

¿QUÉ SABEMOS REALMENTE ACERCA DEL TRABAJO FÍSICO EN LOS NIÑOS? (I)

WHAT DO WE REALLY KNOW ABOUT EXERCISE IN CHILDHOOD? (I)

INTRODUCCIÓN

Al hacer una revisión sobre Fisiología del ejercicio aplicada al niño, encontramos dos aspectos invariables: unas reflexiones comunes sobre los problemas éticos y metodológicos que limitan la disponibilidad de datos acerca de sus respuestas y una amplia controversia alrededor de estos datos.

Específicamente, cuando indagamos en estudios hechos sobre la obtención de energía en el niño, encontramos distintos protocolos, muestras pequeñas (a veces insuficientes para extrapolar datos), estudios que carecen de grupo control... Todo esto nos hace entender que hay que tratar con mucho cuidado la información obtenida de estos estudios y que mucha de esta información probablemente parte de hipótesis erróneas que se han ido arrastrando como ciertas a la largo de la historia de esta ciencia.

Nos hemos planteado revisar la base científica de conceptos que se aceptan habitualmente como verdades sólidamente instauradas acerca de los niños y que con frecuencia chocan con las observaciones realizadas. Por ejemplo, se parte de la base de que los niños tienen un metabolismo anaeróbico inmaduro, debido a una baja actividad de las enzimas glucolíticas, mientras que su metabolismo aeróbico es extraordinariamente activo y, por tanto, la base metodológica de trabajo debe ser aeróbica. Pero esto no casa bien con la actividad innata y

natural observada en los niños, basada fundamentalmente en movimientos y juegos de potencia, saltos, lanzamientos o carreras de corta duración y alta intensidad.

El objetivo de este trabajo es revisar aquellos aspectos referentes tanto al metabolismo aeróbico y anaeróbico como a las respuestas cardiovasculares y ventilatorias al ejercicio en el niño, que están ampliamente introducidos en los distintos campos de conocimiento, tratando de establecer la solidez de la base científica que los sustenta.

Metabolismo aeróbico

Está ampliamente aceptado que la capacidad aeróbica aumenta con el crecimiento de forma similar a los incrementos en la función pulmonar y cardiovascular. En 1938, Robinson¹ comunicó que el VO₂ máx. alcanza su valor más alto entre los 17 y 21 años, reduciéndose luego linealmente con la edad. Estudios posteriores con niñas y mujeres han mostrado la misma tendencia, aunque en las mujeres esa reducción se inicia a una edad más temprana, entre los 12 y 15 años.

Sin embargo, al expresar el VO₂ máx. en los niños en valores relativos al peso corporal ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), no varían casi nada desde los 6 años hasta la edad adulta, aunque en las niñas las capacidades aeróbicas muestran una reducción gradual a partir de los 13 años².

Laura Guerrero Almeida

José Naranjo Orellana

Centro Andaluz de Medicina del Deporte Sevilla

CORRESPONDENCIA:

José Naranjo Orellana
Pl. La Malagueta 7,5º D. 41020 Sevilla

Aceptado: 16-06-2005 / Revisión nº 185

Osorio, en 2003³, realiza una recopilación de ideas de diversos autores, que son un buen ejemplo de las que, desde hace tiempo, se aceptan en el campo de la educación física y que tienden a considerar que los fenómenos de adaptación al entrenamiento con cargas submáximas en los niños son similares a los adultos, con la consideración de que el trabajo aeróbico debe primar sobre los demás.

Por otro lado, encontramos establecidas sólidamente hipótesis basadas en una inmadurez enzimática de la vía glucolítica que sería la base de la idea de numerosos autores sobre una supuesta ineficacia del metabolismo anaeróbico en los niños en beneficio del metabolismo aeróbico.

En esta misma línea es común encontrar en la bibliografía afirmaciones referentes a que los niños tienen una mayor capacidad de producción energética por el ciclo de Krebs facilitada por una mayor densidad relativa de mitocondrias, una gran actividad de las enzimas aeróbicas y una mayor concentración de lípidos intracelulares en comparación con los adultos³, además de una actividad de enzimas musculares oxidativas (lipo-amida-deshidrogenasa...) mayor que en adolescentes y adultos⁴.

