



**CONSUMO MÁXIMO DE OXIGENO EN NIÑOS Y ADOLESCENTES
ENTRENADOS Y NO ENTRENADOS**

Autor

JUAN DAVID SÁNCHEZ SERNA

**Trabajo presentado como requisito para optar por el
título de Magister en Actividad Física y Salud**

Director

DIANA MARCELA RAMOS CABALLERO

Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud

Maestría en Actividad Física y Salud

Universidad del Rosario

Bogotá - Colombia

2020

CONSUMO MÁXIMO DE OXÍGENO EN NIÑOS Y ADOLESCENTES ENTRENADOS Y NO ENTRENADOS

Estudiante: Juan David Sánchez Serna

Directora: Diana Marcela Ramos Caballero. Profesora de Carrera. Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud. Universidad del Rosario

Codirectora: Erica Mabel Mancera Soto. Profesora Asociada. Facultad de Medicina. Universidad Nacional de Colombia

INTRODUCCIÓN

La condición física aeróbica puede ser definida como la capacidad de transportar oxígeno a los músculos activos y de utilizarlo para generar energía durante el ejercicio, por tanto, depende de los componentes pulmonares, cardiovasculares y hematológicos de la entrega de oxígeno y los mecanismos oxidativos del músculo en ejercicio. El consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{max}$) es la tasa más alta a la que una persona puede utilizar el oxígeno durante el ejercicio, ampliamente reconocida como la mejor medida de la potencia aeróbica en adultos, niños y adolescentes^{1,2}. En niños y adolescentes existen algunas investigaciones en relación al efecto de la maduración biológica sobre el $VO_2\text{max}$. Sin embargo, a la fecha existen pocos datos representativos desde edades tempranas hasta la adolescencia ajustado a las condiciones propias de nuestro país.

El $VO_2\text{max}$ varía entre niños y adultos, siendo condicionado por componentes celulares, hormonales, músculo-esqueléticos, cardiovasculares y ambientales³. Está bien establecido que el $VO_2\text{max}$ incrementa con la edad durante la niñez y la adolescencia y está estrechamente relacionado con los cambios en la estatura, en el peso corporal, la composición corporal y la actividad hormonal, es decir con los cambios asociados al proceso de maduración biológica⁴. Conforme los niños crecen, también maduran y las respuestas fisiológicas deben ser consideradas en relación a la diversidad biológica y la edad cronológica. De esta forma, la pubertad es un período dinámico de cambios en el tamaño corporal, la forma y la composición, que en parte determinan las diferencias en el comportamiento del $VO_2\text{max}$ entre niños y niñas.

La variación constante de las características morfológicas y fisiológicas entre niños y niñas durante el período de maduración se ha convertido en una dificultad a la hora de evaluar a través de métodos directos el $VO_2\text{max}$ en esta población, así como para establecer valores de referencia, tanto en hombres como mujeres y de acuerdo a su estado de maduración. También se ha demostrado que el entrenamiento físico es otra variable que determina el $VO_2\text{max}$. El entrenamiento de resistencia no ha demostrado tener un efecto sobre el $VO_2\text{max}$ antes de los 11 años o en estadios de maduración I y II según la escala de Tanner⁵, mientras que a partir de la pubertad, se observa un incremento en el $VO_2\text{max}$ en los hombres, lo cual sugiere que existe una mayor entrenabilidad del sistema cardiovascular y de transporte de oxígeno⁶; situación que puede estar relacionada con los procesos de maduración. De tal forma, tanto la maduración como el entrenamiento son factores que deben ser tenidos en cuenta en la evaluación y caracterización del $VO_2\text{max}$ en población preadolescente y adolescente, lo cual para nuestro conocimiento, no ha sido bien estudiado. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue caracterizar el consumo

máximo de oxígeno en niños y adolescentes, hombres y mujeres, de acuerdo al estado de maduración biológica y entrenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

MÉTODOS

Diseño del estudio

El presente es un estudio transversal, descriptivo y comparativo del $VO_2\text{max}$, y sus variables asociadas (frecuencia cardíaca máxima, umbral ventilatorio y potencia máxima), en 203 niños y adolescentes de ambos sexos, Tanner I-V en la escala de maduración sexual, entrenados en deportes de resistencia (Atletismo, ciclismo de ruta, ciclomontañismo y patinaje) y controles no entrenados, residentes en baja altitud (<1000 msnm).

Sujetos

Se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, en el que se seleccionaron del estudio de Mancera, (2018) 203 niños y adolescentes, 88 mujeres y 115 hombres, luego de obtener su asentimiento informado y el consentimiento informado por parte de los padres de familia. Los procedimientos fueron aprobados por el Comité de Ética de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, según acta 06 de 2015 y siguieron las recomendaciones de la Declaración de Helsinki.

Se incluyeron niños y adolescentes de ambos sexos, residentes en baja altitud (BA) (menor a 1000 m.s.n.m) entrenados y no entrenados en deportes de resistencia, con edades comprendidas entre los 9 y 18 años y se clasificaron de I a V de acuerdo a su estadio de maduración sexual según la escala de Tanner. Aquellos clasificados en los estadios I y II fueron considerados preadolescentes y III a V como adolescentes.

Los participantes reportaron haber nacido y vivido o vivido mínimo 5 años en BA y no haberse desplazado a una altitud diferente por más de una semana en el último año. Los grupos de entrenados en deportes de resistencia pertenecían a las ligas de ciclismo, ciclomontañismo, patinaje (modalidades de semifondo y fondo), atletismo (modalidades de semifondo, fondo y marcha atlética); cumplían con una edad deportiva mínima de un año y un volumen de entrenamiento igual o superior a 6 horas, con una frecuencia mínima de 3 veces por semana. Los grupos de no entrenados solamente reportaron la actividad física relacionada con las clases de educación física del colegio.

