

Monograph

Máximo Consumo de Oxígeno en Adolescentes Daneses de 16-19 años de Edad

Bengt Saltin, Lars Bo Andersen y Poul Henckel

The National College of Physical Education and August Krogh Institute, Copenhagen University, Copenague, Dinamarca.

RESUMEN

A fines de 1983 se valoró una muestra de escolares, seleccionada al azar, de 119 varones y 153 mujeres. Los datos presentados aquí son datos antropométricos (talla, peso, % de grasa y capacidad vital) y consumo de oxígeno medido en forma directa en una bicicleta ergométrica. Los valores medios de talla y peso para varones fueron 179,1 cm y 67,7 kg, y los de las mujeres fueron 168,0 cm y 59,6 kg. El contenido de grasa medio fue de 9,1% para los varones y de 19,1% para las mujeres, y los valores medios de capacidad vital fueron 4,9 L y 3,6 L, respectivamente. Los varones presentaron un consumo máximo de oxígeno más alto ($51,7 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) que no mostró reducciones en las edades abarcadas. El consumo máximo de oxígeno de las chicas fue menor (valor medio general de $40,0 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) con una pequeña reducción desde los 16 a los 19 años. Cuando se comparó el consumo máximo de oxígeno por kg de masa corporal magra en los dos sexos, los varones tuvieron valores de un 18,4% más alto que las mujeres, lo que indica que las mujeres de esta edad tienen el menor nivel de aptitud física. Los resultados de las mediciones de la potencia aeróbica máxima de los varones son comparables con los hallazgos de otras investigaciones que usaron mediciones directas, lo cual indica que la aptitud física de los adolescentes se mantiene a un alto nivel. Los datos de mujeres adolescentes de distintos países presentan diferencias, pero en general parece que tienen un nivel más bajo de aptitud física.

Palabras Clave: consumo máximo de oxígeno, adolescente, estudio poblacional

INTRODUCCION

A través de los años, muchos autores han medido el nivel de la potencia aeróbica máxima en jóvenes.

Uno de los primeros fue Robinson (1939), más tarde seguido por Åstrand (1952). En este último estudio se informó un aumento paralelo del máximo consumo de oxígeno con la edad en ambos sexos hasta los 12-14 años, y a esta edad las chicas manifestaron una meseta, mientras que los varones mostraron mayores aumentos. El nivel absoluto de la capacidad aeróbica máxima, teniendo en cuenta el peso corporal, fue de $57 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ para los varones, y las chicas alcanzaron un valor promedio 17% más bajo. Desde 1960 se publicaron algunos reportes alarmantes que describían una drástica reducción en la capacidad máxima de trabajo aeróbico en adolescentes en Estados Unidos y en países Europeos incluyendo Escandinavia (Rodahl y col. 1961; Hettinger y col. 1961; Lammert 1975).

Cuando se comparan los resultados de estos diferentes estudios, se encuentran varias dificultades.

Una está relacionada a la elección del protocolo de ejercicio, el cual es diferente. Muchas veces los sujetos no están acostumbrados al ejercicio empleado. Otra dificultad igualmente importante es que se han realizado estudios de

determinados grupos de niños en los diferentes países. En el presente estudio el objetivo ha sido obtener datos de consumo máximo de oxígeno y de las variables relacionadas representativas a adolescentes de 16-19 años de edad de Dinamarca. Con este objetivo, se estudió una muestra de escolares de todo el país, y se usó al ciclismo, ya que este es un tipo común de ejercicio en ese país. Se ha reportado que el nivel de actividad física entre los adolescentes en Escandinavia es muy alto hasta los 15-16 años: de ahí en más disminuye y la mayoría de los adolescentes de 19 años tienen una vida sedentaria (Engstrøm, 1975). Por lo tanto, el intervalo de edad elegido para este estudio fue de 16 a 19 años de edad. Además de determinar la potencia aeróbica y las variables relacionadas, se estudiaron algunos índices de salud, y se realizaron valoraciones de la fuerza. Estos últimos datos están reportados en otro sitio (Henckel 1986), pero serán en parte discutidos en esta publicación.

MÉTODOS

Sujetos

Se valoró a un total de 119 varones y 153 mujeres de 16-19 años de edad. Estos sujetos fueron seleccionados en forma aleatoria de 36 escuelas. El número de escuelas elegidas en una región fue el reflejo de la distribución de la densidad de población del país. Dieciocho de las escuelas fueron escuelas secundarias y las otras dieciocho fueron escuelas vocacionales. El número de clases seleccionadas de cada tipo de escuela estuvo relacionado al número de alumnos que asistía a cada tipo de escuela. De cada una de las clases se pidió la participación al 4º alumno de la lista. Si el alumno escogido estaba enfermo el día de la prueba, se pedía en su lugar al siguiente alumno de la lista de clase. Doce alumnos estuvieron ausentes. Se realizaron diferentes pruebas a todos los alumnos (1298) de las clases elegidas. No se encontraron diferencias entre el grupo seleccionado y sus compañeros de clase respecto a la talla, peso, capacidad de trabajo, fuerza o flexibilidad. Diez de los doce alumnos ausentes fueron incluidos en los tests de toda la clase. Dos chicas se negaron a participar, dando una tasa de deserción de solo el 0,7%. El grupo a partir del cual fueron extraídos los sujetos representa el 80% de la población danesa de ese grupo etario.

Las pruebas se realizaron en la escuela, y los alumnos llegaron en ayunas a las 7:45 de la mañana y descansaron en posición supina por al menos 15 minutos. Se midió la presión sanguínea estando el sujeto sentado y se tomó una muestra de sangre venosa, luego se midieron distintas variables ventilatorias. Luego, estando los sujetos de pie, se realizaron las mediciones de talla, peso y pliegues cutáneos. Finalmente, se determinó la fuerza máxima isométrica y la potencia aeróbica máxima.