Metabolismo anaeróbico

Numerosos estudios realizados sobre la potencia y capacidad anaeróbica, están de acuerdo en que la producción de energía a través de las vías metabólicas anaeróbicas parece depender de la madurez. Adolescentes y adultos generalmente muestran mayor potencia y capacidad anaeróbica que los niños tanto expresadas en valores absolutos como relativos a la masa corporal y a la masa magra⁵.

Este ha sido un tema extensamente estudiado, pero que a su vez ha tenido una gran controversia debido a la explicación que los autores han dado a los menores niveles de potencia y capacidad anaeróbica desarrollada por los niños.

Es frecuente leer en diversos estudios^{6,7} que los valores de lactato sanguíneo en niños, normal-

mente realizando pruebas de fuerza-velocidad o el Test de Wingate, son menores que los valores obtenidos por adolescentes y adultos en dichas pruebas. Así mismo, está aceptado que la baja respuesta glucolítica en ejercicios máximos y submáximos durante la infancia comparados con adolescentes se manifiesta con una baja concentración de lactato sanguíneo y muscular después del ejercicio⁸.

Gaul *et al*⁶ aportan datos de concentraciones de lactato sanguíneo en niños y adultos después de un esfuerzo máximo de 90 s en un test en cicloergómetro. Los valores en reposo fueron similares para ambos grupos y los valores a los 2 y 5 minutos de finalizar el test fueron de 13,5 y 12,5 mmol/l en hombres y de 9,1 y 8,3 mmol/l en niños.

De todo esto, se obtiene una conclusión generalmente aceptada sobre el metabolismo anaeróbico en los niños, que en palabras, por ejemplo, de Fellmann y Coudert, se puede resumir de la siguiente manera:

"El desarrollo de la potencia muscular anaeróbica durante test de fuerza-velocidad y test de Wingate (en niños) es menor que en adultos incluso si se expresa por unidad de masa corporal. La concentración de lactato en sangre es menor en niños. Esta inmadurez del metabolismo anaeróbico, especialmente de la "vía láctica", podría ser el resultado de una menor actividad enzimática anaeróbica (lácticodeshidrogenasa, fosfofructokinasa, etc) y del contenido de glucógeno. Durante la pubertad, el metabolismo láctico, empieza a desarrollarse significativamente, simultáneamente con la masa muscular"⁹.

Por tanto, se acepta la existencia en los niños de una baja actividad enzimática glucolítica (LDH, PFK...) frente a una incrementada actividad enzimática oxidativa⁴ y esto se correlacionaría con los menores niveles de lactato sanguíneo encontrados en niños tras realizar pruebas de potencia anaeróbica (Test Wingate) y ser comparados con los valores obtenidos en adolescentes y adultos.

Respuesta cardiovascular

Según Turley y Wilmore¹⁰, está bien documentado que niños y niñas presentan un menor gasto cardiaco (Q) que los adultos para un consumo de oxígeno dado. Este bajo gasto cardiaco en los niños, es atribuido a un menor volumen sistólico (VS), el cual es parcialmente compensado por un alto valor de la frecuencia cardiaca (FC). Una mayor diferencia arterio-venosa de O₂ [(a-v) O₂] en niños compensa su bajo gasto cardiaco para alcanzar el mismo o similar VO₂. Esta mayor diferencia (a-v) O₂, sería debida a diferentes factores, entre los que cabría mencionar un mayor flujo sanguíneo muscular y una menor afinidad de la hemoglobina por el oxígeno.

La mayor FC y menor VS en los niños estaría relacionada con un menor tamaño de su corazón y un menor volumen sanguíneo; además, esta mayor FC en niños, se relaciona con la menor cantidad absoluta de músculo reclutado para la misma cantidad de trabajo (VO₂) y el hecho de que los niños realizan el trabajo a una mayor intensidad relativa.

