

Medición del consumo de oxígeno durante una prueba ergométrica en futbolistas infantiles

Alberto F. Leveroni^a, INÉS T. ABELLA^b, LUIS F. PINTOS^c Y ALBERTO RODRÍGUEZ CORONEL^d

RESUMEN

Introducción

La capacidad cardiorrespiratoria, neuromuscular y metabólica para realizar una actividad física de varios minutos de duración y que involucre la participación de grandes masas musculares se puede conocer midiendo de manera continua y directa ciertas variables fisiológicas durante una prueba de esfuerzo.

Objetivo

Medir VO_2 mL/kg/min en las distintas etapas en una nueva prueba de esfuerzo, continua y progresiva, en 60 niños, divididos en tres grupos de acuerdo a edad, y la eficiencia ventilatoria (VE/VCO_2) en umbral anaeróbico. Obtener valores pico de VO_2 L/min, VE L/min, VCO_2 L/min y Coeficiente R para cada uno de los grupos.

Material y Método

Veinte niños de 8 a 10 años (Grupo A), veinte de 11 a 13 años (Grupo B) y veinte de 14 a 16 años (Grupo C) sanos, en entrenamiento futbolístico realizaron una prueba en pista deslizante. El análisis continuo de los gases espirados se hizo por el método de circuito abierto (CPX Plus/SQL System Cybermedics, Collins, Boston).

Resultados

Todos los niños completaron la prueba. El VO_2 mL/kg/min fue medido en cada etapa, aumentando a lo largo de la prueba y significativamente entre el 1° y 2° minuto y entre el 6° y 7° minuto en los 3 grupos. Se observaron diferencias significativas en VO_2 mL/kg/min en el 1° minuto intraesfuerzo entre el grupo A y C ($p < 0,021$), en el 6° minuto entre el grupo A y B ($p < 0,015$) y entre el A y C ($p < 0,001$) y al finalizar la carrera entre el grupo A y C ($p < 0,012$).

Para cada Grupo se obtuvieron valores máximos de las variables estudiadas VO_2 L/min, VCO_2 L/min, coeficien-

te R, FC, VE y VE/VCO_2 en umbral anaeróbico expresadas en media y desvío estándar. Las medias obtenidas se compararon mediante el test ANOVA y la post prueba de Tukey.

Conclusiones

Los Grupos demostraron diferencias significativas entre sí, las que justifican su diferenciación.

El VO_2 aumenta durante la prueba con mayor incremento en la carrera.

Para cada grupo se obtuvieron valores pico de las variables estudiadas expresadas en media y desvío estándar.

Palabras clave: Consumo de oxígeno, ergoespirometría en pediatría, prueba de esfuerzo, pista deslizante, costo energético, fútbol.

Abreviaturas: VO_2 : Consumo de oxígeno.

$\text{VO}_{2\text{p}}$: Consumo de oxígeno pico.

VCO_2 : Producción de anhídrido carbónico.

R: Coeficiente R.

V_E : Ventilación por minuto.

FC: Frecuencia cardíaca.

VE/VCO_2 : Eficiencia ventilatoria

SUMMARY

Measurement of Oxygen Consumption in Trained Children During a Treadmill Test

Introduction

Cardiorespiratory, neuromuscular and metabolic fitness to perform a physical activity lasting several minutes and involving the participation of large muscle mass could be found by measuring continuously and directly certain physiological variables during a stress test.

Objectives

Measure VO_2 mL/kg/min at different stages in a new stress test in 60 boys divided into three groups according age, and ventilatory efficiency in anaerobic threshold. Obtain peak values of VO_2 L/min, VE L/min, VCO_2 L/min, y Coeficiente R for each of the groups.

Methods

Twenty healthy boys aged 8 to 10 years (Group A), twenty aged 11 to 13 years (Group B), and twenty aged 14 to 16 years (Group C) trained in football, performed the test on a treadmill. Breath-by-breath respiratory gas analysis was recorded continuously using an open-circuit gas analyzer (Collins Cybermedic CPXm/PLUS).