Se excluyeron niños y adolescentes que presentaron dentro del examen médico signos de enfermedad o diagnósticos que impidieran la realización de los procedimientos o que interfirieran con el comportamiento de las variables de estudio. También a aquellos que habían suspendido el entrenamiento físico por más de una semana en los últimos dos meses previos a las evaluaciones y las mujeres que planificaban con métodos hormonales. Luego de aplicar todos los criterios de inclusión y exclusión se obtuvo la muestra de 203 participantes.

Procedimientos

Los participantes completaron en diferentes días los siguientes procedimientos: 1) Día 1: examen médico y de aptitud física y evaluación antropométrica 2) día 2: Determinación del VO₂max por medio de ergoespirometría, en cicloergómetro para ciclistas, ciclomontañistas y patinadores y en banda sin fin para atletas. Se indagó a los participantes sobre el tiempo de residencia en BA y las características del entrenamiento, en relación con la edad deportiva, intensidad, frecuencia y volumen diario y semanal. Se les recomendó a los participantes no realizar ejercicio físico dentro de las 24 horas previas a las evaluaciones.

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de fisiología del ejercicio de la Unidad Central del Valle (UCEVA), en la ciudad de Tuluá, la cual está situada a 960 m.s.n.m.

Examen médico y de aptitud física y evaluación de la maduración biológica

Un médico deportólogo realizó a los participantes una evaluación médica para verificar su condición de salud, indagó sobre la existencia de factores de riesgo para la práctica deportiva y les realizó un electrocardiograma en reposo, de 12 derivaciones. El estado de maduración biológica se evaluó por el método de coevaluación y utilizando la escala de maduración de Tanner (18), a través de la cual se evaluaron las características sexuales externas primarias y secundarias, para clasificar a los participantes en un estadio de I a V según el tamaño de las mamas, genitales, volumen testicular y el desarrollo del vello púbico y axilar.

Evaluación antropométrica

Se realizó por el método de 5 componentes y se determinaron las masas del tejido muscular, adiposo, de la piel, hueso y masa residual. Se realizó medición del peso corporal, estatura, talla sentado y pliegues cutáneos (triceps, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo y pantorrilla medial). El porcentaje de grasa corporal y la masa libre de grasa (MLG) fueron calculadas con ecuaciones específicas para la edad de los participantes. Esta valoración fue realizada por una nutricionista dietista, certificada en ISAK II.

Determinación del consumo máximo de oxígeno (VO₂max)

Puesto que no existen protocolos para la determinación del VO₂max en niños y adolescentes entrenados y/o no entrenados, que tengan en cuenta sus diferencias biológicas y en el caso de los entrenados, las particularidades del deporte, se propusieron protocolos para la medición directa del VO₂max de acuerdo a la edad, sexo y deporte practicado (Mancera-Soto, 2019). Su elaboración fue realizada a partir de la revisión de la literatura científica y de la consulta con expertos. Se realizaron pruebas piloto para establecer la tolerancia y pertinencia de los protocolos propuestos. En la **Tabla 1** se describen las características de la intensidad inicial de la carga, su incremento en cada etapa (con una duración de 1 minuto) y el ergómetro utilizado según la población. Los atletas fueron evaluados en una banda sin fin (HP Cosmos Quasar), los ciclistas, ciclomontañistas, patinadores y sujetos no entrenados en un cicloergómetro (Monark Ergomedic 839, Suecia). En todas las pruebas se realizó un calentamiento de 3 minutos con una intensidad de la carga inferior a la inicial. La prueba fue finalizada cuando el sujeto hacía la señal de máximo agotamiento posible, no lograba mantener el gesto de la carrera o el equilibrio (en las pruebas en banda) o no podía mantener una cadencia de pedaleo de 60 r.p.m. o más (en cicloergómetro). Se establecieron como criterios de haber alcanzado el VO₂max: 1) Aparición de una meseta en el VO₂,

a pesar del incremento en la intensidad de la carga, 2) frecuencia cardiaca superior a 180 lpm o estabilización de la misma en las etapas finales del test y 3) cociente respiratorio (QR) >1.1 (32).

Se realizaron mediciones directas, de intensidad incremental y maximales mediante un ergoespirómetro Cosmed (Modelo Quark CPET, Italia) y utilizando un cicloergómetro Monark Ergonomic 839 y una banda sin fin (HP Cosmos Quasar). Los equipos fueron calibrados antes de las determinaciones según las indicaciones del fabricante. Los sujetos fueron habituados a las condiciones del laboratorio y a los protocolos de evaluación previo a las pruebas definitivas.

Tabla 1. Protocolos para la determinación del VO_{2max}

Categoría	Sexo / edad	Carga inicial	Incremento	Ergómetro
Atletas	H > 14 años	9 Km/h, 1° in.	0,5 Km/h	Banda sin fin
	M > 14 años	8 Km/h, 1° in.	0,5 km/h	
	H y M < 14 años	5 Km/h, 1° in.	0,5 Km/h	
Ciclistas y Patinadores	H > 14 años	Ciclistas: 100 w Patinadores y Ciclomontañistas: 70 w	15 w	Cicloergómetro
	M > 14 años	Ciclistas: 70 w Patinadores y Ciclomontañistas: 50 w	10 w	
	H y M < 14 años	30 w	5 w	
	H > 14 años	30 w	10 w	
NE	M > 14 años	30 w	5 w	Cicloergómetro
	H y M < 14 años	20 w	5 w	

NE, no entrenados, H, hombres, M, mujeres.

Análisis Estadístico

Se llevaron a cabo análisis descriptivos para presentar la información por grupos, según sexo, condición de entrenamiento y estadio de Tanner clasificados en preadolescentes (Tanner I y II) y adolescentes (Tanner III, IV y V). Los datos son presentados en medias y desviaciones estándar. Se corrieron pruebas de normalidad para las variables cuantitativas con Shapiro-Wilk cuando el grupo es menor a un n de 30 y Kolmogorov-Smirnov cuando el grupo es mayor a 30.