Las tallas y pesos de los sujetos fueron medidos con una apreciación de 1 cm y 0,1 kg. Se tomaron cuatro medidas de pliegues cutáneos (abdominal derecho e izquierdo e inmediatamente sobre la rótula de cada muslo) tal como ha sido descrito por Hermansen y von Döbeln (1971). Las pruebas repetidas en 11 sujetos mostraron una diferencia de 0,5%, con una desviación estándar (DS) de la diferencia de 10%.

Se midieron la capacidad vital, el flujo máximo y el volumen espiratorio forzado (FEV) (*Draeger spirottron 2*). Se utilizó el valor más alto de al menos 3 medidas. Las pruebas repetidas en 11 sujetos mostraron una diferencia de 1,0% con un DS de la diferencia de 7%.

El consumo máximo de oxígeno fue medido usando una bicicleta ergométrica frenada mecánicamente (Monark) con una rueda de 27 kg. La frecuencia de pedaleo fue establecida en 70 rpm. El test comenzó con una carga submáxima por 7 min de 103 W para los varones y 69 W para las mujeres. En el test máximo la carga se incrementó en 35 W cada 2 min hasta que el sujeto alcanzó el agotamiento, siendo la carga inicial establecida de manera que esto ocurra dentro de los 5 a 10 min de iniciado el test.

Durante los últimos 2 min del test submáximo y los últimos 2 a 5 min del test máximo, se recolectó el aire espirado en bolsas de Douglas, y los volúmenes fueron medidos con un gasómetro seco. El gasómetro fue calibrado con un espirómetro Tissot y el coeficiente de variación fue de 1,5%. En las primeras cuatro escuelas, donde se estudiaron un total de 60 estudiantes, se llenó una jeringa de 100 mL con gas de la bolsa de Douglas, y el porcentaje de O₂ y CO₂ del gas fue determinado con analizadores *Servomex* y LB-2 (*Beckmann*), respectivamente. El consumo de oxígeno fue calculado y expresado en STPD. En las escuelas restantes no hubo disponible un analizador de CO₂, pero el contenido de oxígeno fue medido con un analizador de oxígeno electroquímico (s-3a), el cual usa una pila como sensor. Durante el día se lo calibró repetidas veces con mezclas de gases conocidas. Para calcular el consumo de oxígeno durante los ejercicios máximo y submáximo, se utilizaron los valores medios del cociente de intercambio respiratorio (R) en los primeros 60 estudiantes. Los valores de R fueron 0,94±0,05 para el trabajo submáximo y 1,12±0,07 (0,97-1,23) para el trabajo máximo. Con estos valores de R y las mediciones de la ventilación (V_E) y el contenido de oxígeno del aire espirado (FeO₂), se pudo calcular el

consumo de oxígeno de acuerdo a las dos ecuaciones siguientes:

$$VO_2 \text{ máx.} = 1,0127 \cdot V_E \cdot (0,2092 - FeO_2)$$

$$VO_2 \text{ máx.} = 0,9755 \cdot V_E \cdot (0,2092 - FeO_2).$$

(Para mayores detalles ver el apéndice).

Edad (años)	16	17	18	19	16-19
Varones					
<i>N</i>	38	41	36	13	128
Talla (cm)	177,8 - 7,3	178,1 - 6,1	180,6 - 6,3	182,1 - 4,2	179,1 - 6,5
Peso (kg)	66,0 - 7,8	66,5 - 8,7	69,5 - 6,5	71,3 - 7,6	67,7 - 7,9
LBM (kg)	59,5 - 6,5	60,4 - 7,8	63,4 - 6,6	65,6 - 6,8	61,5 - 7,2
Grasa (%)	9,9 - 2,9	9,2 - 3,8	8,4 - 3,1	8,0 - 2,3	9,1 - 3,3
Cap. Vital (L)	4,9 - 0,8	4,8 - 0,8	5,2 - 0,8	4,7 - 0,7	4,9 - 0,8
V_E sub. (L.min ⁻¹)	41,6 - 8,1	40,8 - 8,9	41,7 - 7,7	38,1 - 6,9	40,9 - 8,1
VO_2 sub. (L.min ⁻¹)	1,54 - 0,15	1,59 - 0,16	1,57 - 0,10	1,59 - 0,21	1,57 - 0,15
V_E máx. (L.min ⁻¹)	117 - 20	112 - 21	120 - 20	124 - 25	177 - 21
VO_2 máx. (L.min ⁻¹)	3,35 - 0,43	3,43 - 0,62	3,62 - 0,49	3,66 - 0,33	3,48 - 0,52
Pot. aer. (mL.min ⁻¹ .kg ⁻¹)	51,6 - 5,1	51,4 - 6,4	52,2 - 5,8	51,6 - 5,7	51,7 - 5,8
Índice de ap. fís., VO_2 máx./LBM (mL.min ⁻¹ .kg ⁻¹)	56,3 - 4,3	56,8 - 5,7	57,1 - 5,9	55,8 - 5,1	56,6 - 5,3
M.P.O. (W)	278 - 33	276 - 49	303 - 43	303 - 29	287 - 43
Mujeres					
<i>n</i>	42	64	46	13	156
Talla (cm)	168,2 - 4,9	167,1 - 6,9	169,0 - 6,0	168,2 - 8,1	168,0 - 6,3
Peso (kg)	57,8 - 8,2	58,9 - 9,1	61,1 - 7,2	63,2 - 13	59,6 - 8,9
LBM (kg)	47,0 - 5,7	47,3 - 7,4	49,1 - 5,8	50,3 - 10	47,9 - 6,9
Grasa (%)	18,1 - 4,7	19,3 - 5,4	19,2 - 4,4	20,3 - 5,4	19,1 - 4,9
Cap. Vital (L)	3,6 - 0,6	3,6 - 0,5	3,7 - 0,7	3,8 - 0,8	3,6 - 0,6
V_E sub. (L.min ⁻¹)	34,7 - 9,7	31,8 - 6,4	34,4 - 7,0	32,5 - 6,9	33,3 - 7,5
VO_2 sub. (L.min ⁻¹)	1,18 - 0,13	1,15 - 0,16	1,17 - 0,13	1,20 - 0,10	1,16 - 0,14
V_E máx. (L.min ⁻¹)	84 - 13	82 - 15	86 - 14	86 - 17	84 - 14
VO_2 máx. (L.min ⁻¹)	2,36 - 0,34	2,32 - 0,36	2,41 - 0,35	2,43 - 0,43	2,37 - 0,36
Pot. aer. (mL.min ⁻¹ .kg ⁻¹)	41,2 - 4,9	39,5 - 5,3	39,9 - 5,3	38,8 - 4,0	40,0 - 5,1
Índice de ap. fís., VO_2 máx./LBM (mL.min ⁻¹ .kg ⁻¹)	50,0 - 3,4	49,0 - 4,3	49,1 - 4,3	48,3 - 3,1	49,5 - 4,0
M.P.O. (W)	197 - 36	201 - 39	209 - 38	198 - 60	202 - 39