Results

Every child performed the complete test. VO_2 mL/kg/min was measured in each stage, increasing throughout

a. Laboratorio de Fisiología del Ejercicio Instituto de Medicina del Deporte y Rehabilitación (IMDYR)

b. División Cardiología, HNRG

c. Laboratorio de Fisiología del Ejercicio Instituto de Medicina del Deporte y Rehabilitación (IMDYR)

d. Laboratorio de Fisiología del Ejercicio Instituto de Medicina del Deporte y Rehabilitación (IMDYR)

Correspondencia: afleveroni@hotmail.com, falonsoabella@gmail.com

Financiación: el trabajo no recibió financiación externa.

Conflicto de intereses: no hay conflicto de intereses.

the test, and significantly between the 1st and 2nd minute and between 6th and 7th minute in the three groups. It was observed significant differences in VO_2 mL/kg/min during the effort in 1st minute between group A and C ($p < 0,021$) at 6th minute between groups A and B ($p < 0,015$) and between A and C ($p < 0,001$), and after de race between groups A and C ($p < 0,012$). For each Group maximum values of the variables VO_2 L/min, VCO_2 L/min, HR, respiratory quotient (R) VE L/min, and VE/ VCO_2 in anaerobic threshold were obtained expressed as mean and standard deviation. These were analyzed with ANOVA test and Tukey post test.

Conclusions

All Groups demonstrated significant differences between them, that justify their differentiation.

VO_2 increases during the test with further increase in race. For each Group, Peak values of the variables (expressed as mean and SD) were obtained.

Key words: *Oxygen consumption, ergospirometry, children, physical training, soccer.*

INTRODUCCIÓN

La función principal del corazón es proveer energía y oxígeno a través del transporte circulatorio hasta las células de modo proporcional a sus necesidades metabólicas.¹ La prueba de tolerancia al ejercicio ha sido reconocida como un método útil para evaluar la capacidad de actividad física de niños sanos o con afecciones cardiorrespiratorias.²⁻⁵

La capacidad cardiorrespiratoria, neuromuscular y metabólica para realizar una actividad física de varios minutos de duración y que involucre la participación de grandes masas musculares se puede conocer midiendo de manera continua y directa ciertas variables fisiológicas específicas –como el consumo de oxígeno– durante el esfuerzo.⁶ En el caso de niños y adolescentes en entrenamiento deportivo es necesario adecuar el tipo de trabajo físico, su intensidad y duración, a las características antropométricas y funcionales, como asimismo a los hábitos y limitaciones de seres humanos en plena etapa de crecimiento y desarrollo.

Estudios previos^{1,2,7-10} han establecido que el modo más confiable de conocer la capacidad física es medir el consumo de oxígeno durante una prueba continua y progresiva de varios minutos. Si bien las diferencias individuales entre personas del mismo sexo y de similar tamaño corporal y edad son reconocidas, el hecho de realizar un entrenamiento y uno o dos partidos de fútbol semanales eleva su nivel de capacidad aeróbica y contribuye a homogeneizar los valores funcionales ante una prueba ergométrica en pista deslizante.

El objeto de este estudio fue la medición directa del VO_2 mL/kg/min en niños futbolistas, utilizando un nuevo protocolo de esfuerzo de 7:30 minutos de duración en pista deslizante, que fue diseñado en el Hospital de Niños Ricardo Gutiérrez (HNRG), y presentado en diversos trabajos en los Congresos Argentinos de Cardiología en el año 1993¹¹ y 2002¹² respectivamente e incluido en el Consenso de Prueba Ergométrica Graduada en el año 2010¹³, en varones futbolistas entrenados de 8 a 16 años de edad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sesenta niños sanos en entrenamiento futbolístico, divididos de acuerdo a su nivel de crecimiento y desarrollo en tres grupos de veinte niños, de 8 a 10 años (Grupo A), veinte de 11 a 13 (Grupo B) y veinte de 14 a 16 años (Grupo C) realizaron una prueba de esfuerzo continua en pista deslizante. Ella consistió en 6 minutos de marcha, comenzando a nivel, durante un minuto y aumentando la pendiente 4% cada minuto. Con la pendiente de 20% realizaron una carrera de 90 segundos. La velocidad de marcha varió según el grupo: en el A fue de 2,5 mph, en los B de 3 mph y en los C de 3,5 mph. La carrera final fue de 4 mph, 4.5 mph y 5 mph respectivamente.

