

Lo nuevo y lo viejo de la Fisiología del Ejercicio Pediátrico

Bar-Or Oded

Children's Exercise & Nutrition Centre, Department of Pediatrics, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canadá.

RESUMEN

Los investigadores en fisiología del ejercicio pediátrico algunas veces pasan por alto hallazgos publicados que son similares o aún idénticos, a los suyos. El objetivo de esta revisión es proveer ejemplos del patrón antes mencionado. Estos ejemplos están relacionados a los siguientes tópicos: 1) ¿es el plateau en el consumo de O₂ un criterio necesario para el establecimiento del máximo consumo de O₂ en los niños? 2) la mayor utilización de grasa de los niños durante el ejercicio prolongado, 3) los menores niveles máximos de lactato sanguíneo en los niños, 4) el mayor costo energético metabólico de la locomoción en los niños y las posibles causas de este fenómeno, y 5) el menor gasto cardíaco y volumen de eyección en los niños, a cualquier captación de O₂ dada.

Palabras Clave: Aeróbico, Edad, Anaeróbico, Niños, Hemodinámica, Historia, Locomoción, Revisión.

INTRODUCCIÓN

Las últimas dos décadas han constituido el surgimiento del interés en la fisiología del ejercicio pediátrico y de la medicina del ejercicio pediátrico. Esto ha sido manifestado por un gran incremento en el número de publicaciones en el área, incluyendo libros de texto, actas de conferencias, un volumen de enciclopedia y una revista científica de ciencias del ejercicio pediátrico.

Esta plétora de citas ha contribuido a diseminar un gran cuerpo de valiosa información. Mientras que la mayoría de esta información es nueva, a veces ocurre que un hallazgo "nuevo" no es realmente nuevo. La confirmación o el rechazo de hallazgos previos es la

base indispensable para la generación del conocimiento científico. Por ello, es importante repetir experimentos previamente publicados. Sin embargo, los autores en la literatura del ejercicio pediátrico pasan por alto algunas veces trabajos relevantes o aún idénticos, realizados en el pasado.

Esta no es de ningún modo una revisión histórica de gran amplitud acerca de la fisiología del ejercicio pediátrico. Su intención es destacar varios ejemplos en los cuales la información generada en años recientes ha sido establecida, frecuentemente con resultados idénticos, en el pasado. En agradecimiento a contribuciones anteriores, va a ser dada una focalización particular al amplio estudio de Sid Robinson en 1938 (12) de 93 varones, de 5.7-76 años de edad, y a la disertación doctoral de Per Olor Åstrand en 1952 (1), en la cual este investigador estudio a 112 mujeres de 4-25 años y a 115 varones de 4-33 años.

Criterios para el VO₂ máx.

Uno de los criterios para el logro de máximo consumo de O₂ (VO₂ máx.) es un plateau en el VO₂, a pesar de un incremento en la intensidad del ejercicio. Mientras que este criterio ha sido extensivamente usado en estudios relacionados a adultos, los investigadores han notado que los niños frecuentemente llegan al agotamiento durante una evaluación de potencia aeróbica máxima, pero sin un plateau en el VO₂. En efecto, aproximadamente el 50% de los niños no alcanzan un plateau (1, 13). ¿Alcanzan esos niños menores niveles de VO₂ máx. que aquellos que si alcanzan un plateau?. En 1998, Anita Rivera-Brown reportó un estudio en el cual establecía esta cuestión (11). Como se ve en la Tabla 1, aunque la frecuencia cardíaca fue más alta (diferencia no significativa) en aquellos adolescentes varones que alcanzaron un plateau, el VO₂ máx. fue

similar en ambos grupos, como lo fue el índice de intercambio respiratorio máximo (RER). ¿Es este un hallazgo nuevo?

La misma pregunta fue establecida por P.O. Åstrand 46 años antes (1). Como se ve en la Tabla 2, ni la media ni el rango de VO_2 máx. difería entre aquellos varones de 14 a 18 años de edad y aquellas mujeres de 14 a 17 años, los cuales alcanzaron un plateau y aquellos que no lo hicieron. En base a estas dos idénticas observaciones, establecidas con una separación de 46 años, el logro de una meseta o plateau del VO_2 no debería ser considerado un criterio de VO_2 máx.