Tabla 1. Variables morfológicas, valores medios-DS. LBM=masa corporal magra; Cap. Vital=capacidad vital; V_E sub.= tasa ventilatoria de ejercicio submáximo; VO_2 sub.=consumo de oxígeno en el ejercicio submáximo; V_E máx.=tasa ventilatoria en el ejercicio máximo; pot. aer. máx.=potencia aeróbica máxima; Índ. de ap. fís.= índice de aptitud física; M.P.O.= producción de potencia máxima.

Para garantizar que se alcanzó el máximo nivel de consumo de oxígeno, la prueba fue controlada de forma que el VO_2 estuviese estabilizado durante las últimas cargas de trabajo. En pocos casos esto no se produjo. En estas situaciones, para que los resultados sean aceptados como valores máximos, fueron requeridos una frecuencia cardíaca (FC) por arriba de 185 y un rendimiento energético anaeróbico de más del 20% del total de la producción de energía en el test máximo.

La FC del test submáximo fue usada para calcular el VO_2 máx. indirectamente. Se usaron tres métodos: uno fue la extrapolación de la respuesta de la frecuencia cardíaca a una FC máxima fija de 202 lat.min⁻¹ para los varones y de 206 lat.min⁻¹ para las mujeres, usando una FC de reposo de 61 lat.min⁻¹ y de 64 lat.min⁻¹, respectivamente. Se supuso la

linealidad entre la FC y la tasa de trabajo y la eficiencia mecánica fue establecida al 20%. Este procedimiento nos permitió comparar nuestros resultados con un estudio anterior de escolares de Dinamarca (Lammert, 1975). Además, el VO_2 máx. fue calculado con el nomograma de Åstrand (1960) usando o la carga de trabajo y la frecuencia cardíaca o el consumo de oxígeno submáximo medido y la FC.

RESULTADOS

Los valores medios de talla para los varones y mujeres fueron 179,1 cm y 168,0 cm, sus pesos medios fueron 67,7 kg y 59,6 kg, el contenido de grasa medio fue de 9,1% y 19,1% y la capacidad vital fue de 4,9 L y 3,6 L (BTPS), respectivamente (Tabla 1).

El valor medio total de la potencia aeróbica máxima fue de 3,48 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ para los varones y de 2,37 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ para las mujeres. Teniendo en cuenta el peso, los valores fueron de 51,7 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ y 40,0 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivamente. Fue anticipado que entre las edades de 16 a 19 años podría ocurrir una reducción bastante grande en la potencia aeróbica por unidad de peso corporal. Este no fue el caso. Los valores medios de los varones fueron los mismos en los cuatro grupos etarios estudiados. En las mujeres, el porcentaje de aumento de peso a través de estos años fue mayor que el aumento en el VO_2 máx. ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$), lo que explica la pequeña reducción en la potencia aeróbica máxima observada en relación al peso ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$). Comparando los sexos, la diferencia en el VO_2 máx. por unidad de peso corporal fue de alrededor de 23% (51,7 y 40,0 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ para los varones y las chicas respectivamente), y este fue el caso también para las variables relacionadas como la ventilación y la máxima producción de potencia. Sin embargo, la FC máxima fue similar en ambos sexos.

	Varones	Mujeres
Potencia aeróbica medida en forma directa	51,7 - 5,7	40,0 - 5,1
Estimada a través del método de Lammerts (1975)	46,3 - 8,2	35,1 - 7,5
Estimada a través de la carga de trabajo mediante el nomograma de Åstrand	42,6 - 9,5	37,2 - 14,5
Estimada a través del VO_2 sub. mediante el nomograma de Åstrand	42,5 - 8,4	37,8 - 11,5

Tabla 2. Potencia aeróbica estimada en forma indirecta ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$). Todos los valores están presentados como valores medios-DS. Notar que todos los valores estimados son significativamente más bajos ($p < 0,05$) que el valor de potencia aeróbica medida.

Los valores de VO_2 máx. calculados partir de la frecuencia cardíaca del test submáximo a través del método usado por Lammert (1975) fueron de 46,3 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ para los varones y de 35,1 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ para las mujeres (Tabla 2). La estimación del VO_2 máx. a partir del nomograma de Åstrand (1960) dio valores de 42,5 y 37,2 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ para los varones y las mujeres, respectivamente, y usando los valores observados de VO_2 submáximo, se encontraron en los dos sexos valores de 42,5 y 37,7 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Las correlaciones entre el VO_2 máx. y las variables de tamaño (peso, masa corporal magra (LBM), talla y capacidad vital) fueron positivas, tanto para los varones como para las mujeres. No hubo correlaciones entre las variables de aptitud física y tamaño para los varones, y las correlaciones fueron negativas para las mujeres. Se encontró una correlación positiva entre la aptitud física y la fuerza de piernas en los varones, pero no se encontró tal correlación en las mujeres. El mejor coeficiente de correlación para el VO_2 máx. fue encontrado con la máxima producción de potencia (0,80). La correlación entre el VO_2 máx. y el peso fue mejor que entre el VO_2 máx. y el VO_2 máx. estimado en forma indirecta (0,65 y 0,50 respectivamente).