El análisis de los gases espirados respiración por respiración, se hizo por el método de circuito abierto (CPX Plus/SQL System Cybermedics, Collins, Boston) y la función cardíaca se registró por ECG continuo en 12 derivaciones (Cardio Perfect 540). Se utilizó una pista deslizante motorizada (Technogym).

Para el análisis estadístico se utilizó software SPSS 17 Worldwide Headquarters, Chicago EE.UU. Todos los valores fueron registrados como media $\pm$ desviación estándar, e intervalos de confianza. Se consideró significativa una $p < 0,05$. Asimismo para analizar la diferencia significativa en relación a los grupos se usó el ANOVA. Se utilizó el Tukey como post prueba para hallar las diferencias específicas entre cada uno.

RESULTADOS

Los promedios de los datos antropométricos de cada grupo están registrados en la *Tabla 1*, donde se observa diferencia significativa en la variable Peso entre A y B ($p < 0,0000$) y entre A y C ($p < 0,0000$), y entre B y C ($p < 0,006$) (Grupo A: 35,15 $\pm$ 7,35 kg., Grupo B: 50,95 $\pm$ 6,73 kg. y Grupo C: 57,95 $\pm$ 6,5 kg.), en Talla entre A y B ($p < 0,005$) y entre A y C ($p < 0,006$), sin diferencia significativa entre B y C. (Grupo A: 138,85 $\pm$ 8,82

cm, Grupo B: 160 $\pm$ 5,14 cm, Grupo C: 167,35 $\pm$ 6 cm.)

Todos los niños completaron la prueba. El incremento progresivo en la intensidad del ejercicio determina el patrón de cambio en el VO_2 que se registra en mL/kg/min en la *Tabla 2*. Los datos de los 3 grupos fueron analizados con el método ANOVA se registraron los valores medios y el intervalo de confianza de VO_2 mL/kg/min y la post prueba de Tukey observándose diferencias significativas en el 1º min –cuando comienza el ejercicio– entre el Grupo A y el Grupo C ($p < 0,021$), en el 6º min –cuando finaliza la marcha– entre el Grupo A y B ($p < 0,015$) y entre el Grupo A y C ($p < 0,001$), y en el 7:30 –al terminar la carrera– entre el Grupo A y C ($p < 0,012$). El motivo de detención de la prueba fue la finalización del protocolo.

En el *Gráfico 1* se registran los valores medios y el intervalo de confianza de VO_2 mL/kg/min de cada Grupo en cada etapa de la prueba. Se obser-

Gráfico 1. Valores medios e intervalo de confianza de VO_2 para cada grupo en cada etapa de la prueba

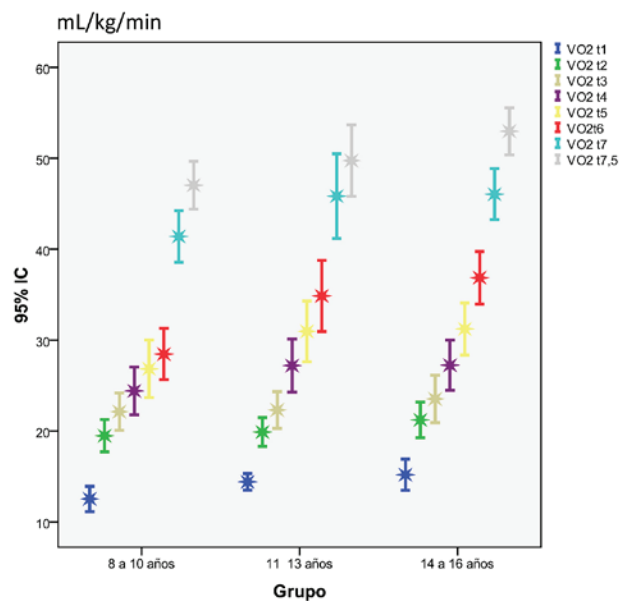


Tabla 1 Datos antropométricos

Grupo	A	B	C
n	20	20	20
Peso, kg	35,15 $\pm$ 7,35	50,95 $\pm$ 6,73	57,95 $\pm$ 6,5
Talla, cm	138,85 $\pm$ 8,82	160 $\pm$ 5,14	167,35 $\pm$ 6

