



ORIGINAL

Rol de la intervención de la maduración biológica y de los factores antropométricos en el índice de reserva cardíaca en niños adolescentes iraníes

Farzad Nazem*, Akbar Sazvar

BU-ALI Sina University, Hamedan, Iran

Recibido el 28 de febrero de 2015; aceptado el 25 de mayo de 2015

PALABRAS CLAVE

Maduración;
Antropometría;
Gradiente de eficiencia
del consumo de
oxígeno (OUES)

Resumen

El desarrollo y los cambios en el organismo, especialmente los cambios en el proceso de maduración biológica, pueden implicar grandes diferencias en los parámetros fisiológicos de respuesta al ejercicio. En consecuencia, es importante el papel del nuevo índice del gradiente de eficiencia del consumo de oxígeno (*oxygen uptake efficiency slope* [OUES]), porque incluye variables de intervención de maduración biológica y factores antropométricos, como el peso corporal, el área de superficie corporal (ASC) y la masa corporal magra (MCM), que pueden medir la función cardiorrespiratoria de niños con niveles de maduración normal o anormal (precoz o tardía) y aportar una información de gran precisión sobre su salud. Setenta y dos hombres jóvenes sanos, de una mediana de edad de $13,95 \pm 1,8$ años e IMC de $19,91 \pm 3,4$ kg/m², fueron clasificados en 2 grupos: pubertad normal ($n = 33$) y maduración anormal ($n = 39$). Tras obtener su consentimiento, se les calculó la capacidad aeróbica máxima con un test de consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), con un analizador de gases (VE , VO_2 y VCO_2). Además se calculó el índice OUES, según la relación logarítmica de Baba. Se observó una alta correlación entre el valor VO_{2max} y el índice fisiológico OUES ($R^2 = 0,90$; $SEE = 292$). El índice OUES no presentó diferencias significativas entre los grupos de maduración normal y anormal, con y sin inclusión del peso, ASC y MCM ($p > 0,05$). Se obtuvo una correlación significativa entre VO_{2max} y el índice normalizado OUES con las variables antropométricas ($R = 0,83$, $R = 0,87$, $R = 0,91$, $p = 0,00$). El peso y los índices ASC y MCM influyen en el índice OUES, pero el rol que representa el índice ASC, en relación con el índice de rendimiento cardíaco, fue más importante que el de los otros 2 parámetros. Parece que, debido a la falta de intervención del efecto de la maduración sobre este índice, se puede aplicar al estudio de la respuesta fisiológica del sistema cardiorrespiratorio de los niños, independientemente de su madurez.

© 2015 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: farzadnazem2@gmail.com (F. Nazem)

KEYWORDS

Maturity;
Anthropometry;
Oxygen uptake
efficiency slope (OUES)

The role of biological maturation intervention and anthropometric factors on cardiac reserve index (OUES) in Iranian teenage boys

Abstract

The development and organism change, especially changes in biological maturation process, is impressive on the physiological parameters in response to exercise. Hence, the new index oxygen uptake efficiency slope (OUES) role with biological maturity intervention and anthropometric factors of body weight, BSA and LBM which can measure the cardiorespiratory function in children maturity level normal and abnormal (early or late) with high health and safety is important. Seventy-two healthy young males, with a mean age 13.95 ± 1.8 years and BMI 19.91 ± 3.4 kg/m were separated into two groups of normal puberty ($n = 33$) and abnormal maturation ($n = 39$). After consent obtaining, their VO_{2max} was determined by maximal aerobic test via gas analyzer (VE, VO_2 and VCO_2). The new index OUES was also determined according to logarithmic relationship Baba. A high correlation was observed between VO_{2max} and OUES physiological index ($R2 = 0.90$, $SEE = 292$). There was no significant difference in the index OUES with and without the intervention of weight, BSA and LBM between normal and abnormal maturation of boys ($p > 0.05$). Significant correlation between VO_{2max} and normalized OUES with anthropometric variables was obtained ($R = 0.83$, $R = 0.87$, $R = 0.91$, $p = 0.00$). OUES is influenced by weight, BSA and LBM. But the BSA role in the index of cardiac performance was more sensitive than the other two parameters. It appears that due to the lack of intervention maturation effect on this index, during the study of cardiorespiratory system physiological responses of children to exercise, regardless of the maturity the application of this index is possible.