Grupo	VO_2 máx. (L/min)	Frecuencia Cardíaca	RER
Plateau	4.1	197	1.1
Sin Plateau	3.9	205	1.1

Tabla 1. ¿Es el plateau del VO_2 necesario como criterio de VO_2 máx.?. Valores en un ejercicio máximo en cicloergómetro, basado en Rivera-Brown y Frontera (11).

Grupo	Varones	Varones	Mujeres	Mujeres
Plateau	58.5	52.5-63.7	46.3	42.9-49.3
Sin Plateau	58.7	51.0-62.4	46.9	42.5-52.6

Tabla 2. ¿Es el plateau del VO_2 necesario como un criterio del VO_2 ?. Valores en un ejercicio máximo en cicloergómetro, basados en Åstrand (1). Los valores para el VO_2 máx. están expresados en $\text{ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$.

Utilización de Sustratos

En 1992, Martínez y Haymes (8) encontraron que, durante una carrera de 30 min en cicloergómetro, el RER de niñas de 8 a 10 años de edad era menor que en mujeres de 20 a 32 años, las cuales corrieron a la misma intensidad relativa. El RER luego declinaba en las niñas, pero no en las mujeres, a medida que el ejercicio progresaba (Figura 1). Los autores concluyeron que las niñas usaban relativamente más grasa y menos carbohidratos que las mujeres. Ellos luego mencionaron que otros estudios han reportado una tendencia similar.

Sin embargo, es interesante que las publicaciones siguientes al estudio de Martínez y Haymes 1992 consideraban todavía al mismo como el origen de este fenómeno, pero pasaron por alto el trabajo de Robinson, realizado 54 años antes. Como se observa en la Figura 1, Robinson describió un incremento gradual en el RER (usando el término “R.Q.” para el cociente respiratorio) desde la edad de 6 años hasta adultos jóvenes entre varones los cuales corrían a 5.6 km/h. El estableció que “la tendencia hacia arriba en el R.Q. con el avance de la edad representa una

tendencia incremental para emplear los carbohidratos como el combustible para la actividad muscular”.

El luego sugirió que “el bajo R.Q. encontrado en los niños en este estudio puede reflejar una mayor depleción de la reserva de carbohidratos en los niños que en los hombres, durante las 15 horas de ayuno que precedieron al trabajo”. Es de este modo aparente que el conocimiento de diferencias dependientes de la edad en la utilización de sustratos tiene por lo menos 62 años de antigüedad.

Niveles de Lactato Sanguíneo

En 1997, Pfitzinger y Freedson (10) publicaron un trabajo de revisión sobre la respuesta del lactato sanguíneo al ejercicio en los niños. Ellos presentaron estudios realizados de 1972 a 1966 y concluyeron que “las concentraciones de lactato han sido consistentemente menores en los niños que en los adultos”. La revisión paso por alto un hallazgo idéntico de Åstrand (Figura 2) en 1952 y de Morse y colegas (9) en 1949. Sin embargo, el primero en demostrar que el lactato sanguíneo de los niños-submáximo o máximo- era menor que en los adultos, fue Robinson en 1938 (Figura 2, abajo). De cualquier forma, esta es la primera publicación que sugiere indirectamente que la velocidad de la glucólisis anaeróbica de los niños es deficiente en comparación con la de los adultos. Sin embargo, Robinson también planteó la posibilidad que un lactato máximo bajo en los niños podría reflejar su “mala voluntad para continuar ejercitándose después de que el ejercicio ha dejado de entretenerlos”.

Costo de O_2 de la Locomoción

Varios estudios en los años recientes han demostrado que el costo de energía metabólica durante la caminata y la carrera es más alto en los niños que en los adultos. Un estudio de MacDougall y colegas (5) es un ejemplo en el cual 134 niños y adolescentes, estratificados por grupos de edades, realizaron una carrera en cicloergómetro a varias velocidades. Como puede ser observado en la Figura 3 (gráfico superior), mientras menos edad tienen los niños, mayor es su VO_2 a cualquier velocidad de carrera dada. Mientras que este conjunto de datos fue el primero en incluir una muestra representativa y aleatoria de niños no deportistas en edad escolar, estudios previos han descrito un patrón idéntico. Esto es mostrado en el gráfico del medio de la Figura 3, el cual resume los datos de 81 mujeres, de 4-17 años de edad, que fueron evaluadas por Åstrand (1). Sin embargo, en 1938 ya había sido descrito por Robinson un alto costo energético de la locomoción en niños, los

