas aquí podrían estar implicados factores cualitativos del músculo esquelético o factores neuromusculares. Van a ser necesitados estudios futuros en niños para tener un mejor entendimiento de las adaptaciones neuromusculares y musculares al entrenamiento.

Dirección para Correspondencia: Prof. P. Obert, Laboratoire de Physiologie des Adaptations Cardiovasculaires a l'Exercece L'Exercise Musculaire; Département STAPS, Faculté des Sciences, 33 Louis Pasteur, Université d' Avignon, 84 000 Avignon, France. Tel : +33 (4) 3274-3201 ; Fax: +33 (4) 9014-4409; E-mail: Philippe.Obert@univ-avignon.fr

REFERENCIAS

1. Arsac L, Belli , Lacour JR (1996). Muscle function during a brief maximal exercise: accurate measurements on a friction-loaded cycle ergometer. *Eur J Appl Physiol 74: 100-106*
2. Blimkie CJR (1989). Age- and sex-associated variation in strength during childhood: anthropometric, morphologic, neurologic, biomechanical, endocrinologic, genetic and physical activity correlatos. *In: Gisolfi CV, Lamb DR (Eds). Pers. in Exer. Sci. and Sports Med. Indianapolis: Youth, Exer. and Sport. Bench-mark Press Inc, 2: 99-163*
3. Bar-Or O (1987). The Wingate anaerobic test: An update on metholology, reliability and validity. *Sports Med 4: 381-394*
4. Bouchard C, Taylor AW, Simoneau JA, Dulac S (1991). Testing anaerobic power and capacity. *In MacDougall DJ, Wenger HA, Green HJ (Eds). Physiological testing of the high-perfomance athlete. Champaign IL: Human Kinetics 175-221*
5. Courteix D, Lespessailles E, Loiseau S, Obert P, Ferry B, Benhamou CL (1998). Lean tissue mass is a better predictor of bone mineral content and density than body weight in prepuberal girls. *Rev Rhum (Engl Eds) 65: 328-336*
6. Davies CTM, Barnes C, Godfrey S (1972). Body composition and maximal exercise performance in children. *Hum Biol 44: 195-214*
7. Docherty D, Wenger HA, Collins ML (1987). The effect of resistance training on the aerobic and anaerobic power of young boys. *Med Sci Sports Exerc 389-392*
8. Eriksson BO, Gollnick PD, Saltin B (1973). Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys of 11-13 years old. *Acta Physiol Scand 485-497*
9. Eriksson BO, Gollnick PD, Saltin B (1974). The effect of physical training on muscle enzyme activities and fiber composition in 11-year-old boys. *Acta Paediatrica Scand 28: 245-252*
10. Fouquet R, Belli A, Jay J, Dumas JC, Denis C, Louis P, Bonnefoy R, Rougny R (1993). Systeme de mesure et d□explotation de la puissance developpe sur ergometre. *Innov Tech Biol Med 14: 709-717*
11. Gaiga MC, Docherty D (1995). The effect of an aerobis interval training program on intermittent anaerobic perfomance. *Can J Appl Physiol 452-464*
12. Grodjinovsky A, Inbar O, Bar-Or O (1980). Training effect on the anaerobic perfomance of children as measured by the Wingate anaerobic test. In: Berg K, Eriksson BO (Eds). *Children and Exercise IX. Baltimore: University Park Press, 139-145*
13. Karen G, Epstein Y (1981). The effect of pure aerobic training on aerobic and anaerobic capacity. *Br J Sports Med 15: 27-29*
14. Kohrt WM (1998). Preliminary evidence that DEXA provides an achúrate assessment of body composition. *J Appl Physiol 84: 372-377*
15. Lakomy HKA (1986). Measurements of work and power output using friction-loaded cycle ergometers. *Ergonomics 509-517*
16. Levesque M, Boulay MR, Bouchard C, Simoneau JA (1997). Time course of training-induced changes in maximal exercise of short duration in men and women. *Int J Sports Med 18: 464-469*
17. Linossier MT, Denis C, Dormois D, Geyssant A, Lacour JR (1993). Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. *Eur J Appl Physiol 67: 408-414*
18. Mandigout S, Lecoq AM, Courteix D, Guenon P, Obert P (2001). Effect of gender in response toa n aerobic training programme in prepubertad children. *Acta Paediatr 89: 1-7*
19. McManus A, Armstrong N, Williams C (1997). Effect of training on the power and anaerobic performance of prepubertal girls. *Acta Paediatr 86: 456-459*
20. Ozmun JC, Mikesky AE, Surburg PR (1994). Neuromuacular adaptations following prepubescent strength training. *Med Sci Sports*

Exerc 26: 510-514
21. Ramsay JA, Blimkie CJR, Smith K, Gardner S, MacDougall JD, Sale DG (1990). Strength training effects in prepubescent boys. *Med Sci Sports Exerc 22: 605-614*
22. Rotstein A, Dotan R, Bar-Or O, Tenenbaum G (1986). Effect of training on anaerobic thereshold, maximal aerobic power and anaerobic performance of preadolescent boys. *Int J Sports Med 7: 281-286*
23. Sargeant AJ, Dolan P, Thorne A (1985). Effects of supplemental physical activity on body composition, aerobic and anaerobic power in 13-year-old boys. *In: Binkohorst RA, Kemper HCG, Saris WHM (Eds). Children and Exer. XI Inter. series on sports sci. Champaign (IL): Human Kinetics Publishers, 135-139*
24. Simoneau JA, Lortie G, Boulay M, Marcotte M, Thibault MC, Bouchard C (1986). Inheritance of human skeletal muscle and anaerobic capacity adaptation to high-intensity intermittent training. *Int J Sports Med 7:167-171*
25. Simoneau JA, Lortie G, Boulay M, Marcotte M, Thibault MC, Bouchard C (1987). Effect of two high-intensity intermittent training programs interspaced by detraining on human skeletal muscle and performance. *Eur J Appl Physiol 56: 516-521*
26. Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, Yamamoto K (1996). Effect of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO2 max. *Med Sci Sports Exerc 28: 1327-1330*
27. Tanner JM (1962). Growth and adolescence. *Oxford Blackwell Scientific Publication, 2nd Edition, 325*
28. Thorland WG, Johnson GO, Cisar CJ, Housh TJ, Tharp GD (1987). Strength and anaerobic responses of elite young female spront and distance runners. *Med Sci Sports Exerc 19: 56-61*
29. Willimas CA (1997). Children□s and adolescent□s anaerobic perfomance durin cycle ergometry. *Sports Med 24: 227-240*
30. Williams JH, Barnes WS, Signorile JF (1988). A constant-load ergometre for measuring peak power output and fatigue. *J Appl Physiol 65: 2343-2348*

Cita Original

P Obert, M. Mandigout, A. Vinet, D. Courtiex. Effect of a 13-Week Aerobic Training Programme on the Maximal Power Developed During a Force-Velocity Test in Prepubertal Boys and Girls. Int J Sports Med 22: 442-446, 2001