© 2015 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

La maduración es una etapa del desarrollo físico asociada a la aparición y evolución de los síntomas sexuales secundarios, y se le atribuye el símbolo de las funciones fisiológicas del cuerpo. Por consiguiente, es importante su proceso de desarrollo y evolución en la valoración de la salud en general¹.

Las consecuencias de la maduración biológica son distintas entre comunidades, porque, además de los factores genéticos, étnicos y geográficos, influyen factores sociales y económicos en la formación, retraso y desarrollo de las etapas².

Los cambios de desarrollo del organismo durante la maduración pueden afectar a factores fisiológicos como la aptitud cardiorrespiratoria, mientras que los cambios de la capacidad efectiva (VO_{2max}) en el desarrollo y evolución del cuerpo a menudo se hallan más influidos por la masa libre de grasa que por el peso corporal. Además, la mediana de VO_{2max} por kg de masa libre de grasa (MLG) disminuye durante el envejecimiento y al alcanzar la madurez. Generalmente, en el proceso de desarrollo y crecimiento del organismo la capacidad eficaz del sistema cardiovascular se somete a cambios igual que las otras variables fisiológicas. A pesar de ello, el patrón de los cambios no está asociado a una intervención de actividad deportiva, sino que depende de la calidad del desarrollo anatómico de los órganos y de si el impacto de tales intervenciones antropométricas en el VO_{2max} (estandarización) ha sido o no valorado por los investigadores. Surge la posibilidad de error en los resultados y de hallazgos no fiables^{3,4}.

Por otro lado, la medición del intercambio respiratorio de gases durante las pruebas de esfuerzo es un método válido, eficiente y no invasivo para evaluar la eficiencia del

sistema cardiovascular, la fisiología respiratoria y el metabolismo de los músculos esqueléticos activos del cuerpo. En este contexto, el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) es el volumen mitocondrial máximo de las miofibrillas lentas que se utilizan en los tests de consumo máximo a nivel del mar⁵.

Desde una perspectiva teórica el VO_{2max} es el punto en que el costo de oxígeno de la miofibrilla activa bajo carga de trabajo específico en la trayectoria de equilibrio entre 2 escalas del «volumen de oxígeno necesario para el metabolismo oxidativo y el volumen consumido de VO_2 durante las reacciones químicas mitocondriales» alcanza el nivel fisiometabólico intracelular, de manera que, incluso aumentando la intensidad del ejercicio, no aumenta la cantidad de oxígeno activo de la miofibrilla⁶⁻⁸.

Sin embargo, el VO_{2max} durante mucho tiempo ha sido utilizado como índice de referencia para medir el nivel de aptitud cardiorrespiratoria en diferentes grupos de edad y está influido por factores biológicos como la edad, la genética, factores ambientales y el estilo de vida, la dieta y las dimensiones antropométricas del cuerpo o una combinación de todas estas variables⁹.

La evidencia científica sugiere la medición exacta del consumo máximo de oxígeno durante la prueba de esfuerzo, que está relacionada con el esfuerzo máximo del individuo. Es posible que algunos sujetos, especialmente los de un rango de edad de niño o adolescente, no puedan mostrar una gran motivación y fundamentalmente su capacidad para participar en los protocolos de esfuerzo. También que algunos pacientes con insuficiencia cardiovascular o respiratoria, hipertensión, insuficiencia renal y diabetes, encuentren unas restricciones concretas, como la selección y ejecución de tests exhaustivos máximos completos, que

no son inocuos y pueden estar asociados a ciertos riesgos⁹.

Por tanto, parece que evitar protocolos deportivos o ensayos clínicos, implementando un índice fisiológico eficiente que, sin precisar de tests máximos, pero teniendo en cuenta factores de maduración antropométricos y biológicos, ofrece una valoración segura y precisa del rendimiento del sistema cardiorrespiratorio en individuos jóvenes. En este sentido, la investigación científica introdujo un nuevo criterio para medir el rendimiento de transferencia de oxígeno, el *oxygen uptake efficiency slope* (OUES) o gradiente entre el consumo de oxígeno y la ventilación minuto en la medición del rendimiento cardiorrespiratorio, muy preciso y más convincente que el VO_{2max} ¹⁰.