cuales realizaron una única tarea de caminata a 5.6 km/h. Como puede observarse en el gráfico inferior de la Figura 3, el VO_2 de los niños era considerablemente mayor que el de los adolescentes, los cuales tenían un VO_2 más alto que los adultos. En base a estos datos, Robinson calculó una “eficiencia mecánica” (un nombre inapropiado, ya que la misma es realmente economía mecánica) y encontró que es menor en los niños. Un estudio reciente de Frost y colegas ha demostrado que la principal razón de la baja economía de los niños es debida a un alto grado de co-contracción de los músculos antagonistas en el muslo y en la cadera (4), como fue determinado por electromiografía. En una menor extensión, esto es también debido a una gran producción de trabajo, como fue determinado por análisis cinemáticos (3). En 1952, Åstrand no contaba con datos electromiográficos o biomecánicos para interpretar sus resultados. Sin embargo, el ofreció varias explicaciones: 1) los niños tienen una tasa metabólica de reposo más alta; 2) a cualquier velocidad dada los niños corren a un porcentaje más alto de su potencia aeróbica máxima; 3) los niños tienen una zancada más corta y una frecuencia de zancada más alta; y 4) la técnica de carrera de los niños puede ser deficiente. Robinson no ofreció una explicación para el alto costo energético de la locomoción en los niños.

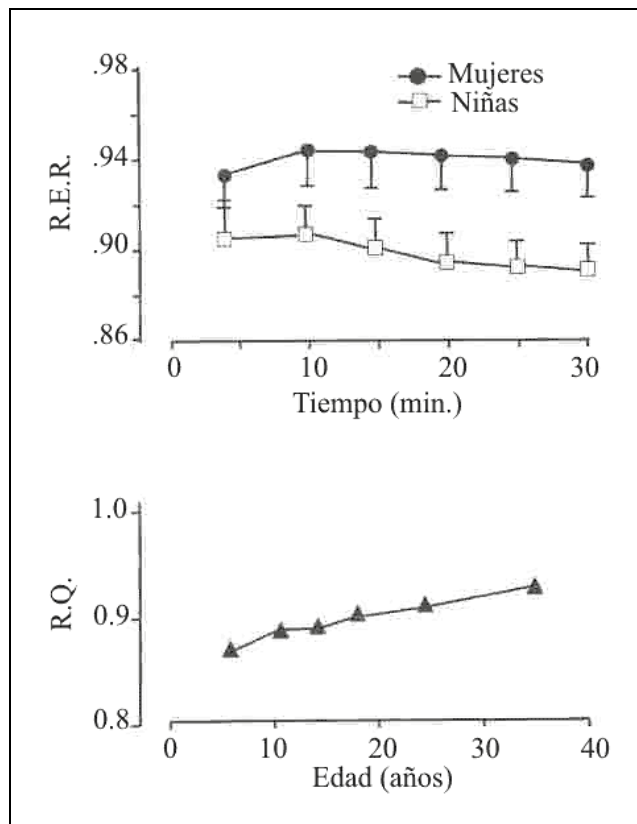


Figura 1. Diferencias relacionadas a la edad en el índice de intercambio respiratorio (R.E.R) y en el cociente respiratorio (R.Q.), como índices de utilización de grasas y carbohidratos durante el ejercicio. El gráfico de arriba resume los valores de las niñas de 8 a 10 años y las mujeres de 20 a 32 años. El mismo

fue reproducido a partir de Martínez y Haymes, 1992 (8). El gráfico de abajo esta relacionado a los varones y esta adaptado de Robinson, 1938 (12).