Posteriormente se llevaron a cabo pruebas de comparación de medias o de las distribuciones entre las variables, según el estadístico de normalidad en todos los grupos analizados. En caso de lograr una distribución normal, se aplicó la prueba de T student para grupos independientes, de lo contrario, la prueba no paramétrica de la U de Mann-Whitney era la seleccionada. Los datos son presentados en tablas y gráficas, éstas últimas para las variables que obtuvieron un nivel de

significancia de $p \leq 0,05$. La información fue analizada empleando el software IBMSPSS versión 25 (Licencia Universidad del Rosario)

RESULTADOS

Las tablas 1A y 1B muestran las características de las mujeres preadolescentes y adolescentes respectivamente, comparando mujeres entrenadas (ME) vs no entrenadas (MNE). En ninguno de los grupos hubo diferencias significativas para las variables ($P > 0,05$).

TABLA 1A. Características del grupo de mujeres preadolescentes Entrenadas y No Entrenadas

Variables	Preadolescentes				Valor p
	Entrenado (n=20)		No entrenado (n=17)		
	Media	D.E.	Media	D.E.	
Edad ^a (Años)	10,2	1,0	10,6	1,6	0,55
Peso (Kg)	33,0	7,9	32,6	7,4	0,89
Talla (cm)	139,6	8,2	138,5	8,8	0,68
IMC (Kg/m ²)	16,7	2,5	16,9	2,8	0,83
%GC (%)	16,5	4,5	18,5	5,9	0,26
MLG (Kg)	27,3	5,3	26,3	4,6	0,57

^a Variables que no se ajustan a una curva de distribución normal. D.E.= Desviación estándar.

%GC: Porcentaje de grasa corporal **MLG:** Masa Libre de Grasa

TABLA 1B. Características del grupo de mujeres adolescentes Entrenadas y No Entrenadas

Variables	Adolescentes				Valor p
	Entrenado (n=32)		No entrenado (n=18)		
	Media	D.E.	Media	D.E.	
Edad (Años)	13,8	2,1	14,1	2,3	0,64
Peso (Kg)	47,1	6,2	47,8	9,0	0,77
Talla ^a (cm)	156,4	7,2	156,0	5,8	0,99
IMC (Kg/m ²)	19,2	2,0	19,5	2,8	0,72
%GC (%)	19,4	5,5	23,1	8,3	0,11
PG (Kg)	9,3	3,3	11,5	5,6	0,13
MLG (Kg)	37,8	4,5	36,3	5,2	0,27

^a Variables que no se ajustan a una curva de distribución normal. D.E.= Desviación estándar.

%GC: Porcentaje de grasa corporal **MLG:** Masa Libre de Grasa **PG:** Peso de la grasa

Al igual que en los grupos de mujeres, las tablas 1C y 1D muestran que no hubo diferencias significativas entre los grupos de hombres entrenados (HE) y no entrenados (HNE) ($P > 0,05$); excepto para la variable %GC del grupo de hombres adolescentes, en el cual se evidenció un valor superior en el grupo HNE, siendo esta una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$).

TABLA 1C. Características del grupo de hombres preadolescentes Entrenados y No Entrenados

Variables	Preadolescentes				Valor p
	Entrenado		No entrenado		
	Media	D.E.	Media	D.E.	
Edad (Años)	11,0	1,2	11,1	1,7	0,87
Peso (Kg)	39,2	8,2	40,2	11,1	0,79
Talla (cm)	142,0	7,7	146,2	10,8	0,27
IMC (Kg/m ²)	19,3	2,9	18,5	3,0	0,48
%GC (%)	16,9	8,4	19,0	7,5	0,49
MLG (Kg)	32,5	7,4	32,1	7,5	0,88

^a Variables que no se ajustan a una curva de distribución normal. D.E.= Desviación estándar.

%GC: Porcentaje de Grasa Corporal **MLG:** Masa Libre de Grasa

TABLA 1D. Características del grupo de hombres adolescentes Entrenados y No Entrenados

Variables	Adolescentes				Valor p
	Entrenado		No entrenado		
	Media	D.E.	Media	D.E.	
Edad ^a (Años)	15,2	1,9	15,4	1,9	0,75
Peso ^a (Kg)	55,1	8,2	55,0	8,9	0,65
Talla ^a (cm)	167,4	8,1	166,7	10,9	0,21
IMC ^a (Kg/m ²)	19,6	1,8	19,7	1,9	0,72
%Gca (%)	13,4	4,6	14,9	4,2	0,02
MLG (Kg)	47,7	7,3	46,8	8,0	0,64

^a Variables que no se ajustan a una curva de distribución normal. D.E.= Desviación estándar.

%GC: Porcentaje de Grasa Corporal **MLG:** Masa Libre de Grasa

Las tablas 2 y 3 muestran los resultados del consumo máximo de oxígeno (VO₂max) y sus variables relacionadas, en los grupos de mujeres preadolescentes y adolescentes haciendo el comparativo entre ME y MNE. Se observa que en todos los casos hubo diferencias significativas, siendo mayores los valores para los grupos ME, tanto en preadolescentes como adolescentes (p<0.05).

TABLA 2. Comparación de VO₂ y sus variables relacionadas en mujeres preadolescentes

Variables	Preadolescentes				Valor p
	Entrenado (n=20)		No entrenado (n=17)		
	Media	D.E.	Media	D.E.	
VO ₂ max (ml/O ₂)	1600,1	318,5	1201,6	235,9	<0.01
VO ₂ max.Kg (ml/O ₂ /Kg)	48,2	6,8	37,4	5,5	<0.01
VO ₂ max.MLG ^a (ml/O ₂ /Kg)	59,5	10,3	45,8	5,6	<0.01
Frecuencia cardiaca máxima (lpm)	195,4	10,7	185,8	10,5	<0.01
Umbral ventilatorio ^a (ml/O ₂ /Kg)	43,7	7,3	31,8	5,3	<0.01
%Uva (%)	90,6	7,3	85,3	6,6	0,03
Potencia en el umbral ventilatorio ^a (w)	96,0	20,1	64,1	20,7	<0.01
Potencia máxima (w)	127,4	27,2	89,6	25,4	<0.01
PM.Kg (w/Kg)	3,8	0,6	2,8	0,7	<0.01

^a Variables que no se ajustan a una curva de distribución normal. D.E.= Desviación estándar.