Tabla 2. Incremento de VO_2 mL/kg/min a lo largo de la prueba

	M	I	N	U	T	o		
GRUPO	1	2	3	4	5	6	7	7,5
A	12,5	19,5	22,1	24,4	26,8	28,5	41,4	47,1
D.E.	2,7	3,4	4,02	5,1	6,2	5,3	5,5	5,1
B	14,4	19,9	22,3	27,2	30,9	34,9	45,8	49,8
D.E.	1,7	2,98	3,81	5,5	6,3	7,4	8,7	7,4
C	15,2	21,2	23,5	27,3	31,2	36,9	46,1	53,0
D.E.	3,7	4,2	5,6	5,9	6,1	6,2	6,0	5,5

Tabla 3. Medias y DS de valores pico de FCI/min, VO_2 L/min, VCO_2 L/min, VE L/min, VE/ VCO_2 y Coeficiente R

VALORES PICO	A	B	C
FCI/min	180,2 $\pm$ 8,4	180,5 $\pm$ 8,7	176,1 $\pm$ 11,2
VO_2 L/min	1,5 $\pm$ 1,54	2,7 $\pm$ 0,65	3,03 $\pm$ 0,58
VCO_2 L/min	1,7 $\pm$ 0,86	3,29 $\pm$ 0,85	3,46 $\pm$ 0,63
VE L/min	63,23 $\pm$ 19,79	102,6 $\pm$ 26	97,15 $\pm$ 20,03
VE/ VCO_2	34,7 $\pm$ 4,27	30,15 $\pm$ 2,88	25,82 $\pm$ 2,91
Coeficiente R	1,11 $\pm$ 0,1	1,21 $\pm$ 0,08	1,22 $\pm$ 0,07

varon diferencias significativas para cada grupo entre el 1º y 2º minuto –al principio de la marcha– ($p < 0,025$) y entre el 6º y 7º minuto –cuando comienza la carrera– ($p < 0,001$).

En la *Tabla 3* se muestran los resultados de los valores medios pico al finalizar el protocolo de FC l/min (Frecuencia Cardíaca), VO_2 L/min (Consumo de Oxígeno), VCO_2 L/min (Producción de anhídrido de carbono), VE L/min (Ventilación Pulmonar), VE/VCO_2 (ventilación Pulmonar / Producción de anhídrido de carbono o eficiencia ventilatoria) y Coeficiente R (VCO_2/VO_2).

DISCUSIÓN

La respuesta al ejercicio manifiesta cambios a lo largo del crecimiento y desarrollo, resultando un incremento en el rendimiento físico que es mayor luego de la pubertad, siendo superior en varones.¹⁴ Por otra parte, el diseño y desarrollo de pruebas para medir la capacidad de trabajo físico de niños y adolescentes sanos requiere contemplar la necesaria colaboración del sujeto en los distintos momentos del examen. Ello evita la finalización prematura del esfuerzo determinada por factores psicológicos como el temor y la ansiedad. Normalmente se registra una leve hiperpnea al comenzar la prueba, cuyo origen sería de causa psicológica.⁶

Los efectos del entrenamiento han sido extensivamente estudiados en adultos, pero en niños y adolescentes deportistas, el tema de entrenamiento aeróbico es motivo de controversia.¹⁵ El aumento del máximo consumo de O_2 está asimismo asociado a adaptaciones circulatorias pues se incrementan los volúmenes minuto cardíaco, plasmático, de la hemoglobina, de la concentración de eritrocitos y de la capacidad de transporte de O_2 .¹⁶⁻¹⁸

Baltaci, registra un 20% de diferencia entre el máximo VO_2 en nadadores de 9 a 11 años respecto a no deportistas de la misma edad.¹⁹

La Prueba de Esfuerzo es un estudio complementario ampliamente utilizado en Cardiología Pediátrica para evaluar la respuesta al ejercicio de las variables medidas (Capacidad Funcional, FC, PA), con indicaciones precisas en niños normales y deportistas, en niños con diferentes tipos de arritmias y trastornos de conducción, en la evaluación de cardiopatías congénitas operadas o no, valvulopatías, miocardiopatías, trastornos electrocardiográficos etc.