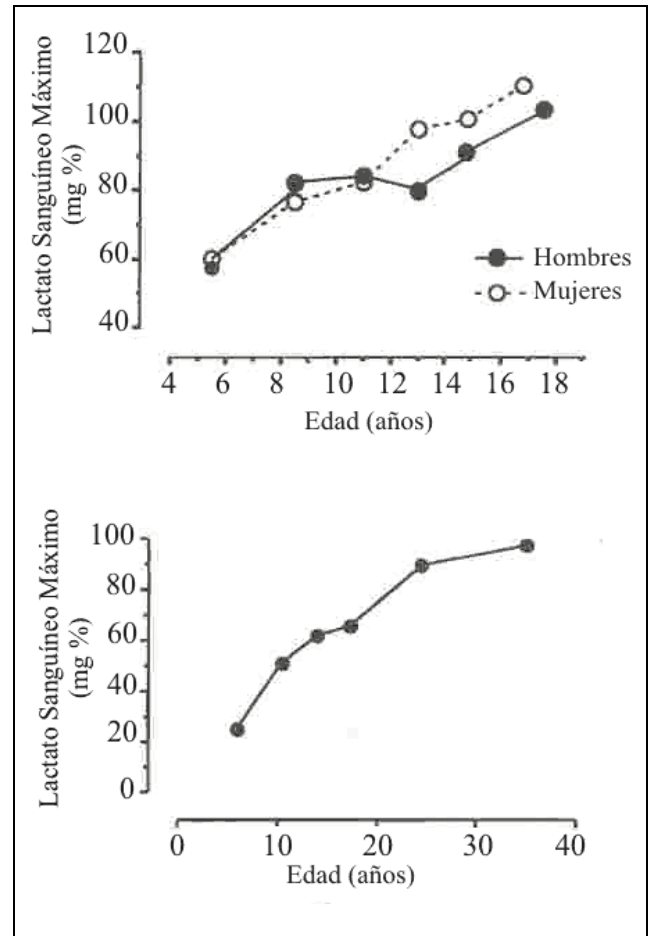


Figura 2. Diferencias relacionadas a la edad en la máxima concentración de lactato sanguíneo (La). El gráfico de arriba esta basado en Åstrand (1). El gráfico de abajo esta basado en Robinson, 1938 (12).