VO₂Máx: Consumo Máximo de Oxígeno **VO₂Máx.Kg:** Consumo Máximo de Oxígeno por kg de peso

VO₂Máx.MLG: Consumo Máximo de Oxígeno por Masa Libre de Grasa **%Uv:** Porcentaje en el umbral ventilatorio

PM.Kg: Potencia Máxima por kg de peso.

TABLA 3. Comparación de VO₂ y sus variables relacionadas en mujeres adolescentes

Variables	Adolescentes				Valor p
	Entrenado (n=32)		No entrenado (n=18)		
	Media	D.E.	Media	D.E.	
VO ₂ max (ml/O ₂)	2189,9	287,2	1494,9	308,2	<0.01
VO ₂ max.Kg (ml/O ₂ /Kg)	46,5	4,9	32,1	4,4	<0.01
VO ₂ max.MLG (ml/O ₂ /Kg)	58,1	5,6	41,4	7,1	<0.01
Frecuencia cardiaca máxima (lpm)	196,9	9,1	187,8	9,7	<0.01
Umbral ventilatorio (ml/O ₂ /Kg)	42,3	5,5	26,8	4,7	<0.01
%UV (%)	90,9	6,0	83,4	8,9	<0.01
Potencia en el umbral ventilatorio ^a (w)	147,2	28,9	79,7	26,3	<0.01
Potencia máxima ^a (w)	186,2	31,3	118,2	28,0	<0.01
PM.Kg ^a (w/Kg)	3,7	0,9	2,5	0,4	<0.01

^a Variables que no se ajustan a una curva de distribución normal. D.E.= Desviación estándar.

VO₂Máx: Consumo Máximo de Oxígeno **VO₂Máx.Kg:** Consumo Máximo de Oxígeno por kg de peso

VO₂Máx.MLG: Consumo Máximo de Oxígeno por Masa Libre de Grasa **%Uv:** Porcentaje en el umbral ventilatorio

PM.Kg: Potencia Máxima por kg de peso.

En las tablas 4A y 4B se presenta la comparación del VO₂max entre preadolescentes y adolescente en los grupos de mujeres no entrenadas (MNE) y Entrenadas (ME). En el grupo MNE se encontraron diferencias significativas (p<0.05) entre preadolescentes y adolescentes en las variables VO₂max, VO₂max.kg, VO₂max.MLG, Umbral ventilatorio relativo, Umbral ventilatorio absoluto, potencia en el umbral ventilatorio y potencia máxima, siendo estos valores mayores en las preadolescentes, excepto el VO₂max absoluto.

TABLA 4A. Comparación del VO₂ y variables relacionadas en mujeres No Entrenadas (NE) preadolescentes vs adolescentes.

Variables	Grupo No entrenado				Valor p
	Preadolescentes		Adolescentes		
	Media	D.E.	Media	D.E.	
VO ₂ max (ml/O ₂)	1201,65	235,92	1494,89	308,24	<0.01
VO ₂ max.Kg (ml/O ₂ /Kg)	37,37	5,52	32,14	4,40	<0.01
VO ₂ max.MLG (ml/O ₂ /Kg)	45,78	5,59	41,37	7,11	0,05
Frecuencia cardiaca máxima (lpm)	185,82	10,54	187,78	9,69	0,57
Umbral ventilatorio relativo (ml/O ₂ /Kg)	31,85	5,26	26,79	4,74	<0.01
Umbral ventilatorio absoluto (ml/O ₂)	1038,31	184,60	1280,56	215,23	<0.01
%Uva (ml/O ₂ /Kg)	85,30	6,58	83,40	8,91	0,89
Frecuencia cardiaca en el umbral ventilatorio (lpm)	166,76	16,78	164,17	14,61	0,62
Potencia en el umbral ventilatorio ^a (w)	64,06	20,71	79,72	26,32	<0.01
Potencia máxima (w)	89,56	25,42	118,19	28,05	<0.01
PM.Kg (w/Kg)	2,76	0,66	2,47	0,45	0,13

^a Variables que no se ajustan a una curva de distribución normal. D.E.= Desviación estándar.

VO₂Máx: Consumo Máximo de Oxígeno **VO₂Máx.Kg:** Consumo Máximo de Oxígeno por kg de peso
VO₂Máx.MLG: Consumo Máximo de Oxígeno por Masa Libre de Grasa **%Uv:** Porcentaje en el umbral ventilatorio **PM.Kg:** Potencia Máxima por kg de peso.

TABLA 4B. Comparación del VO₂ y variables relacionadas en mujeres Entrenadas (E) preadolescentes vs adolescentes.

Variables	Grupo Entrenado				Valor p
	Preadolescentes		Adolescentes		
	Media	D.E.	Media	D.E.	
VO ₂ max (ml/O ₂)	1600,10	318,49	2189,94	287,21	<0.01
VO ₂ max.Kg (ml/O ₂ /Kg)	48,17	6,79	46,53	4,86	0,31
VO ₂ max.MLG ^a (ml/O ₂ /Kg)	59,48	10,26	58,13	5,65	0,95
Frecuencia cardiaca máxima (lpm)	195,35	10,72	196,94	9,08	0,56
Umbral ventilatorio (ml/O ₂)	43,68	7,32	42,34	5,55	0,45
%UV ^a (%)	90,56	7,27	90,92	6,02	0,97
Frecuencia cardiaca en el umbral ventilatorio (lpm)	180,15	12,83	180,64	12,77	0,89
Potencia en el umbral ventilatorio ^a (w)	96,00	20,07	147,21	28,93	<0.01
Potencia máxima ^a (w)	127,38	27,19	186,16	31,30	<0.01
PM.Kg ^a (w/kg)	3,80	0,56	3,69	0,91	0,85

^a Variables que no se ajustan a una curva de distribución normal. D.E.= Desviación estándar.