DISCUSION

Las principales conclusiones de este estudio indican que en una muestra representativa de escolares (80% de todas las personas de esa edad), los varones tuvieron una potencia aeróbica más elevada, de hasta $51,7 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$, y tan importante como eso es que no hubo signos de reducción desde los 16 a los 19 años. Las mujeres tuvieron una potencia aeróbica ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) un 23% más baja que los varones y mostraron una pequeña reducción de los 16 a los 19 años.

Estos resultados no fueron anticipados teniendo en cuenta reportes anteriores (Lammert 1975; Schnohr y col. 1977), y de una encuesta bastante convincente que mostró una marcada disminución en la participación deportiva y en la actividad física entre los adolescentes de mayor edad (Engstrøm 1975).

Hay aproximadamente 10 años entre el presente estudio y el trabajo citado. El enlace entre la potencia aeróbica máxima y el nivel de actividad física es sostenido por un estudio de niños no videntes de 8-14 años de edad. No se encontraron diferencias en el máximo consumo de oxígeno ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) entre los niños y las niñas no videntes, siendo ambos físicamente inactivos, pero los niños no videntes tuvieron valores significativamente más bajos que otros niños y niñas (Sundberg 1982). Existe la posibilidad de que el nivel de aptitud física considerablemente más alto observado entre los adolescentes varones a la fecha sea el resultado de la toma de conciencia del posible valor de que los sujetos sean físicamente activos, un punto enfatizado tanto teóricamente como prácticamente en el sistema escolar danés. Respecto a esto, es para observar que los valores medios de consumo de oxígeno observados considerablemente altos entre los adolescentes varones no es el resultado de tener valores muy altos y otros muy bajos. En lugar de esto, se presenta una variación interindividual pequeña con un promedio del 80% de los varones con valores entre los 45 y $59 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$, y ninguno por debajo de los $36 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Es siempre cuestionable si el grupo seleccionado es realmente representativo de los escolares daneses, así como puede ser cuestionado si se alcanzaron sus máximos consumos de oxígeno. El presente grupo fue seleccionado al azar de un gran grupo (515 varones y 670 chicas) respecto del que son comparables en términos de antropometría, características funcionales y de rendimiento, incluyendo la respuesta de la frecuencia cardíaca submáxima y la máxima producción de potencia. En ningún aspecto hubo una diferencia entre la muestra principal y los sujetos reportados aquí: los valores del grupo principal y del grupo seleccionado de respuesta de la FC submáxima fueron de $141,4 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$ y $139,0 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$ para los varones y de $145,0$ y $146,0 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$ para las mujeres y los de producción de potencia máxima fueron de 266 W y de 265 W para los varones y de 190 W y 195 W para las chicas. Más aún, para el grupo de menor edad, las comparaciones pueden hacerse con la mayoría de las clases de secundario (4500 varones y 6000 mujeres). Las comparaciones revelan valores medios e intervalos casi idénticos para la respuesta de la FC submáxima (los valores medios de la FC submáxima en el último grupo fueron de $141,5 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$ para los varones y de $143,0 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$ para las mujeres).

Los resultados obtenidos a partir del método usado para medir el VO_2 máx. son altamente reproducibles, y el error de medición es de $\pm 2\%$ (ver apéndice). Una cuestión sobre la metodología está relacionada al uso del ejercicio en bicicleta, lo que podría traer como consecuencia que se obtuvieran valores ligeramente más bajos que si se hubiera empleado el ejercicio en cinta rodante. Los daneses y especialmente los escolares, andan en bicicleta diariamente, lo que debe significar que la subestimación del consumo máximo de oxígeno real es insignificante ($< 5\%$; Hermansen y Saltin 1969; Shephard y col. 1968).

Sobre lo dicho acerca de la metodología relacionada a estudios de estudiantes mujeres. Las mujeres, a diferencia de los varones, no tienen un nivel de aptitud física muy alto, siendo sus valores medios de solo $40 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. Además, fue reportada una reducción en la aptitud física a lo largo de los cuatro años, ya que las chicas tuvieron una ganancia relativamente mayor en el peso, con una masa magra sin cambios, que en la potencia aeróbica máxima.

También a diferencia de los varones, muchas de las chicas fueron consideradas como no aptas, ya que un 15% tuvo valores máximos por debajo de los $35 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. No hay explicaciones evidentes sobre esta marcada diferencia entre el nivel de aptitud física entre varones y mujeres. Especialmente porque el deporte en el sistema escolar danés regularmente se da conjuntamente con la educación y los varones y las mujeres tienen educación física juntos. Sin embargo, bien puede ser que las mujeres sean menos activas durante las clases de educación física que los varones, y la intensidad de sus actividades sea menor, lo que es crucial ya que el tiempo destinado a educación física es solo de 2 horas por semana ($2 \times 40 \text{ min}$) o menos. Probablemente de igual importancia sea la participación en deportes en el tiempo libre, la cual es mayor para los varones ($2,9 \text{ h}$ por semana) que para las chicas ($2,1 \text{ h}$ por semana). Una diferencia similar en la actividad deportiva de tiempo libre durante los últimos años de la adolescencia se encontró en varones y mujeres alemanes (Lange-Andersen y col., 1984). En este estudio la actividad física fue relacionada al desarrollo de la potencia aeróbica máxima.

Los resultados actuales de potencia aeróbica máxima ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) están comparados en la Figura 1 con los sujetos de 16

a 19 años de edad en estudios similares.

No puede hacerse una comparación directa, ya que en los estudios expuestos se han usado distintos modelos de ejercicio, y el tamaño de la muestra y los procedimientos de selección hacen incierta la representatividad de los distintos estudios. Con todas estas restricciones en mente, es notable que los varones del estudio actual tengan un nivel de aptitud física tan similar a los del material de Robinson y Åstrand, especialmente teniendo en cuenta que estos últimos estudios usaron ejercicio en cinta rodante y muestras de sujetos seleccionadas. Aunque los valores de las mujeres en este estudio sean bastante bajos en comparación con los de los varones, siguen siendo similares a los de las mujeres de la misma edad de otros países, y en cuanto a los varones, la tendencia hacia valores altos puede verse cuando son comparados con estudios de hace 10 años (Lammert, 1975).