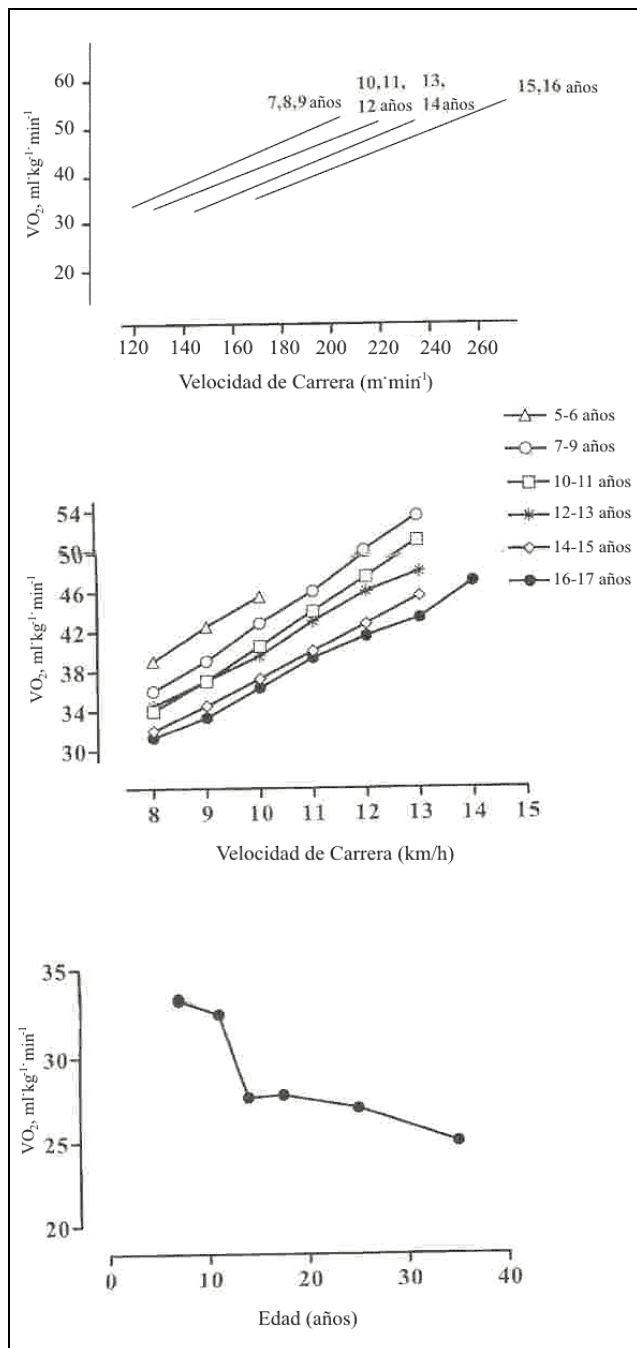


Figura 3. Diferencias relacionadas a edad en el costo metabólico de la locomoción. El gráfico de arriba representa los datos de los niños y las niñas y fue reproducido de MacDougall et al., 1983 (5). El gráfico del medio representa los datos para las mujeres y fue reproducido de Åstrand, 1952 (1). El gráfico de abajo representa los datos de los varones y esta basado en Robinson, 1938 (12).

Hemodinámica

Debido a restricciones metodológicas hay relativamente pocos estudios que hayan analizado las diferencias relacionadas a la edad en las respuestas hemodinámicas al ejercicio. En 1997, Turley y Willmore (16) compararon las respuestas del gasto cardiaco, el volumen de eyección, la diferencia arterio-venosa de O_2 y de frecuencia cardiaca de

niños de 7 a 9 años de edad y adultos de 18 a 26 años de edad, los cuales se ejercitaron en una cintaergómetro y en un cicloergómetro. Como se observa en el gráfico de arriba en la Figura 4, había distintas diferencias relacionadas a la edad: en comparación con los hombres, los niños tenían un gasto cardiaco y un volumen de eyección significativamente más bajo y una diferencia arterio-venosa de O_2 y una frecuencia cardiaca significativamente más alta a cualquier VO_2 dado. Fueron encontradas diferencias similares entre las mujeres. ¿Es la respuesta hipodinámica de los niños un hallazgo nuevo?

En 1971, Bar-Or y cols. (2) usaron la técnica de re-respiración de CO_2 para estudiar las respuestas hemodinámicas de 56 niños de 10 a 13 años de edad en un ejercicio de ciclismo (70% del VO_2 máx.). Estos datos fueron comparados con datos de estudios anteriores de hombres adultos jóvenes sedentarios. Como se observa en el gráfico de abajo de la Figura 4, el patrón de diferencias relacionadas a la edad entre los niños y los hombres fue idéntico a aquel reportado por Turley y Willmore. ¿Es este un nuevo hallazgo?. En 1936, Schneider y Crampton (14) usaron un método de acetileno para determinar el gasto cardiaco y el volumen de eyección de 3 adolescentes varones (edad no reportada), los cuales realizaron un ejercicio de ciclismo (a una intensidad de 8136 J). Comparando sus datos con los estudios anteriores realizados en hombres, “el gasto cardiaco del corazón estaba por debajo de las cantidades halladas en adultos...pero las diferencias no eran proporcionalmente tan grandes como para el volumen de eyección”. Es así aparente que la respuesta hipodinámica de los niños al ejercicio fue sugerida ya hace 63 años.

Las diferencias relacionadas a la edad ocurren también en reposo. Algunas de las mismas son importantes para la interpretación del fenómeno relacionado al ejercicio. Por ejemplo, cuando la monitorización de la frecuencia cardiaca es usada como medio para evaluar el gasto energético, uno frecuentemente resta la frecuencia cardiaca de reposo (o durante el sueño) de aquella obtenida durante las actividades físicas. Del mismo modo, el VO_2 “neto” es frecuentemente calculado para determinar el costo energético de la locomoción. En su libro de 1991, Malina y Bouchard (6) reportaron datos de frecuencia cardiaca en reposo en niños y adolescentes, basados en un reporte de 1983 de Malina y Roche (7). Como se muestra en el gráfico de arriba de la Figura 5, la frecuencia cardiaca sentado declina marcadamente desde la niñez a la adolescencia. ¿Es este un hallazgo nuevo?.

El patrón de arriba fue reportado por varios autores anteriores, incluyendo a Åstrand en 1952 y a Robinson en 1983, pero aún su hallazgo no era nuevo. Un patrón idéntico fue reportado pro Sutliff y

Holt en 1925 (15), como se muestra en el gráfico de debajo de la Figura 5. ¡Estos autores reportaron datos similares que Volk en 1850!