OUES es un índice distinto para valorar el sistema de transferencia de oxígeno desarrollado en 1996 por Baba et al.¹¹ que fue considerado apropiado por los investigadores de ciencias biológicas¹¹⁻¹³. De manera que Akkerman et al.¹⁴, en 2010, publicaron una revisión de los estudios sobre OUES llevados a término durante aquellos 14 años, y Buys et al.¹⁵, en 2014, elaboraron una normativa del índice OUES. La literatura científica disponible presupone la importancia de este nuevo índice.

OUES es la pendiente de la línea entre los 2 componentes del consumo de oxígeno (VO_2) y la ventilación pulmonar (VE) durante el test de esfuerzo incremental en la cinta de correr, lo cual representa un aumento del consumo de oxígeno en respuesta al aumento de la ventilación minuto de la actividad física bajo carga de un trabajo específico y puede ser calculado a partir de la relación lineal $VO_2 = \log VE + b$. En esta fórmula, el gradiente (a) es un índice de consumo de oxígeno o OUES. Baba et al.^{11,12} convirtieron los cambios gráficos de ΔVO_2 , ΔVE en una relación lineal calculando el logaritmo de ventilación por minuto. Además, el gradiente de la línea entre VO_2 , $\log VE$ fue calculado e introducido como índice distinto para medir el rendimiento cardiorrespiratorio o gradiente de eficiencia del consumo de oxígeno (OUES). Así, se obtuvo la correlación OUES en ratios de 90 y 75% del tiempo de ejecución del test de esfuerzo máximo y exhaustivo en $R = 0,96$ y $R = 0,94$, respectivamente. En otras palabras, referente a las condiciones de trabajo aeróbico submáximo, es posible medir con una gran fiabilidad la capacidad funcional de los individuos, de forma paralela a un protocolo máximo.

Estudios previos indican que OUES es altamente fiable para medir la función cardiorrespiratoria, especialmente en los niños. En este sentido, el estudio de Rogowski et al.¹⁰ sobre los efectos de la maduración biológica del índice OUES de los 8 a los 27 años reveló que dicho índice está influido por la maduración, es decir, los que todavía no son maduros tienen un índice OUES inferior al de sus compañeros adultos. Cuando OUES se normaliza, y se corrige el peso corporal, se invierte la diferencia. Este es el único estudio válido que investigó el efecto de OUES en la maduración de los chicos.

Además, Akkerman et al.¹⁶ mostraron una gran correlación de $R = 0,95$ en ambos índices, OUES y VO_{2max} , en chicos sanos de 7 a 17 años. En cambio no encontraron diferencias significativas del índice OUES al realizar 2 patrones de esfuerzo físico exhaustivo y submáximo estándar, y se determinó que OUES estaba influido por variables antropométricas y, por tanto, se sugirió que era preciso corregirlo con los factores de intervención del ASC y la MCM. El estudio clínico

de Gademan et al.¹⁷ con pacientes cardíacos mostró la validez de este índice para medir el rendimiento del sistema cardiorrespiratorio. Gruet et al.¹⁸ describieron la correlación $R^2 = 0,83$ en pacientes cardiorrespiratorios entre la escala de valoración cardiorrespiratoria VO_{2max} y OUES al 80% del tiempo del test aeróbico máximo de los pacientes.

El reporte de Giardini et al.¹⁹ sobre pacientes jóvenes que se habían sometido a una operación a corazón abierto reveló que los hallazgos fisiológicos de los sujetos de la segunda parte del protocolo aeróbico máximo, es decir, un 50% del protocolo ergométrico, podía ser utilizado en la valoración clínica de la reserva cardiorrespiratoria. En este estudio, la correlación entre los 2 índices, OUES y VO_{2max} en estos pacientes fue $R = 0,71$. Otra evidencia científica sobre niños obesos^{20,21} o de peso normal^{22,23} también señaló que OUES puede ser utilizado en distintas edades para valorar el nivel de aptitud cardiorrespiratoria.

El reporte de Marinov y Kostianev²⁰ sobre la influencia de la composición corporal en OUES mostró que en los niños obesos es inferior a la de los no obesos. En cambio, cuando la escala fisiológica se ajustó al peso corporal, OUES en los niños obesos fue mayor que el de la población general.