La Prueba Ergométrica convencional evalúa respuesta al ejercicio de la Frecuencia Cardíaca y la Presión arterial e indirectamente la Capacidad

Funcional en mets, donde 1 met es igual a 3,5 mL/kg/min, pero en este tipo de prueba los mets son inferidos. La Prueba de Esfuerzo con medición directa del consumo de oxígeno, aporta valores reales del mismo, además de otros datos que fueron evaluados en este estudio como:

- VO_2 mL/min pico.
- VCO_2 mL/min pico.
- Coeficiente R definido como el cociente entre VCO_2/VO_2 , (cuando el ejercicio alcanza una alta intensidad el VCO_2 supera el VO_2 , su relación es 1 o + de 1. Se acepta un valor pico $> 1,1$ como excelente esfuerzo físico).
- Ventilación pulmonar (VE) pico.
- La relación VE/VCO_2 en el umbral anaeróbico considerado como eficiencia ventilatoria, cuyo valor normal debe ser menor de 30 en adultos y se acepta hasta 35 en niños prepuberales.

En este trabajo se observa como los valores de dicha relación van bajando en los protocolos B y C (niños puberales y post-puberales), y el valor de VCO_2 L/min pico lo que contribuye a una mejor comprensión fisiopatológica de la respuesta al ejercicio de nuestros pacientes.

El protocolo en Pista deslizante más utilizado en pediatría, es el Protocolo de Bruce, y de acuerdo a los percentilos desarrollados en el Hospital de Niños Ricardo Gutiérrez²⁰ un niño de 6 años alcanza el percentilo 50 en 3 etapas y media del mismo (equivalente a 10 minutos 45 segundos), un niño de 15 años en 4 etapas y media (13 minutos 55 segundos), una niña de 6 años en 3 etapas y un tercio (10 minutos), y una niña de 15 años completa en el percentilo 50 cuatro etapas del Protocolo de Bruce (12 minutos). Teniendo en cuenta estos valores, se diseñaron estos tres Protocolos A, B, y C.

Los tres protocolos que se utilizaron en este estudio experimental resultaron adecuados a la finalidad clínico-diagnóstica, de acuerdo a lo informado en la última década en el Servicio de Cardiología del HNRG, donde se han realizado alrededor de 7.000 estudios con los mismos, en niños sanos, con arritmias y cardiopatías leves. Su diseño aparece como adecuado para motivar y dar confianza a los pacientes dado que el incremento de la intensidad del esfuerzo elevando paulatinamente la pendiente pospone el aumento de la velocidad y sólo se emplean 90 segundos en esta condición. Así se acorta el tiempo de la prueba, lo cual es muy valioso, para obtener una mayor colaboración de los niños y además resulta novedoso ofrecer a los niños y jóvenes un tiempo más breve que permita reproducir mejor su actividad

física habitual, carreras cortas. Aunque el diseño de los Protocolos es predeterminado ya que finaliza a los 7:30 minutos, es importante destacar que casi todos los niños alcanzaron el 90% de la Frecuencia Cardíaca máxima esperada (hay que tener en cuenta que estos son niños entrenados) y los valores de VO_2 mL/kg/min fueron similares a los encontrados por otros autores.^{21,22}

Las diferencias entre el Grupo A con respecto al Grupo B y C son más significativas ya que el "A" incluye niños exclusivamente en edad prepuberal y el "B" y el "C" puberales y postpuberales. Si bien las diferencias en los valores de las diferentes variables estudiadas entre los grupos B y C no son tan significativas, se justifica su diferenciación para poder alcanzar una Frecuencia cardíaca máxima o submáxima en protocolos que son pre determinados en pacientes con mayor entrenamiento físico.

CONCLUSIÓN

Los Grupos demostraron diferencias significativas entre sí, las que justifican su diferenciación.