Vinet *et al*¹¹, realizan un estudio en el que someten a 14 niños (7 niños y 7 niñas con una edad media de 10,8 años) y a 16 adultos (8 hombres y 8 mujeres con una edad media de 22,4 años) a un test progresivo en cicloergómetro hasta la fatiga, con estimación del VS y Q. Los adultos mostraron mayores valores absolutos de VS y Q para todos los niveles de intensidad, sin embargo las relaciones entre Q y VO₂ a intensidades submáximas comparables, fueron similares en niños y adultos. De acuerdo con estos resultados, parece ser que la menor respuesta cardiovascular al ejercicio en niños, debe ser atribuida al pequeño tamaño del corazón.

Respuesta respiratoria

Las respuestas ventilatorias del niño y adolescente son similares al adulto con algunas diferencias cuantitativas. Siguiendo a Fellmann y Coudert⁹, podemos aceptar las siguientes ideas:

1. La ventilación (VE) máxima aumenta en función de la edad y de la talla.
2. Al aumentar la intensidad del ejercicio la ventilación aumenta, pero la respuesta es diferente a la del adulto, caracterizándose por una mayor frecuencia respiratoria (FR) y un menor volumen circulante (VT), por lo que la ventilación es más superficial.
3. Tras un ejercicio máximo o submáximo, el niño tiene un mayor equivalente ventilatorio (VE/VO₂), por tanto, la ventilación es menos económica.
4. El espacio muerto fisiológico (VD/VT) en el niño, es menor que en el adulto.
5. Los valores del cociente respiratorio (RQ o RER) en esfuerzo máximo, no son casi nunca superiores a 1,10 (y a veces son inferiores a 1,0) en los niños, mientras que en los adultos suelen ser de más de 1,0 y con frecuencia mayores de 1,15. Esto indica que en los niños se produce menos CO₂ para el mismo consumo de oxígeno, lo cual a su vez indica un menor tamponamiento del lactato².

De todo lo expuesto hasta aquí, nos llaman especialmente la atención las afirmaciones referidas a la supuesta inmadurez del metabolismo anaeróbico. ¿Qué sentido tiene que una vía metabólica filogenéticamente anterior y presente en organismos de lo más simples, madure con posterioridad a otra mucho más compleja y de aparición posterior en seres mucho más evolucionados? Si, como veremos más adelante, existe un metabolismo anaeróbico muy activo en el feto, ¿tiene sentido pensar que todo esto cambia con el nacimiento para volver a ser igual al cabo de unos años? Por otra parte, se acepta que la causa de esta supuesta inmadurez radicaría en una menor actividad de la fosfofructoquinasa (PFK); pero existe una enfermedad de base genética (la glucogenosis tipo VII o enfermedad de Tauri) en la que precisamente lo que ocurre es un déficit de PFK y cursa con depósitos de glucógeno (por falta de

metabolización) junto con adinamia, cansancio y falta de tolerancia al esfuerzo por baja actividad del metabolismo de la glucosa y el glucógeno. No parece que sea esto lo que ocurre de forma natural en los niños sanos.

Ante esto, la pregunta principal que nos hacemos es: ¿tienen realmente base científica esas afirmaciones o estamos dando por buenos conceptos que no tienen un fundamento sólido?

Por ello, hemos realizado una revisión de los aspectos metabólicos relacionados con el ejercicio en los niños.

MATERIAL Y MÉTODOS

Durante los años 2004 y 2005 se ha realizado una búsqueda bibliográfica basada en distintas fuentes: las bases de datos Sport Discus, Ovid y MEDLINE, así como diferentes revistas digitales del campo de la educación física.

La búsqueda no tuvo límite de fecha ni de idiomas, obteniendo la mayoría de artículos en inglés y algunos en francés y castellano.

Se utilizaron dos tipos de términos de búsqueda, unos referidos al ámbito de la educación y metodología de entrenamiento, y otros referidos a términos bio-médicos. Los primeros, fueron los siguientes: "entrenamiento en niños", "potencia aeróbica y anaeróbica" combinado con "entrenamiento deportivo en niños". Los términos médicos de búsqueda empleados (Medical Subject Headings - MeSH) fueron los siguientes: "metabolism", "aerobic metabolism", "anaerobic metabolism", "children", "growth and maturation", "training", "oxidative enzymatic activities", "glucolytic enzymatic activities", "cardiovascular responses", "ventilatory responses", "short term muscle power", "blood lactate", "fetal lactate" y "fetal metabolism", todos ellos cruzados entre sí.