VO₂Máx: Consumo Máximo de Oxígeno **VO₂Máx.Kg:** Consumo Máximo de Oxígeno por kg de peso
VO₂Máx.MLG: Consumo Máximo de Oxígeno por Masa Libre de Grasa **%Uv:** Porcentaje en el umbral ventilatorio **PM.Kg:** Potencia Máxima por kg de peso.

En el grupo ME, a diferencia del grupo MNE, solo hubo diferencias en las variables VO₂max, Potencia en umbral ventilatorio y Potencia máxima, pero al contrario del grupo anterior, los valores superiores se presentaron el grupo de adolescentes.

Las tablas 5 y 6 comparan los datos del VO₂max y variables relacionadas entre hombres entrenados (HE) y no entrenados (HNE) en los grupos de preadolescentes y adolescentes. Se evidencian diferencias significativas (p<0.05) entre los grupos HE y HNE, siendo los valores mayores en todos los casos en el grupo HE; excepto en el porcentaje del umbral ventilatorio de los preadolescentes donde no hubo significancia (p=0.06).

TABLA 5. Características del grupo de hombres preadolescentes Entrenados y No Entrenados

Variables	Preadolescentes				Valor p
	Entrenado		No entrenado		
	Media	D.E.	Media	D.E.	
VO ₂ max ^a (ml/O ₂)	1880,3	351,3	1619,9	424,8	<0.01
VO ₂ max.Kg (ml/O ₂ /Kg)	50,4	9,3	41,3	8,6	0,01
VO ₂ max.MLG ^a (ml/O ₂ /Kg)	59,7	12,3	51,0	8,3	<0.01
Frecuencia cardiaca máxima ^a (lpm)	198,5	11,4	183,8	12,7	<0.01
Umbral ventilatorio (ml/O ₂ /Kg)	46,1	9,9	35,0	7,0	<0.01
%UV (%)	90,9	6,5	85,2	7,8	0,06
Potencia en el umbral ventilatorio (w)	120,0	27,9	89,1	26,1	<0.01
Potencia máxima (w)	147,7	27,0	119,2	31,1	0,01
PM.Kg ^a (w/Kg)	3,9	0,8	3,1	0,8	<0.01

^a Variables que no se ajustan a una curva de distribución normal. D.E.= Desviación estándar.

TABLA 6. Características del grupo de hombres adolescentes Entrenados y No Entrenados

Variables	Adolescentes				Valor p
	Entrenado		No entrenado		
	Media	D.E.	Media	D.E.	
VO ₂ max (ml/O ₂)	3211,6	526,9	2329,8	469,3	<0.01
VO ₂ max.Kg (ml/O ₂ /Kg)	58,0	5,9	43,6	4,4	<0.01
VO ₂ max.MLG (ml/O ₂ /Kg)	67,4	5,8	49,9	6,4	<0.01
Frecuencia cardiaca máxima (lpm)	195,0	7,3	185,6	13,3	<0.01
Umbral ventilatorio (ml/O ₂ /Kg)	53,4	6,2	35,1	6,2	<0.01
%UV ^a (%)	92,0	4,5	80,3	9,6	<0.01
Frecuencia cardiaca en el umbral ventilatorio (lpm)	183,0	9,2	166,1	14,8	<0.01
Potencia en el umbral ventilatorio ^a (w)	240,0	49,8	138,3	32,2	<0.01
Potencia máxima ^a (w)	298,1	56,4	185,0	43,1	<0.01
PM.Kg (w/Kg)	5,4	0,7	3,3	0,5	<0.01

^a Variables que no se ajustan a una curva de distribución normal. D.E.= Desviación estándar.

Al comparar los resultados de VO₂ y sus variables relacionadas entre preadolescentes y adolescentes en el grupo de HNE, solo se evidencia diferencia estadísticamente significativa (p<0.05) en las variables VO₂max, potencia en el umbral ventilatorio y potencia máxima, siendo los valores mayores en el grupo de adolescentes (**TABLA 7A**). Al realizar la misma comparación en el grupo HE, se encuentran diferencias significativas también en las variables VO₂max relativo, umbral ventilatorio y potencia relativa, siendo los valores mayores en el grupo de adolescentes. (**TABLA 7B**).

TABLA 7A. Comparación del VO₂ y variables relacionadas en hombres No Entrenados (NE) preadolescentes vs adolescentes.

Variables	Grupo No entrenado				Valor p
	Preadolescentes		Adolescentes		
	Media	D.E.	Media	D.E.	
VO ₂ max ^a (ml/O ₂)	1619,90	424,83	2329,81	469,32	<0.01
VO ₂ max.Kg (ml/O ₂ /kg)	41,30	8,60	43,56	4,44	0,29
VO ₂ max.MLG (ml/O ₂ /Kg)	50,96	8,32	49,94	6,37	0,65
Frecuencia cardiaca máxima ^a (lpm)	183,76	12,74	185,57	13,35	0,68
Umbral ventilatorio (ml/O ₂)	34,99	7,01	35,09	6,19	0,96
%UV (%)	85,17	7,85	80,31	9,62	0,08
Frecuencia cardiaca en el umbral ventilatorio (lpm)	162,38	14,90	166,14	14,77	0,41
Potencia en el umbral ventilatorio (w)	89,06	26,07	138,33	32,22	<0.01
Potencia máxima (w)	119,17	31,12	185,00	43,07	<0.01
PM.Kg ^a (w/Kg)	3,08	0,80	3,30	0,52	0,08

^a Variables que no se ajustan a una curva de distribución normal. D.E.= Desviación estándar.