El VO_2 aumenta durante la prueba con mayor incremento en la carrera.

Para cada grupo se obtuvieron valores pico de las variables estudiadas expresadas en media y desvío estándar.

Cada protocolo mostró buena adaptación biomecánica de los participantes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Wasserman K. New concepts in assessing cardiovascular function. *Circulation*. 1988; 78: 1060-71.
2. Saltin B., Astrand P-O. Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol* 1967;23(3):353-8.
3. Astrand P-O. Human physical fitness with special reference to sex and age. *Physiol Rev*.1956;36(3):307-35.
4. Leveroni AF, Rhodius EE, Mirone AB, et al. Mediciones del costo energético y variables cardiorrespiratorias en una serie de ejercicios gimnásticos para pacientes coronarios. *Rev Argent Cardiol* 1978;46(3):177-187.
5. Leveroni AF. Fisiología del Ejercicio en "Fisiología Humana" de Houssay 1980, VG. Foglia, ed. El Ateneo, Buenos Aires.
6. Wasserman K, Whipp BJ, Davis JA. Respiratory physiology of exercise: metabolism, gas exchange, and ventilatory control. *Int Rev Physiol* 1981; 23:149-211.
7. Leveroni AF, Abella I, Rodríguez Coronel A, et al. Measurement of oxygen consumption in trained children during treadmill test. *Biocell* 2002; 28 (2):272.
8. Wasserman K, Van Kessel AL, Burton GG. *Interaction of physiological mechanisms during exercise*. *J. Appl Physiol*. 1967 Jan; 22(1):71-85.
9. Prommer N, Thomas S, Quecke L, et al. Total Hemoglobin Mass and Blood Volume of Elite Kenyan Runners *Med Sci Sports Exerc*. 2010 Apr;42(4):791-97.

10. Davis JA, Sorrentino KM, Ninness EM, et al, Test-retest reliability for two indices of ventilatory efficiency measured during cardiopulmonary exercise testing in healthy men and women. *Clin Physiol Funct Imaging* 2006; 26 (3):191-196.
11. Leveroni A.; Abella I.; Saavedra C.; et al. Nueva Prueba Cardiovascular de Aptitud física infantil. XX Congreso Argentino de Cardiología. Agosto 1993.
12. Abella I.; Leveroni A.; Pintos L.; et al. Medición del consumo de oxígeno en una nueva Prueba Ergométrica en niños y adolescentes futbolistas. XXIX Congreso Argentino de Cardiología. X Congreso Argentino de Cardiología Pediátrica. Octubre 2002.
13. Consenso Prueba Ergométrica Graduado. *Rev. Arg. Card*. Vol.78 N° 1, Enero-Febrero 2010; 74 -89.
14. Rowland T. W. Developmental aspects of physiological function relating to aerobic exercise in children. *Sports Medicine* 1990; 10 (4): 255 -266..
15. Wasserman K, Hansen J.E, et al. Principles of exercise testing and interpretation. 1999; 3er. ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
16. Wasserman K, Exercise gas exchange, breath-by-breath. *Am J Resp Crit Care Med* 2002; 165: 325-326.
17. Bacquet G, van Praagh E, Berthoin S. Endurance training and aerobic fitness in young people. *Sports Med*. 2003; 33(15):1127-1143.
18. Schmidt W, Prommer N Impact of alterations in total hemoglobin mass on VO_2 max. *Exerc Sport Sci Rev*. 2010 Apr; 38(2):68-75.
19. Baltaci G, Ergun N. Maximal oxygen uptake in well-trained and untrained 9-11 year-old children. *Pediatr Rehabil*. 1997 Jul-Sep; 1(3):159-62.
20. Berri, Gustavo G., López, Marta S., Abella, Inés T., et al. Prueba de Esfuerzo en niños sanos. Estándares de referencia de variables fisiológicas. Premio "Sociedad Argentina de Cardiología" 1990. Publicado por la Sociedad Argentina de Pediatría. Agosto 1990.
21. Harkel A, Takken T, Van Osch-Gevers M. et al. Normal Values for cardiopulmonary exercise testing in children. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*. 2011; 18: 48 -54.
22. Krahenbuhl G., Skinner J., Kohrt W. Developmental aspects of maximal aerobic power in children. *Exerc. Sport Sci. Rev*. 1985; 13: 503-538.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Fundación *El Futbolista* y las facilidades en el uso de instrumental y laboratorios a *Futbolistas Argentinos Agremiados* y la colaboración en el análisis estadístico del Dr. Nicolás Rodríguez León y del Dr. Claudio Morós.