En consecuencia, se puede afirmar que aprovechando las ventajas del índice OUES en las condiciones de aplicación del test submáximo y en menor tiempo, con la misma fiabilidad y ponderación que en los protocolos del test aeróbico máximo estándar, la respuesta clínica o umbral de seguridad de la respuesta fisiológica puede ser valorada bajo determinada carga.

De acuerdo con la literatura científica, el impacto simultáneo de la maduración y la composición corporal sobre el índice OUES no ha sido tenido en cuenta. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue investigar la intervención de la maduración biológica en el índice OUES de adolescentes chicos con las variables antropométricas de peso corporal, ASC y MCM.

Material y método

En primer lugar se seleccionaron aleatoriamente 4 escuelas (2 escuelas de primaria y 2 de secundaria) de la zona de Hamadan. Luego, 72 chicos sanos de edades comprendidas entre los 11 y los 17 años participaron voluntariamente en este estudio, con el consentimiento y la autorización escrita de sus padres y entrenadores. El protocolo de la investigación fue aprobado por el comité de ética de la Hamadan University of Medical Sciences & Health Services. Los sujetos y sus padres se familiarizaron con los objetivos del proyecto. Los sujetos completaron el cuestionario de aptitud física PAR-Q, de la *American Association of Sports Medicine*, y los datos antropométricos con los percentiles del IMC^{24,25} establecidos en las cartas de los *American Centers for Disease Control and Prevention* (CDC). El contenido de grasa se obtuvo de la suma de las 2 capas subcutáneas, escapular y tríceps, según el análisis de regresión de Slaughter^{26,27}. La intensidad del test de consumo máximo de oxígeno se obtuvo por 2 métodos: con el test de la frecuencia cardíaca de reserva (FCR) según la fórmula de Karvonen²⁸ y la escala analógica de sensación subjetiva del esfuerzo de Borg (RPE) durante el aumento del tiempo de

ejecución del *Graded Exercise Test* (GXT)²⁹. Para medir los parámetros antropométricos, la altura y la masa corporal y calcular la MCM se utilizó el método de James^{30,31}. La ASC se obtuvo mediante la relación de Haycock et al.³². Para medir la maduración biológica, la maduración precoz y la maduración tardía se utilizó el método de Mirwald et al.³³, basado en la compensación de la maduración y el tiempo para alcanzar el pico de velocidad máxima de crecimiento (PVC).

El protocolo GXT se realizó en la cinta de correr según el método de 1996 de Baba et al.¹¹. Se trata de un programa progresivo estándar diseñado en 10 min para niños, en el cual el aumento de velocidad y la pendiente de la cinta, equipada con un sistema automático de analizador de gases respiratorios (Ganshorn, Alemania), según el incremento de tiempo del ejercicio, el sujeto sigue corriendo, más allá de su nivel de lactato. El criterio utilizado para valorar VO_{2max} incluyó; a) ganancia respiratoria mayor que la unidad ($RER > 1,1$) de acuerdo con la variación $\Delta VCO_2/\Delta VO_2$ en el monitor del sistema; b) cuando el ritmo cardíaco alcanza más de 185 latidos por minuto, y c) la sensación de presión del trabajo corporal equivale a $RPE > 17$ (RPE_{20}) y el anuncio de fatiga es auténtico^{17,34}. En este protocolo, el tiempo de las 4 primeras etapas de ergometría es de 15 s, y para las fases 5-7 se estimaron 3 min. Finalmente, el tiempo total del protocolo GXT fue 10 min^{11,12}. Se calculó el VO_2 con el método directo del analizador de gases de respiración a respiración, y se registró en el ordenador la mediana de las concentraciones de VO_2 , VCO_2 y VE, cada 10 s, y los datos fisiológicos asociados a los últimos 20 s de la prueba de esfuerzo se utilizaron para determinar la capacidad real de los niños (VO_{2max}). La frecuencia cardíaca durante la carrera en la cinta de correr se midió por telemetría (Polar modelo T34, Alemania) cada segundo hasta el final del protocolo y se archivó en un dispositivo de memoria. Luego se calculó el valor de OUES a partir de la relación lineal $OUES = \text{alfa} \log VE + b^{11}$. Se investigaron las variables cardiovasculares en estudio, transcurridas 2 o 3 h de haber ingerido una comida frugal con alguna pasta, fruta o café, con zapatillas y ropa deportiva a las 4 y a las 6 de la tarde. El test GXT se realizó en el laboratorio de fisiología del esfuerzo de la Universidad de Bu-Ali Sina a una temperatura de 19 a 21 °C, y con una

humedad relativa entre el 39 y el 43%, a 1.860 m sobre el nivel del mar.