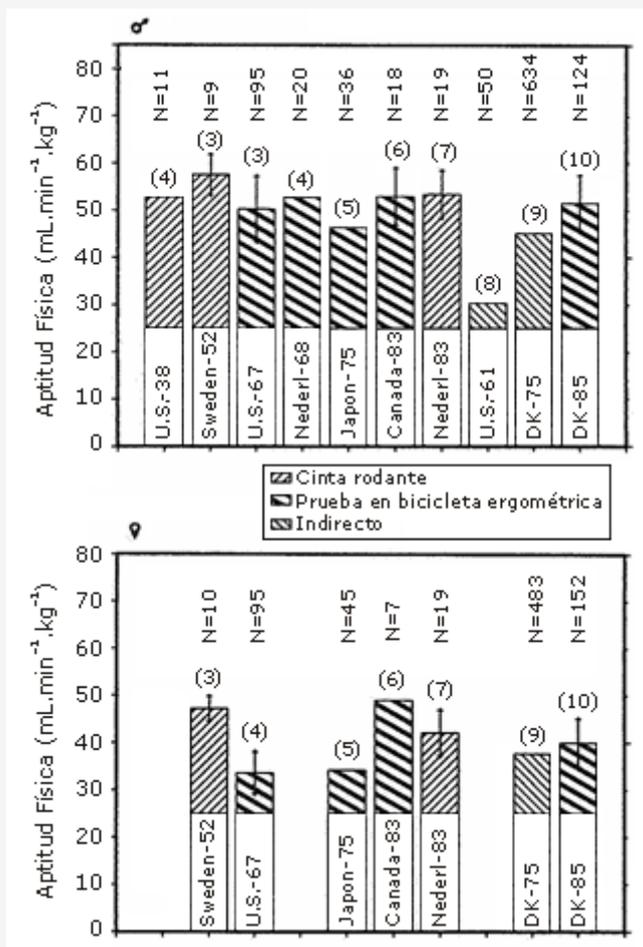


Figura 1. Comparación de la potencia aeróbica máxima (mL.min⁻¹.kg⁻¹) en diferentes estudios: (1) Robinson (1938); (2) Åstrand (1952); (3) Knuttgen (1967); (4) Bink y Wafelbakker (1968); (5) Taguchi y col. (1978); (6) Macdougall y col. (1983); (7) Saris (1982); (8) Rodahl y col. (1961); (9) Lammert (1975) y (10) datos actuales.

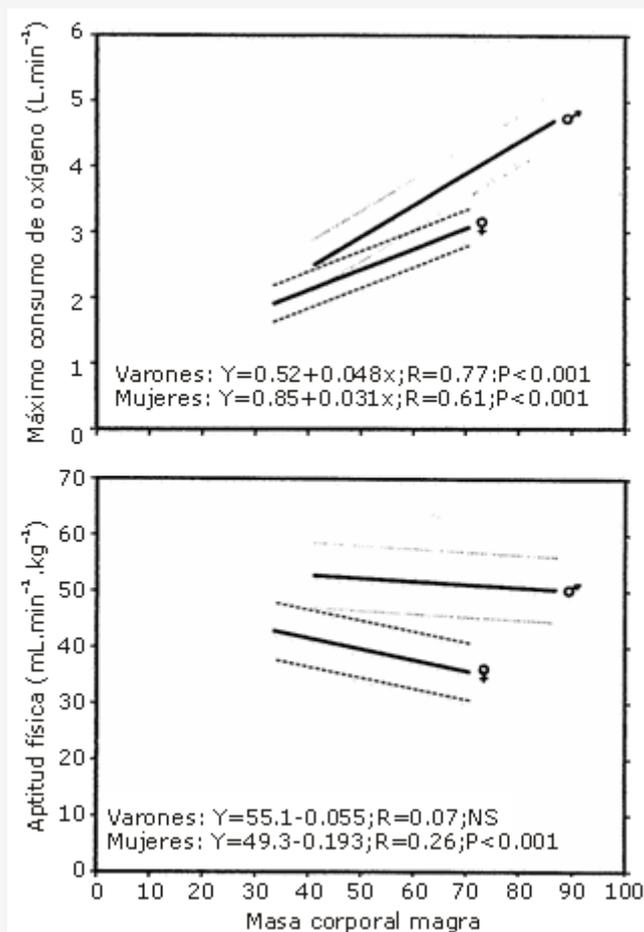


Figura 2. Relación entre potencia aeróbica máxima y masa corporal magra para varones y mujeres (\pm DS).

Los datos de máximo consumo de oxígeno pueden ser expresados de distintas maneras. Si los valores están dados en $L \cdot \text{min}^{-1}$ o en términos del peso corporal, depende principalmente del propósito de uso de los valores. Otra posibilidad es expresar la capacidad aeróbica máxima en términos de LBM, un concepto preferido por muchos fisiólogos como consumo máximo de oxígeno en muchos estudios, de manera que claramente lo relacionan a la LBM (Von Döbeln 1956a; Burmeister y col. 1972; Sloan y col. 1973). Aunque este es el caso, nos inclinamos a pensar lo mismo que Lange-Andersen y cols. (1974), lo cual implica que el asunto es más complejo.