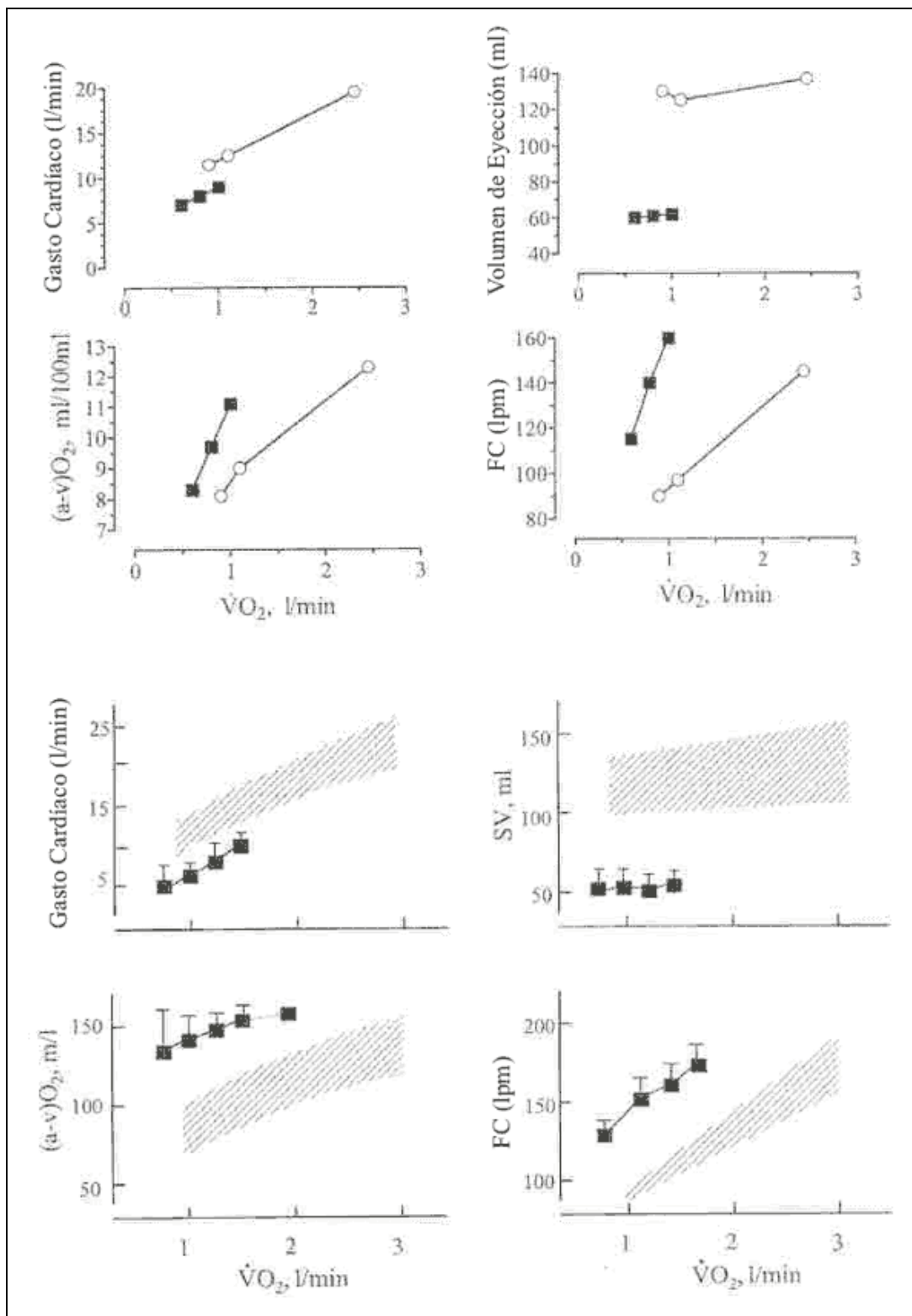


Figura 4. Comparación de las respuestas hemodinámicas al ejercicio en niños y hombres jóvenes. El gráfico de arriba fue reproducido de Turlley y Wilmore (16). El gráfico de abajo fue reproducido de Bar-Or et al., 1971 (2). Q =gasto cardiaco; $(a-v)O_2$ = diferencia arteriovenosa del contenido de O_2 ; SV = volumen de eyección.