Debido a las características del tema estudiado, en principio se han recogido todos los artículos referentes al tema. Tras realizar el análisis sobre

el estado actual del metabolismo en niños, se empezaron a seleccionar solamente artículos de revistas incluidas en el Index Medicus, todos ellos en inglés.

RESULTADOS

Hasta los años 50, se pueden encontrar pocos estudios referidos a la fisiología del esfuerzo y el deporte. Así, en los años 20, se encuentran estudios relacionados con los tests físicos en el hombre¹² y algunos trabajos relacionados con la eficiencia mecánica y el trabajo máximo de la musculatura humana en relación con cicloergómetros^{13,14}; o en los años 30, hay varios estudios publicados sobre la fuerza muscular y la velocidad de acortamiento en adultos^{15,16}.

En 1952, Astrand¹⁷ es de los primeros investigadores que empieza a interesarse por la capacidad de trabajo físico en los niños con su libro *Experimental studies of physical working capacity in relation to age and sex*, que ha tenido una importantísima repercusión hasta la actualidad en lo referente a las teorías sobre el metabolismo en los niños, sentando conceptos como que la potencia aeróbica expresada por kg de peso es la misma, o incluso mayor, en niños que en los adultos, o que la concentración de lactato sanguíneo, tanto en ejercicio máximo como submáximo, es menor en niños sedentarios comparados con adultos entrenados y sedentarios.

Estos conceptos han sostenido importantes trabajos posteriores^{18,19} que analizaremos más adelante.

Durante los años 60, empiezan a realizarse estudios sobre mediciones de la potencia anaeróbica muscular en hombres²⁰.

El metabolismo muscular

En 1964, Danforth y Lyon²¹ realizan unos estudios in vitro con músculo aislado de ratón y, aunque su finalidad no era el estudio metabólico, sugieren que una baja concentra-

ción de la enzima PFK podría ser un factor limitante en la glucólisis. Este trabajo es importante, ya que a partir de él, Eriksson, Gollnick y Saltin, inician una serie de experimentos centrados en determinar la actividad de la PFK en la musculatura esquelética de los niños^{18,19}.

A finales de la década, en 1969, empiezan a realizarse biopsias musculares en niños en relación al tipo de fibras²².

Es en la década de los 70, con el inicio de las biopsias musculares, cuando al interés por analizar el rendimiento durante el crecimiento se une la determinación del tipo de fibras musculares en niños. Por otro lado, a partir de los estudios anteriormente citados de Astrand¹⁷ y Danforth y Lyon²¹, autores como Eriksson, Gollnick, Karlsson y Saltin^{18,19}, inician una serie de investigaciones basadas en el metabolismo anaeróbico en los niños y la relación entre éste y el crecimiento y maduración. A partir de estos trabajos, se crea la base de conocimiento sobre el metabolismo en los niños, y posteriormente numerosos autores basan sus trabajos en ratificar esta idea^{4,6,7,9,23-26}.

El primero de estos estudios¹⁸ parte de los resultados de Astrand¹⁷, y su objetivo fué recoger información de las respuestas metabólicas de los niños durante el ejercicio. Para ello estudian un grupo de 8 niños (edad: 13,1-14,8 años; altura: 153-173 cm.; peso: 39,7-63,9 kg. y volumen testicular: 5,3-15,8) a los que someten a un ejercicio progresivo en cicloergómetro (300, 600 y 900 kpm/min) durando 6 minutos hasta el máximo (900-1350 kpm/min). Realizaron biopsias musculares de la parte lateral del cuádriceps femoral en reposo e inmediatamente después de parar en cada carga de trabajo. En ellas analizaron el glucógeno, glucosa 6-fosfato, lactato, adenosina trifosfato (ATP) y fosfocreatina (CP). También se tomaron muestras de lactato sanguíneo.

Encontraron que el valor medio de la concentración máxima de lactato muscular fue de 11,3 mmol/kg; el lactato sanguíneo reflejaba el lactato muscular; observaron variaciones indi-

viduales sorprendentes de lactato muscular en el grupo, más pronunciadas en la máxima carga de trabajo, con un rango de 6,3 a 14,6 mmol/kg; los niños con mayores valores de lactato muscular tenían los mayores volúmenes testiculares.