Los varones tienen una capacidad aeróbica máxima más elevada que las mujeres, y las mujeres más livianas tienen una mayor capacidad que las mujeres más pesadas, ambos en relación al peso y a la LBM. Esto significa que con la misma masa muscular, más oxígeno es consumido por los varones que por las mujeres, y más en una mujer liviana que en una pesada. Esta diferencia entre varones y mujeres no puede explicarse en términos de diferencias en el contenido de hemoglobina solamente, donde los varones tienen valores 9% mayores que las mujeres ($10,3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ y $9,4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$). Esto puede ser además corroborado comparando los varones y las chicas después de dividirlos en grupos de bajo y alto nivel de aptitud física (Tabla 3). Primero puede verse que los varones aptos pesaban lo mismo y tenían aproximadamente la misma LBM que los varones del grupo de menor aptitud física, pero tenían un consumo de oxígeno de $15 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, o 31%, más alto. Esto sugeriría que hay una diferencia cualitativa en la capacidad del tejido muscular para captar oxígeno, lo que podría explicarse en base a una mayor densidad capilar en los músculos de los varones que de las chicas y una mayor densidad en los sujetos entrenados en comparación con los no entrenados (Ingjer 1979; Klausen y col. 1981; Nygård 1981). Además, la actividad muscular causa un aumento en las enzimas mitocondriales (Henriksson y Reitman 1977). Aunque la calidad de los músculos mejora con el entrenamiento, es dudoso si la limitación del máximo consumo de oxígeno yace en la capacidad del músculo esquelético para consumir oxígeno. Más bien es la capacidad del corazón de transportar oxígeno lo que limita el ejercicio de todo el cuerpo cuando se corre o pedalea en bicicleta (Saltin 1985). La importancia de la adaptación local del músculo puede ser estar relacionada a la mejora de la capacidad de resistencia (Saltin y Gollnisch 1983). Esto implica entonces que la actividad física realizada por los adolescentes daneses "aptos" produce una mejora en su sistema cardiovascular. Es notable que los varones aptos, en contraste con las chicas aptas, parece que intervienen en un amplio espectro de actividades, y muestran correlaciones estrechas con otras características del rendimiento físico como la fuerza

muscular (Tabla 3).

Teóricamente el peso y la potencia aeróbica aumentarían con el cubo de la talla (H) (von Døbeln 1956b; Asmussen y Heebøll-Nielsen 1955). En la práctica el peso aumentó a razón de $H^{1,82}$ para los varones y $H^{2,21}$ para las chicas y el consumo máximo de oxígeno ($L \cdot \text{min}^{-1}$) aumentó a razón de $H^{1,27}$ y $H^{1,75}$ respectivamente (Tabla 4). Estos valores son menores que los esperados como valores teóricos y que los obtenidos por Asmussen y Heebøll-Nielsen (1955) quienes obtuvieron $H^{2,68}$ para el peso y $H^{2,90}$ para el consumo máximo de oxígeno ($L \cdot \text{min}^{-1}$) en varones de 7-17 años de edad.

Grupo de menor aptitud física		Grupo de mayor aptitud física	
Capacidad vital (L)			
Varones	4,7 - 0,7	4,8 - 0,7	
Mujeres	3,8 - 0,6	3,5 - 0,7	
Peso (kg)			
Varones	66,9 - 9,3	66,8 - 8,1	
Mujeres	64,1 - 10,6	56,7 - 7,1	p<0,001
LBM (kg)			
Varones	60,3	61,3	
Mujeres	51,1	47,0	p<0,001
% de Grasa (%)			
Varones	9,9 - 4,0	8,3 - 3,5	
Mujeres	20,3 - 2,2	17,1 - 3,6	p<0,01
Talla (cm)			
Varones	180,4 - 5,7	178,5 - 6,0	
Mujeres	170,8 - 6,2	168,6 - 5,9	
Fuerza en extensores de rodilla (N)			
Varones	510 - 109	578 - 114	p<0,05
Mujeres	414 - 103	410 - 91	
VO₂ máx. (L.min⁻¹)			
Varones	2,91 - 0,42	3,90 - 0,49	p<0,001
Mujeres	2,18 - 0,35	2,62 - 0,33	p<0,001

Tabla 3. Valores del 25% de los sujetos con la menor aptitud física comparados con el 25% de los sujetos con la mayor aptitud física. El valor de aptitud física medio en los dos grupos de varones fue de 43,5 y 58,4 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, y de las mujeres fue de 33,9 y 46,4 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (LBM= masa corporal magra).

Una explicación podría ser que durante el pico de crecimiento y la pubertad, el incremento en la talla precede a la ganancia de peso. No todos los varones valorados habrían tenido su aumento de peso. La relación del VO_2 máx. y el peso (Wt) fue $Wt^{0,85}$ para los varones y $Wt^{0,64}$ para las chicas. Esto muestra que la capacidad aeróbica está más estrechamente relacionada al peso que a la talla aún durante el pico de crecimiento de la pubertad, y esto es especialmente perceptible entre las chicas. Las chicas más pesadas tienen una capacidad aeróbica menor ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) que las más livianas.

Las estimaciones del VO_2 máx. a partir de la respuesta de la FC al ejercicio submáximo han sido muy usadas, y son frecuentemente aplicadas a estudios poblacionales.

f	h	b		
		Varones	Mujeres	Valor Esperado
Peso (kg)	Talla (cm)	1,82 p<0,001	2,21 p<0,001	3
VO ₂ máx. ($L \cdot \text{min}^{-1}$)	Talla (cm)	1,27 p<0,001	1,75 p<0,001	3
VO ₂ máx. ($L \cdot \text{min}^{-1}$)	Talla (cm)	0,85 p<0,001	0,64 p<0,001	1
VO ₂ máx. ($L \cdot \text{min}^{-1}$)	LBM (kg)	0,66 p<0,001	0,65 p<0,001	1

Tabla 4. Valores de b en la ecuación $f=a.h^b$ (VO_2 es el consumo máximo de oxígeno), ver el texto.

Aunque la validez de tales procedimientos ha resultado satisfactoria (von Döbeln y col. (1967); Kavanagh y Shephard 1976), presenta un grado de desconcierto. Los datos actuales permiten realizar una comparación entre los valores estimados para el máximo consumo de oxígeno y los valores determinados en forma directa en 319 sujetos. Para nuestra sorpresa los valores estimados en forma indirecta usando el nomograma de Åstrand alcanzaron solo el 82% y 91% de los valores medidos en forma directa para los varones y para las mujeres respectivamente, pero se ajustan a los hallazgos de Rowell y col. (1964). Las desviaciones estándar de las diferencias entre los valores indirectos y directos fueron bastante grandes, indicando poca concordancia interindividual (14-16%) para los varones y 18-34% para las mujeres. No está clara la razón por la cual fallamos en obtener mayor concordancia, pero puede haber sido que las condiciones bajo las cuales se realizó la prueba submáxima fueran menos óptimas: por ejemplo, los sujetos no estaban acostumbrados a respirar a través de una boquilla, lo que estuvo reflejado en los valores respiratorios submáximos, y pudieron haber hecho una ingesta liviana justo antes del ejercicio. La incertidumbre de las estimaciones del VO_2 máx. a partir de nuestros datos submáximos es lamentable, ya que limita la capacidad para comparar nuestros datos con los datos de escolares daneses recolectados por Lammert (1975) 13 años antes que los nuestros.