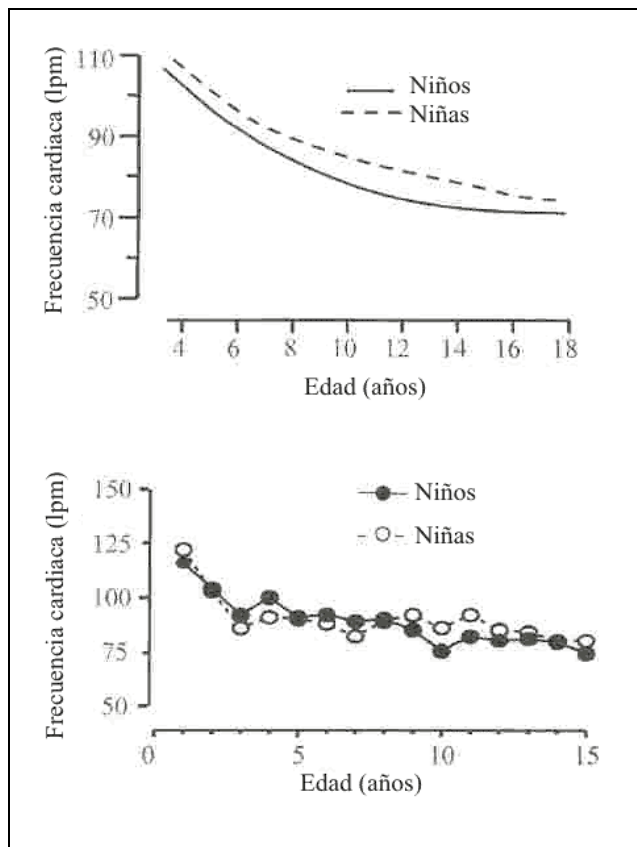


Figura 5. Diferencias relacionadas a la edad en la frecuencia cardiaca de reposo de niños y niñas. El gráfico de arriba fue reproducido de Malina y Bouchard, 1991 (10). El gráfico de abajo esta basado en Sutliff y Holt, 1925 (15).

Conclusión

Esta revisión resume varios ejemplos en los cuales se probó que la “nueva” información no es tan nueva. La elección de estos ejemplos fue algo arbitraria, reflejando mi propio interés. La misma no tiene la intención de ser una crítica a los autores contemporáneos, pero más bien un tributo a aquellos investigadores en el área, que varias décadas atrás, frecuentemente usando técnicas menos sofisticadas, establecieron resultados similares y generaron la misma información. Tengo esperanza que esta revisión le de a los investigadores en las ciencias del ejercicio pediátrico un ímpetu para buscar hallazgos previos lo más minuciosamente posible.

Dirección para Correspondencia

O. Bar-Or, M.D. Profesor of Pediatrics, Director, Children's Exercise & Nutrition Centre, Chedoke Hospital Division, Sanatorium Road, Hamilton, Ontario, L8N 3Z5, Canadá. Tel. +1 (905) 521-2100 ext. 7615; Fax. +1 (905) 385-5033. Correo electrónico: Baror@fhs.mcmaster.ca

Comentario del Revisor

Bar-Or destaca la importancia de las bases históricas de las ciencias del ejercicio pediátrico. Claramente, los trabajos de Robinson (1938) y Åstrand (1952) son seminales. Desafortunadamente, muchos estudiantes de las ciencias del ejercicio pediátrico se focalizan solo en un único aspecto de estos estudios clásicos, i.e., VO_2 máx. o pico de VO_2 . Ambos estudios, sin embargo, son análisis mucho más amplios de la respuesta de los niños, adolescentes y adultos jóvenes al ejercicio submáximo y máximo, aunque Robinson considera de hecho el ciclo de toda la vida en los hombres.

El mensaje del artículo de Bar-Or es claro. Necesitamos ser más concientes de nuestras bases históricas. Aunque tendemos a cautivarnos con la tecnología avanzada y la relativa facilidad con la cual pueden ser monitoreadas las respuestas al ejercicio en el presente, ¡lo que es reportado como un “nuevo” o “reciente” desarrollo no es necesariamente así!