TABLA 7B. Comparación del VO₂ y variables relacionadas en hombres Entrenados (E) preadolescentes vs adolescentes.

Variables	Grupo Entrenado				Valor p
	Preadolescentes		Adolescentes		
	Media	D.E.	Media	D.E.	
VO ₂ max (ml/O ₂)	1880,30	351,34	3211,56	526,94	<0.01
VO ₂ max.Kg (ml/O ₂ /Kg)	50,38	9,29	58,01	5,86	<0.01
VO ₂ max.MLG (ml/O ₂ /Kg)	59,67	12,28	67,42	5,78	0,07
Frecuencia cardiaca máxima (lpm)	198,50	11,37	195,00	7,31	0,36
Umbral ventilatorio (ml/O ₂)	46,10	9,94	53,39	6,16	<0.01
%UV ^a (%)	90,87	6,54	92,00	4,49	0,54
Frecuencia cardiaca en el umbral ventilatorio (lpm)	187,00	13,65	182,95	9,19	0,38
Potencia en el umbral ventilatorio ^a (w)	120,00	27,86	240,04	49,78	0,16
Potencia máxima ^a (w)	147,65	27,04	298,09	56,37	<0.01
PM.Kg (w/Kg)	3,88	0,80	5,37	0,72	<0.01

^a Variables que no se ajustan a una curva de distribución normal. D.E.= Desviación estándar.

Al comparar hombres y mujeres entrenados (HE vs ME) en la etapa de adolescencia, se encuentran diferencias significativas en el VO₂max y todas sus variables relacionadas y en la potencia, siendo los valores mayores en los hombres. No hubo diferencias significativas entre sexos en cuanto a la frecuencia cardiaca (Tabla 8A). Por su parte, entre hombres y mujeres entrenados preadolescentes, solo se presentaron diferencias significativas en el VO₂max absoluto y en la potencia en el umbral ventilatorio (Tabla 8B).

TABLA 8A. Comparación de VO₂ y sus variables relacionadas entre adolescentes entrenados hombres vs mujeres.

Variables	Adolescentes				Valor p
	Mujer (n=33)		Hombre (n=63)		
	Media	D.E.	Media	D.E.	
VO ₂ max (ml/O ₂)	2189,94	287,21	3211,56	526,94	<0.01
VO ₂ max.Kg (ml/O ₂ /Kg)	46,53	4,86	58,01	5,86	<0.01
VO ₂ max.MLG (ml/O ₂ /Kg)	58,13	5,65	67,42	5,78	<0.01
Frecuencia cardiaca máxima ^a (lpm)	196,94	9,08	195,00	7,31	0,13
Umbral ventilatorio (ml/O ₂)	42,34	5,55	53,39	6,16	<0.01
%UV (%)	90,92	6,02	92,00	4,49	0,32
Frecuencia cardiaca en el umbral ventilatorio (lpm)	180,64	12,77	182,95	9,19	0,30
Potencia en el umbral ventilatorio ^a (w)	147,21	28,93	240,04	49,78	<0.01
PM.Kg ^a (w/kg)	3,69	0,91	5,37	0,72	<0.01
Potencia máxima ^a (w)	186,16	31,30	298,09	56,37	<0.01

^a Variables que no se ajustan a una curva de distribución normal. D.E.= Desviación estándar.

VO₂Máx: Consumo Máximo de Oxígeno **VO₂Máx.Kg:** Consumo Máximo de Oxígeno por kg de peso

VO₂Máx.MLG: Consumo Máximo de Oxígeno por Masa Libre de Grasa **%Uv:** Porcentaje en el umbral ventilatorio **PM.Kg:** Potencia Máxima por kg de peso.

TABLA 8B. Comparación de VO₂ y sus variables relacionadas entre preadolescentes entrenados hombres vs mujeres.

Variables	Preadolescentes				Valor p
	Mujer (n=20)		Hombre (n=10)		
	Media	D.E.	Media	D.E.	
VO ₂ max (ml/O ₂)	1600,10	318,49	1880,30	351,34	0,03
VO ₂ max.Kg (ml/O ₂ /Kg)	48,17	6,79	50,38	9,29	0,46
VO ₂ max.MLG ^a (ml/O ₂ /Kg)	59,48	10,26	59,67	12,28	0,30
Frecuencia cardiaca máxima (lpm)	195,35	10,72	198,50	11,37	0,46
Umbral ventilatorio (ml/O ₂ /Kg)	43,68	7,32	46,10	9,94	0,45
%UV ^a (%)	90,56	7,27	90,87	6,54	0,98
Frecuencia cardiaca en el umbral ventilatorio (lpm)	180,15	12,83	187,00	13,65	0,18
Potencia en el umbral ventilatorio (w)	96,00	20,07	120,00	27,86	0,01
Potencia máxima (w)	127,38	27,19	147,65	27,04	0,06
PM.Kg (w/Kg)	3,80	0,56	3,88	0,80	0,77

^a Variables que no se ajustan a una curva de distribución normal. D.E.= Desviación estándar.

VO₂Máx: Consumo Máximo de Oxígeno **VO₂Máx.Kg:** Consumo Máximo de Oxígeno por kg de peso

VO₂Máx.MLG: Consumo Máximo de Oxígeno por Masa Libre de Grasa **%Uv:** Porcentaje en el umbral ventilatorio **PM.Kg:** Potencia Máxima por kg de peso.

DISCUSIÓN

Este es uno de los pocos estudios que ha establecido a través de métodos directos, las características del VO₂max y algunas variables relacionadas como la frecuencia cardíaca máxima, el umbral ventilatorio y la potencia máxima, en una muestra considerable de 203 hombres y mujeres, entre 9 y 18 años, de acuerdo a su estado de maduración biológica, el sexo y el nivel de entrenamiento.