Texto recibido: 27 de enero 2017.

Aprobado: 2 de agosto 2017.

No existen conflictos de interés a declarar.

Forma de citar: Leveroni A y col. Medición del consumo de oxígeno durante una prueba ergométrica en futbolistas infantiles. *Rev. Hosp. Niños (B. Aires)* 2017;59(266):171-176.

ADDENDA

Tabla 4. VO2 para los protocolos A, B, y C en todas las etapas de la prueba

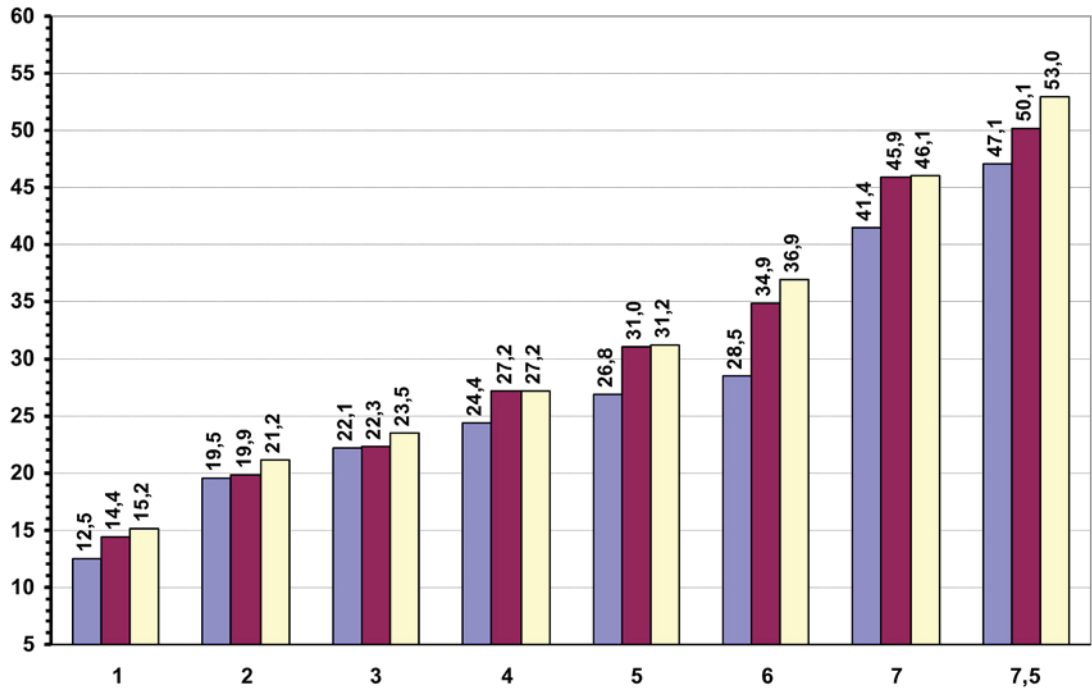


Tabla 5. Mets para los Protocolos A, B, y C en todas las etapas de la prueba

GRUPO A							
1	2	3	4	5	6	7	7,5
3,92	5,74	6,28	6,98	7,67	8,14	13,01	13,44
1,1	1,2	1,1	1,5	1,8	1,6	1,3	1,5
GRUPO B							
1	2	3	4	5	6	7	7,5
4,00	5,35	6,80	7,75	8,98	10,11	13,44	14,79
0,5	1,2	1,5	1,6	1,8	2,1	2,4	1,9
GRUPO C							
1	2	3	4	5	6	7	7,5
4,34	5,87	6,73	7,77	8,92	10,54	13,09	15,14
1,0	1,2	1,6	1,6	1,8	1,8	1,8	1,6