Usamos un procedimiento diferente al sugerido por Åstrand para estimar el VO_2 máx. (determinando la FC de reposo y extrapolando a la FC relacionada a una edad fija, asumiendo una eficiencia mecánica del 20%). Los valores que él obtuvo fueron $45 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ para los varones y $37 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ para las mujeres, valores sustancialmente más bajos que los encontrados por nosotros. Al usar el procedimiento de Lammert (1975) para estimar el VO_2 máx., los datos actuales dieron valores de 46 y $35 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Tabla 2). Comprendiendo cierta subestimación del VO_2 máx. en el estudio de Lammert (1975), seguimos pensando que es fiable concluir que la generación actual de adolescentes mayores son tan aptos o más que los adolescentes de hace 10 a 15 años atrás.

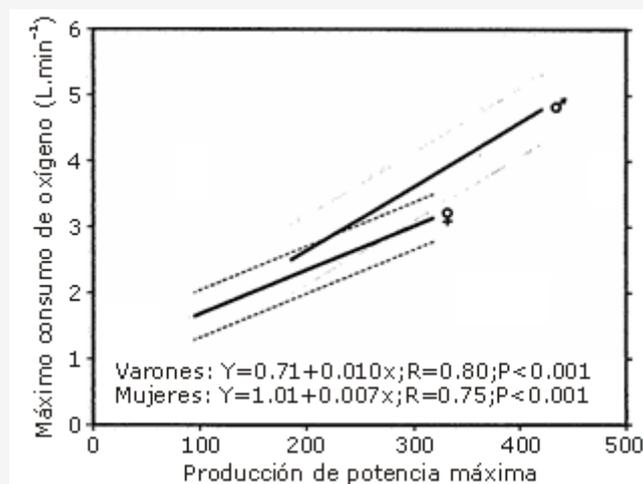


Figura 3. Relación entre el máximo consumo de oxígeno ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$) y la producción de potencia máxima en varones y mujeres (ver el texto).

El estudio actual enfatiza las dificultades encontradas al hacer estimaciones de la potencia aeróbica máxima a partir de una prueba de ejercicio submáxima.

Una alternativa cuando no se pueden hacer mediciones del máximo consumo de oxígeno en forma directa, puede ser hacer estimaciones a partir de la producción de potencia máxima en una serie de trabajo máximo. Con el protocolo actual, la producción de potencia observada podría estimar el VO_2 máx. con una exactitud de $\pm 12\%$, lo que es mejor que el valor obtenido de la prueba submáxima.

APENDICE

Reproducibilidad de los métodos y pruebas de la potencia aeróbica máxima

Se aplicaron ambos métodos en 17 estudiantes, y los valores individuales comparados dieron un coeficiente de correlación bastante bueno de 0,997 (Tabla 5).

	Valores medios - DS	Diferencia - DS	Correlación
Test Submáximo:			
VO ₂ una	1,47 - 0,23	-0,01 - 0,03	0,99
VO ₂ servo	1,48 - 0,23		
Test máximo:			
VO ₂ una	3,05 - 0,67	-0,02 - 0,03	1,00
VO ₂ servo	3,07 - 0,69		

Tabla 5. Datos de 17 tests máximos y submáximos en bicicleta ergométrica, donde se utilizaron dos diferentes procedimientos de análisis en las mismas bolsas de Douglas. VO₂ una: los resultados están dados por el analizador s-3 a y calculados con valores R fijos. VO₂ servo: resultados calculados de acuerdo a los procedimientos normales con mediciones de CO₂, ver texto. Todos los valores se presentan como valores medios-DS.

Análisis completo		Procedimiento simplificado	
VO₂ sub (L.min⁻¹)			
Varones	1,64 - 0,15	1,56 - 0,14	p<0,05
Mujeres	1,20 - 0,19	1,16 - 0,14	
VO₂ máx. (L.min⁻¹)			
Varones	3,71 - 0,53	3,43 - 0,51	p<0,05
Mujeres	2,45 - 0,40	2,34 - 0,34	
Potencia aeróbica (mL.min⁻¹.kg⁻¹)			
Varones	53,2 - 6,9	51,3 - 5,4	p<0,001
Mujeres	42,6 - 4,4	39,3 - 5,1	

Tabla 6. Datos de 26 varones y 34 chicas de las primeras 4 escuelas valoradas, donde se midió (análisis completo) tanto el O₂ como el CO₂ en el aire espirado, y datos de 98 varones y 118 chicas de las otras escuelas, donde solo fue medido el O₂ (procedimiento simplificado), ver el texto. Todos los valores están presentados como valores medios y DS.

En la Tabla 6 se presentan los valores medios de consumo de oxígeno de los primeros 60 estudiantes y de los alumnos restantes. Los valores medios de los dos grupos son similares, con valores ligeramente mayores para el grupo en el cual fueron determinados tanto el contenido de O₂ como el de CO₂ del aire. De este modo, parece adecuado calcular el consumo de oxígeno con este procedimiento simplificado, ya que otorga valores precisos y reproductibles.

La reproductibilidad de los tests de potencia aeróbica máxima fue estudiada volviendo a evaluar a 35 sujetos de 4 escuelas diferentes (Tabla 7). Los valores medios de frecuencia cardíaca y consumo de oxígeno en la prueba submáxima fueron los mismos en ambas ocasiones. Sin embargo, hubo una gran variación interindividual en la frecuencia cardíaca submáxima comparando la primera y segunda prueba. El DS de la media de las diferencias fue tan alto como 17 lat.min⁻¹.