En primer lugar, se estableció una comparación por sexo y maduración (preadolescentes Vs adolescentes) de los valores del VO₂max, la FCM, el UV y la potencia en función del entrenamiento. Se evidenció que en todos los grupos el VO₂max tanto absoluto como relativo al peso corporal fueron significativamente mayores en los entrenados. Nuestros hallazgos difieren con lo reportado por Manna et al⁶, quien afirma que el entrenamiento de resistencia no tienen ningún efecto sobre el VO₂max antes de los 11 años y que solo se observa un incremento en los hombres hasta después de los 12 años. Nosotros reportamos diferencias entre entrenados y no entrenados, en mujeres y hombres preadolescentes, de aproximadamente 400 ml y 250 ml en el VO₂ max absoluto, respectivamente y de 9 ml/Kg/min en el VO₂max relativo, en ambos grupos.

Así mismo, se encontraron también diferencias significativas entre entrenados y no entrenados adolescentes, tanto en hombres como en mujeres. Sin embargo, en los hombres entrenados adolescentes, los valores de VO₂max tanto absoluto como relativo fueron los más altos de la población, 3211ml/min y 58 ml/Kg/min. Estos hallazgos confirman lo reportado en el estudio de Mancera et al⁷, en el que se evidenciaron mayores diferencias en el VO₂max de hombres púberes entrenados con respecto a los no entrenados, cuando se compararon con los grupos de mujeres prepúberes y púberes y hombres prepúberes. Resultados de estudios previos^{8, 9, 10, 11} han revelado que a partir de la pubertad, los cambios hormonales en los hombres, como el aumento en la producción de testosterona y la hormona de crecimiento, determinan un incremento en la eritropoyesis y como consecuencia, una mayor producción de glóbulos rojos y hemoglobina, determinantes de la capacidad de transporte de oxígeno a los tejidos y de un mayor VO₂max.

Según Armstrong et al^{12,13}, está muy bien documentado que los atletas juveniles tienen un mayor VO₂max que los NE, aunque la mayoría de los datos disponibles corresponden a estudios transversales, los cuales son limitados para establecer una relación causa – efecto del entrenamiento de resistencia y analizar si los cambios en el VO₂max son debidos a una predisposición genética o al entrenamiento. Nuestro estudio presenta esta limitación y se requieren de investigaciones longitudinales que permitan confirmar los hallazgos encontrados en niños y adolescentes.

Diferentes estudios han comparado los resultados de VO₂max con relación a la edad cronológica y el sexo, y han encontrado que las mujeres prepúberes y púberes tienen valores de VO₂max inferiores a los de los hombres. Esta diferencia entre hombres y mujeres es mucho mayor después de la pubertad. En el grupo de 9 años, la diferencia en el VO₂max relativo entre hombres y mujeres fue de 5,5 ml.kg.min, mientras que a los 15 años la diferencia aumentó a 11.1 ml.kg.min^{9, 10}. Nuestros resultados también están en consonancia con lo reportado por Mancera, Hayes, Manna y Armstrong, en el sentido que el incremento en el VO₂max es muy similar entre hombres y mujeres prepúberes. Mientras que, después de la pubertad, esta diferencia se hace mayor y está en relación con el proceso de maduración biológica y cambios en la composición corporal y especialmente en masa libre de grasa (MLG)

Los valores absolutos del VO₂máx de nuestro estudio fueron mayores en adolescentes que en preadolescentes tal como fue descrito en otras investigaciones¹⁴⁻¹⁵; lo que según Moura et Al. puede estar relacionado con la concentración de enzimas glucolíticas asociadas con la morfología muscular. Los individuos prepúberes presentan menor actividad enzimática de este tipo, sin embargo, al llegar la pubertad, hay un aumento en la sección transversal del músculo debido a la presencia de la hormona del crecimiento, lo que resulta en un aumento en la concentración de estas enzimas y, por lo tanto, en su actividad¹⁶. Al realizar el ajuste de los valores del VO₂max al peso corporal, encontramos que en las mujeres, los valores relativos son mayores en la etapa de la preadolescencia, tanto en E como en NE; mientras que en los hombres, los mayores valores en su VO₂máx.kg se evidencian en la etapa de adolescencia, como se había descrito previamente.

El consumo máximo de oxígeno se encuentra estrechamente relacionado con el sexo, el tamaño corporal (órganos y sistemas) y el grado de madurez de los sujetos. Por otra parte, el valor del consumo de oxígeno depende a nivel fisiológico, fundamentalmente del producto del gasto cardíaco y la diferencia arterio-venosa. Dado que la frecuencia cardíaca tiende a disminuir con la edad, el principal factor para aumentar el consumo de oxígeno, es el incremento en el volumen sistólico que se modifica con la adolescencia y que a su vez, es susceptible de mejorar significativamente con el entrenamiento físico.^{17,18}

Durante la maduración existe un proceso de diferenciación entre sexos, evidenciando que durante la pubertad en las adolescentes se presenta un aumento de la cantidad de masa grasa (MG) y del porcentaje graso (PG), sin un aumento significativo de la masa libre de grasa (MLG) y el peso libre de grasa (PLG). Por el contrario en los adolescentes, las diferencias hormonales permiten cambios morfológicos como el estirón puberal y los cambios en la masa corporal (MC) principalmente por el aumento de la masa muscular (MM), mientras que la MG permanece estable¹⁹.