Dirección para Correspondencia

Robert M. Malina, Ph.D., FACSM, Department of Kinesiology, Michigan State University, East Lansing, MI 48824-1049, Estados Unidos.

REFERENCIAS

1. Åstrand, P.O. *Experimental Studies of Physical Working Capacity in Relation to Sex and Age*. Copenhagen: Munksgaard, 1952.
2. Bar-Or, O., Shepard, R.J. *Cardiac output determination in exercising children: methodology and feasibility*. *Acta Paed Scand Suppl* 1971; 217: 49-52.
3. Frost, G., Dowling, J., Bar-Or, O., Dyson, K. *Ability of mechanical power estimations to explain differences in metabolic cost of walking and running among children*. *Gait and Posture* 1997; 5: 120-127.
4. Frost, G., Dowling, J., Dyson, K., Bar-Or, O. *Cocontraction in three age groups of children during treadmill locomotion*. *J Electromyog Kinesiol* 1997; 7: 179-186.
5. MacDougall, J.D., Roche, P.D., Bar-Or, O., Moroz, J.R. *Maximal aerobic capacity of Canadian school children: prediction based on age-related oxygen cost of running*. *Int J Sports Med* 1983; 4: 194-198.
6. Malina, R.M., Bouchard, C. *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1991: 1-501.

7. Malina, R.M., Roche, A.F. *Manual of physical statutas and performance in childhood*. Volume 2: physical performance. New York: Plenum, 1983.
8. Martinez, L.R., Haymes, E.M. *Substrate utilization during treadmill running in prepubertal girls and women*. **Med Sci Sports Exerc** 1992; 24: 975-983.
9. Morse, M., Schlutz, F.W., Cassels, D.E. *Relation of age to physical responses of older boy (10-17 years) to exercise*. **J Appl Physiol** 1949; 1: 683-709.
10. Pfitzinger, P., Freedson, P. *Blood lactate responses to exercise in children. Part 1, peak lactate concentration*. **Pediatr Exerc Sci** 1997; 9: 210-222.
11. Rivera-Brown, A.M., Frontera, W.R. *Achievment of plateau and reliability of VO₂ max in trained adolescents tested with different ergometers*. **Ped Exerc Sci** 1998; 10: 164-175.
12. Robinson S. *Experimental studies of physical fitness in relation to age*. **Int Z Angew Physiol** 1938; 10: 251-323.
13. Rowland, T.W. *Developmental Exercise Physiology*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996: 1-268.
14. Scheider, E.C., Crampton, C.B. *The cardiovascular response of preadolescent boys to muscular activity*. **Am J Physiol** 1936; 114: 473-482.
15. Sutliff, W.D., Holt, E. *The age curve of pulse rate under basal conditions*. **Arch Int Med** 1925; 35: 224-241.
16. Turley, K.R., Wilmore, J.H. *Cardiovascular response to treadmill and cycle ergometer exercise in children and adults*. **J Appl Physiol** 1997; 83: 948-957.

Para citar este artículo en su versión original

Bar-Or, O. New and Old in Pediatric Exercise Physiology. *Int J Sports Med*; 21 Supplement 2: S 113-S 117.

Para citar este artículo en su versión en español

Bar-Or, O. Lo nuevo y lo viejo de la Fisiología del Ejercicio Pediátrico. **PubliCE** (<http://www.sobreentrenamiento.com/PubliCE/Home.asp>). 12/11/03. Pid: 210.



Estimado suscriptor a PubliCE Premium: Para que este artículo llegue a sus manos, tuvimos que seleccionar el material a publicar, conseguir los derechos de traducción y reedición en español, traducir científicamente palabra por palabra, reeditar las imágenes, tablas, títulos, y presentárselo a usted dignamente en diferentes formatos. Al fotocopiar este texto, todo el personal involucrado en este proceso deja de percibir lo que corresponde a la inversión que han realizado. No reproduzca ilegalmente este trabajo, pues de lo contrario estará destruyendo el esfuerzo, la dedicación, y la pasión de quienes trabajamos para usted.

Equipo de Edición de PubliCE Premium