Los autores sugieren que la reducción de las reservas de fosfágenos con el ejercicio en estos niños fue similar a la esperada en adultos, pero observaron diferencias sorprendentes en los valores de lactato muscular y sanguíneo cuando se comparan con los de los adultos. Las concentraciones de lactato sanguíneo durante un ejercicio máximo y submáximo en el presente estudio están muy de acuerdo con los resultados obtenidos por Astrand. Parece que la razón de la baja concentración de lactato sanguíneo en sujetos jóvenes después del ejercicio puede deberse a una baja producción y que la relación entre la máxima concentración de lactato muscular y el volumen testicular sugiere que la maduración sexual juega un papel importante.

El segundo de los trabajos¹⁹ se realiza con un doble objetivo: determinar la actividad de la enzima PFK en la musculatura esquelética en niños y examinar los efectos del entrenamiento en el metabolismo de la musculatura esquelética en niños de 11 a 13 años. El trabajo consta de dos series o experimentos distintos.

La serie I consiste en una muestra de 8 niños de 11 a 13 años que participan en un programa de entrenamiento de 4 meses, en el que el protocolo de entrenamiento consiste en tres sesiones semanales de 60 minutos de duración cada una, en las que incluían 5-10 minutos de calentamiento en suelo, 15-25 minutos de carrera interválica, baloncesto y fútbol. Las biopsias musculares fueron tomadas del vasto lateral en reposo y tras esfuerzo (tres cargas de 4 min con 15 min de recuperación), antes y después de 4 meses de entrenamiento. Se analiza el glucógeno, piruvato, lactato, ATP, CP, glucosa y glucosa-6-fosfato.

Los resultados de este experimento muestran que los niños aumentaron su VO₂ máx. en un 15%;

que los valores de lactato sanguíneo al final del ejercicio durante el trabajo máximo y submáximo, fueron menores pero paralelos a los valores medios de lactato muscular (4,8 y 5,9 mM/l antes y después del entrenamiento respectivamente); que el ATP muscular no varía significativamente y que el lactato muscular sólo varía significativamente en esfuerzo máximo (8,8 y 13,7 mmol/kg antes y después del entrenamiento).

La serie II del estudio consistió en una muestra de 5 niños de 11 a 13 años que desarrolló un programa de entrenamiento de 6 semanas consistente en tres sesiones semanales de 20 min. en bicicleta. Se realiza una biopsia muscular en reposo antes y después de 2 y 6 semanas de entrenamiento.

Los resultados mostraron que el VO₂ max se incrementó en un 8%; los valores medios de PFK (micromol/g/min) fueron: 8,42 antes del entrenamiento; 12,46 a las 2 semanas y 15,41 a las 6 semanas de entrenamiento. El valor en adultos aproximadamente es de 15 - 20 micromol/g/min.

Para los autores, el bajo lactato sanguíneo de los niños de 11 a 13 años comparado con adultos, tanto en reposo como después de un trabajo submáximo, concuerda con datos aportados anteriormente (Astrand, 1952; Eriksson, Karlsson y Saltin 1971). En contraste con el músculo, el lactato sanguíneo, tiende a ser menor a mayores cargas de trabajo después del entrenamiento. Esto debe ser el resultado de una mayor extracción de lactato por otros tejidos o por una diferente tasa de producción y utilización de los diferentes tipos de fibras en el músculo en ejercicio. La alta actividad de la PFK en el segundo experimento, sugiere que el entrenamiento incrementa la actividad glucolítica de la musculatura esquelética en niños. La actividad de la PFK en la musculatura de hombres adultos, es mayor que los valores observados en el grupo de niños sin entrenamiento.

Actividad aeróbica vs anaeróbica

Un factor importante a considerar es el tratamiento que se le ha dado desde siempre a la

actividad realizada por los niños. La literatura sobre pediatría y actividad física se ha interesado más por estudiar la capacidad de los niños para soportar trabajos o actividades de larga duración y moderada intensidad que por el estudio de ejercicios de máxima intensidad y corta duración⁸. Este hecho no deja de ser sorprendente considerando que la actividad espontánea y más común en niños y adolescentes, son tareas de corta duración e intensidad submáxima²⁴.