En algunos estudios, al utilizar análisis de regresión múltiple lineal se encontró que la masa corporal y la maduración biológica son variables predictivas para el cambio en el VO₂. Armstrong en su estudio afirmó²⁰, luego de realizar un análisis de múltiples variables, que la masa libre de grasa es el factor más determinante para los cambios de VO₂ durante la maduración. En este sentido, el dimorfismo sexual que se presenta entre hombres y mujeres ha permitido establecer que durante la maduración, las mujeres debido a la acción de diferentes hormonas, como la leptina, aumentan su peso debido a un aumento del porcentaje de grasa, manteniendo casi que estático el aumento de la masa libre de grasa, para garantizar su maduración sexual y la reproducción. Desde la niñez temprana las niñas tienen mayor cantidad de masa grasa relativa que los varones en todas las edades, lo que muestra la diferencia sexual en la composición corporal y por tanto en el VO₂max.

REFERENCIAS

1. Giovani Cunha, Thiago Lorenzi, Katiuce Sapata, Andre Luiz Lopes, Adroaldo Cezar Gaya y Álvaro Oliveira (2011) Efecto de la maduración biológica en la absorción máxima de oxígeno y los umbrales ventilatorios en jugadores de fútbol: un enfoque alométrico, *Journal of Sports Sciences*, 29:10, 1029-1039, DOI: 10.1080 / 02640414.2011.570775
2. Armstrong et. Al 2001
3. Jakovljevic DG, George RS, Nunan D, *et al* The impact of acute reduction of continuous-flow left ventricular assist device support on cardiac and exercise performance *Heart* 2010;**96**:1390-1395.
4. Armstrong, N., Welsman, J. La absorción máxima de oxígeno en relación con el crecimiento y la maduración en humanos de 11 a 17 años. *Eur J Appl Physiol* **85**, 546–551 (2001)
5. Lloyd, RS, Oliver, JL, Faigenbaum, AD, Myer, GD y De Ste Croix, MBA. Edad cronológica versus maduración biológica: implicaciones para la programación de ejercicios en la juventud. *J Fuerza Cond Res* 28 (5): 1454–1464, 2014
6. Manna I. Growth Development and Maturity in Children and Adolescent: Relation to Sports and Physical Activity. *American Journal of Sports Science and Medicine*. 2014;2(5A):48-50. doi: 10.12691/ajssm-2-5A-11.
7. Mancera-Soto EM, Ramos-Caballero DM, Schmidt W, Magalhaes J, Edgar C-M. La testosterona determina los cambios en la eritropoyesis y en la masa de hemoglobina en la adolescencia. 2018.
8. Hero M, Wickman S, Hanhijarvi R, Siimes MA, Dunkel L. Pubertal upregulation of erythropoiesis in boys is determined primarily by androgen. *J Pediatr*. 2005;146(2):245-52. Epub 2005/02/04. doi: 10.1016/j.jpeds.2004.09.002. PubMed PMID: 15689918
9. Krabbe S, Christensen T, Worm J, Christiansen C, Transbol I. Relationship between haemoglobin and serum testosterone in normal children and adolescents and in boys with delayed puberty. *Acta Paediatr Scand*. 1978;67(5):655-8. Epub 1978/09/01. PubMed PMID: 696311.
10. Mancera-Soto EM, Ramos-Caballero DM, Schmidt W, Cristancho-Mejía E. Efectos de la maduración biológica y el entrenamiento de resistencia sobre la masa total de hemoglobina y el consumo máximo de oxígeno en niños y adolescentes. 2018
11. Thomsen K, Riis B, Krabbe S, Christiansen C. Testosterone regulates the haemoglobin concentration in male puberty. *Acta Paediatr Scand*. 1986;75(5):793-6. Epub 1986/09/01. PubMed PMID: 3564947
12. Armstrong N, Welsman JR. Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 1994 ;22:435-476.
13. Armstrong, N., Welsman, J. Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans. *Eur J Appl Physiol* **85**, 546–551 (2001). <https://doi.org/10.1007/s004210100485>.
14. Aires L, Pratt M, Lobelo F, Santos RM, Santos MP, Mota J. Asociaciones de aptitud cardiorrespiratoria en niños y adolescentes con actividad física, desplazamientos activos a la escuela y tiempo de pantalla. *J Phys Act Health* 2011; 8 (Supl 2): S198-205. [[Enlaces](#)]
15. Armstrong N, Welsman JR, Nevill AM, Kirby BJ. Modelando el crecimiento y los cambios de maduración en el consumo máximo de oxígeno en niños de 11-13 años. *J Appl Physiol* 1999; 87 (6): 2230-6 [[Enlaces](#)]

16. Soares, Nara Michelle Moura, Silva, Roberto Jerónimo dos Santos, Melo, Enaldo Vieira de y Oliveira, Antônio César Cabral de. (2014) Influencia de la maduración sexual en la aptitud cardiorrespiratoria en escolares. *Revista Brasileira de Cineantropometria y Desempenho Humano* , 16 (2), 223-232. <https://dx.doi.org/10.5007/1980-0037.2014v16n2p223>
17. Montes, J. A. D., Medina, L. S., Rosell, D. R., & Badillo, J. J. G. (2015). Variables antropométricas y de rendimiento físico en niños y niñas de 10-15 años de edad. *RETOS. Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, (27), 86-92.
18. Turley, K. R., & Wilmore, J. H. (1997). Cardiovascular responses to treadmill and cycle ergometer exercise in children and adults. *Journal of Applied Physiology*, 83(3), 948-957
19. Hayes HM, Eisenmann JC, Pfeiffer K, Carlson JJ. Weight status, physical activity, and vascular health in 9- to 12-year-old children. *J Phys Act Health*. 2013;10(2):205-10. Epub 2012/07/24. PubMed PMID: 22820269.
20. Armstrong N, Sciences BASE. *Paediatric Exercise Physiology*: Churchill Livingstone; 2007; Armstrong N, Welsman JR. Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans. *Eur J Appl Physiol*. 2001;85(6):546-51. Epub 2001/11/23. doi: 10.1007/s004210100485
21. Slaughter MH, Lohman TG, Boileau RA, Horswill CA, Stillman RJ, Van Loan MD, et al. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol*. 1988;60(5):709-23. Epub 1988/10/01. PubMed PMID: 3224965.