Los resultados del test máximo, sin embargo, mostraron una alta reproductibilidad cuando se los valoró por segunda vez (r=0,95 para la frecuencia cardíaca y r=0,98 para el consumo máximo de oxígeno). Los valores máximos de potencia aeróbica fueron ligeramente más bajos en la segunda prueba (1,6% y 3,4%, p<0,05 y p<0,01 para la FC y el VO₂ máx. respectivamente). Una posible explicación para esto podría ser que la segunda prueba se hizo inmediatamente después de las vacaciones de Navidad.

Variable		Valor Medio-DS	Diferencia - DS	Correlación	
FC sub.	1)	145,9 - 24,2	0,4 - 17,1	0,71	L.min ⁻¹
	2)	145,5 - 18,9			
VO ₂ sub.	1)	1,79 - 0,27	0,11 - 0,35	0,38	L.min ⁻¹
	2)	1,68 - 0,34			
FC máx.	1)	195,5 - 9,5	3,1 - 8,7	0,58	Lat.min ⁻¹
	2)	192,4 - 9,4	p<0,05		
VO ₂ máx.	1)	3,05 - 0,75	0,10 - 0,23	0,96	L.min ⁻¹
	2)	2,94 - 0,79	p<0,01		
Producción de potencia máxima	1)	235,8 - 65,5	0,2 - 23,3	0,95	W
	2)	235,6 - 72,1			

Tabla 7. Datos de los tests repetidos en 35 sujetos, ver texto. 1) Mediciones en Octubre o Noviembre, 2) Mediciones en Enero o Febrero.

Agradecimientos

El estudio fue apoyado con subsidios de la Fundación Danesa del Corazón, Consejo Danés de Investigación Científica Social y Consejo Danés de Investigación Deportiva.

REFERENCIAS

- Andersen L. B., Henckel P (1986). Maximal isometric muscle strength in Danish adolescents 16-19 years of age. *Eur J Appl Physiol (in press)*
- Bink B., Wafelbakker F (1968). Physical working capacity at maximum levels of work, of boys 12-18 years of age. *Ärztl Fortbild* 62:957-961
- Burmeister W., Rutenfranz J., Sbresny W., Radny H. G (1972). Body cell mass and physical performance capacity (W 170) of schoolchildren. *Int Z Angew Physiol* 31:61-70
- Henriksson J., Retiman J. S (1977). Time course of changes in human skeletal muscle succinate dehydrogenase and cytochrome oxidase activities and maximal oxygen uptake with physical activity and inactivity. *Acta Physiol Scand* 99:91-97
- Hermansen L., Saltin B (1969). Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol* 26:31
- Hettinger T., Birkhead W. C., Horvath S. M., Issekutz B., Rodahl K (1961). Assessment of physical work capacity. *J Appl Physiol* 16:153-159
- Ingjer F (1979). Effects of endurance training on muscle fibre ATP-ase activity, capillary supply and mitochondrial content in man. *J Physiol* 294:419-432
- Kavanagh T., Shephard R. J (1976). Maximum exercise test on postcoronary patients. *J Appl Physiol* 40:611
- Klausen K., Andersen L. B. Pelle I (1981). Adaptive changes in work capacity, skeletal muscle capillarization and enzyme levels during training and detraining. *Acta Physiol Scand* 113:9-16
- Knuttgén H. G (1967). Aerobic capacity of adolescents. *J appl Physiol* 22:655-658
- Lammert O (1975). L. U. S. K. undersøgelsen 1970-71. *Tidsskr Legemsøvelser* 5:170-181
- Lange- Andersen K., Seliger V., Rutenfranz J., Mocellin R (1974). Physical performance capacity of children in Norway. *Eur J Appl Physiol* 33:177-195
- Lange- Andersen K., Ilmarinen J., Rutenfranz J., Ottmann W., Berndt I., Kylian H., Ruppel M (1984). Leisure time sport activities and maximal aerobic power during late adolescence. *Eur J Appl Physiol* 52:431-436
- Mac Dougall J. D., Roche P. D., Bar- Or O., Moroz J. R (1983). Maximal aerobic capacity of canadian schoolchildren. Prediction based on age-related oxygen cost of running. *Int J Sports Med* 4: 194-198
- Nygaard E (1981). Skeletal muscle fibre characteristics in young women. *Acta physiol scand* 112:299-304
- Robinson S (1939). Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Arbeitsphysiologi* 10:251-323
- Rowell L. B., Taylor H. L., Wang Y (1964). Limitations to prediction of maximal oxygen uptake. *J Appl Physiol* 19:919
- Saltin B., Gollnich P. D (1983). Skeletal muscle adaptability: Significance for metabolism and performance. Chapter 19. In *Handbook of physiology, Peachey and Adrian Baltimore*
- Saltin B (1985). Hemodynamic adaptations to exercise. *Am J Cardiol* 55:42D-47D
- Saris W. H. M (1982). Aerobic power of healthy 4-18 years old dutch children. Ph. D. *Thesis Katholieke Universiteit te Nijmegen*
- Shephard R. J., Allen C., Benade A. J. S., Davies C. T. M., Prampero P. E., Hedman R., Merriman J. E., Myhre K., Simmons R (1968). The maximum oxygen intake. *Bull Wid Health Org* 38:757-764
- Sloan A. W., Koeslag J. H., Bredell G. A. D (1973). Body composition, work capacity, and work efficiency of active and inactive

young men. *Eur J Appl Physiol* 32:17-24

23. Sundberg S (1982). Maximal Oxygen uptake in relation to age in blind and normal boys and girls. *Acta Paediatr Scand* 71:603-608

24. Taguchi S., Hata Y., Ikuta K., Miyashita M (1975). Age and sex trends in aerobic capacity related to lean body mass of japanese from childhood to maturity. In Landry F, Orban WAR (eds) Exercise physiology. *Simposia Specialists, Miami pp 581-588*

Cita Original

Andersen Lars Bo, Poul Henckel, y Bengt Saltin. Maximal Oxygen Uptake in Danish Adolescents 16-19 years of age. *Eur J Appl Physiol*; 56, 74-82, 1987.