Trabajos recientes que estudian los cambios en la potencia de corta duración durante el crecimiento^{27,28} se basan en estudios de los años 90, como el de Bailey *et al.*²⁹ que muestra que la duración media de la actividad de los niños de 6 a 10 años es de 6 segundos para actividades de baja-media intensidad y de 3 segundos para actividades de alta intensidad.

Según Van Praagh *et al.*⁸, hay numerosas razones que justifican esta situación paradójica, como la escasa importancia que se le ha dado en los trabajos a la potencia anaeróbica frente a la potencia aeróbica máxima. A esto se une las dificultades éticas que presenta la utilización de técnicas invasivas para estudiar la potencia anaeróbica. Finalmente, aunque se ha sugerido que este tipo de actividad física tiene un importante efecto sobre el crecimiento y desarrollo durante la niñez, muchos pediatras y médicos del deporte consideran que la función anaeróbica está más relacionada con el rendimiento y menos relacionada con la salud que la función aeróbica.

Actualmente, la literatura al respecto ya empieza a considerar la actividad de tipo anaeróbico como la manifestación más natural y espontánea en los niños. En un estudio reciente de Ratel *et al.* 2004³⁰, ya se habla de las aplicaciones metodológicas de este tipo de actividades (de corta duración y alta intensidad) en el marco de la actividad escolar, llegando a decir que un entrenamiento basado en estas actividades puede mejorar el rendimiento anaeróbico en los niños (la potencia muscular, fuerza y velocidad). Incluso, un programa de actividades (re-

petidas de corta duración y alta intensidad) en la educación física, debe ser considerado para la mejora tanto aeróbica como anaeróbica en niños.

Respecto al VO₂ máx, está suficientemente aceptado su aumento con el entrenamiento aeróbico en los niños, por lo que, nos vamos a centrar en analizar las dudas que plantean algunos de estos trabajos.

En primer lugar, si analizamos los trabajos que encuentran aumento del VO₂ máx con el entrenamiento aeróbico, vemos que los porcentajes de aumento no sobrepasan el 10% en la mayoría de los estudios, alcanzando en otros el 15%.

En una revisión realizada por Pate y Ward en 1990³¹, encuentran en niños prepúberes un aumento medio del VO₂ máx del 10,4% en niños entrenados y un promedio de incremento del 2,7% en los grupos control. Mientras que en la población adolescente, en grupos entrenados se observó un incremento promedio del 14,4%, sin cambios significativos en los grupos control.

En el estudio de Wirth et al. en 1978²⁴, daban valores de VO₂ máx un 11% más altos que en otros estudios, como resultado del entrenamiento regular de natación en 51 niños y jóvenes entre 8 y 18 años.

Obert *et al*³², realizan en 2003 un estudio en el que participan 35 niños entre 10 y 11 años. Un grupo de 19 (10 niñas y 9 niños) se someten a un entrenamiento de 13 semanas (3 horas a la semana, a una intensidad de más del 80% de la FC máxima) y los 16 restantes (7 niñas y 9 niños) forman un grupo control. Los resultados muestran un incremento del VO₂ máx en niños del 15% y del 8% en niñas.

Ante esta disparidad de datos, es importante obtener información basada en la evidencia. En este sentido, Baquet *et al*³³, realiza en 2003 un metaanálisis de 51 estudios, de los que finalmente quedan 22, en el que se analizan las adaptaciones inducidas por el entrenamiento en el trabajo aeróbico en niños.

La principal conclusión de este estudio con respecto al VO₂ máx, es que la mejora media alcanza valores del 8 al 10% en los estudios que pretendían efectos significativos del entrenamiento y tan sólo era del 5% en los demás.

Por tanto, si aceptamos que la metodología de la Medicina basada en la evidencia es la más rigurosa para resolver situaciones como esta, debemos concluir que no existe base científica suficiente para defender una mejora sustancial del VO₂ máx en los niños con relación al entrenamiento aeróbico, idea apoyada por otros autores³⁴, que afirman que el entrenamiento tampoco tendría efectos sobre el VO₂ máx durante la pubertad.

La bibliografía citada se publicará en la segunda parte del artículo