Método estadístico

Para el análisis de datos se utilizó el software estadístico SPSS v.16. Para contrastar la distribución normal de los valores de VO_2 de los sujetos se utilizó el test de Shapiro-Wilk en los grupos de maduración normal y no normal. Además se utilizó el test *t* de variables independientes para garantizar el impacto de la maduración natural y la maduración no natural del índice OUES, en función de los parámetros antropométricos seleccionados. Se usó la relación lineal de regresión para determinar la relación de los 2 índices fisiológicos, OUES y VO_2 , en 2 situaciones de eficacia simultáneas: el factor de intervención de antropometría y el nivel de maduración y sin intervención. Los datos de la estadística descriptiva se determinaron en función de la mediana \pm DE. El alfa se estableció en $p \leq 0,05$ para todas las estadísticas.

Resultados

En el cálculo de maduración biológica de 72 chicos jóvenes sanos de 11 a 17 años, 33 sujetos fueron clasificados en el grupo de maduración normal y 39 en el grupo de maduración no normal. Las características antropométricas y fisiológicas de los niños se presentan en la tabla 1. Referente a la frecuencia cardíaca de entrenamiento ($199,8 \pm 4,6$) latidos por minuto, porcentaje de la frecuencia cardíaca de reserva ($94,68 \pm 3,81$) y ratio de intercambio respiratorio (VCO_2/VO_2 : $1,26 \pm 0,08$), se puede afirmar que los sujetos realizaron su esfuerzo máximo en la ejecución del protocolo de GXT según el método de Baba et al. El valor medio del pico de consumo de oxígeno relativo ($37,12 \pm 10$ mil $\text{min}^{-1} \text{kg}^{-1}$) podría indicar el rendimiento cardiovascular aeróbico máximo real y puede ser utilizado para validar OUES en niños durante una prueba de esfuerzo aeróbica máxima inocua. Además, se observa una alta correlación entre los 2 índices fisiológicos, OUES y VO_{2max} . Como se observa en la tabla 2, OUES (en la antropometría sin intervención o normalización) no mostró ninguna

Tabla 1 Características antropométricas y fisiológicas durante una prueba de esfuerzo incremental en chicos adolescentes

VARIABLES	SEM	DE	Mitjana
Peso (kg)	1,55	13,15	51,64
Edad (años)	0,21	1,8	13,95
RPE (20)	0,1	0,9	18,6
% grasa corporal	1,2	10,3	20,7
MCM (kg)	1,1	9,3	43,31
ASC (m ²)	0,03	0,25	1,51
%IMC	3	2,55	40,7
FC _{ejercicio} (bp/min)	0,55	4,6	199,8
%FCR	0,45	3,8	94,7
RER: VCO_2/VO_2	0,009	0,08	1,26
VO_{2max} (l min^{-1})	0,1	0,83	1,96
VO_{2max} (mil $\text{min}^{-1} \text{kg}^{-1}$)	1,18	10	37,12
$OUES_{max}$ (VO_2 mil min^{-1})/ \log_{10} VE (l min^{-1})	105,3	893,7	1663,2

Tabla 2 Test de muestras independientes de OUES y VO_{2max} en 2 grupos: maduración normal y anormal

Variables	Sig	t	Mediana \pm DE	
			Maduración normal	Maduración no normal
VO_{2max} (L min^{-1})	0,21	1,26	1,85 \pm 0,74	2,1 \pm 0,92
VO_{2max} (ASC): (mil $min^{-1} m^{-2}$)	0,4	0,85	1230 \pm 370	1315 \pm 467
VO_{2max} (MCM): (mil $min^{-1} ASC kg^{-1}$)	0,78	0,28	37,43 \pm 10,7	38,5 \pm 13,5
VO_{2max} (mil $min^{-1} kg^{-1}$)	0,8	0,25	36,8 \pm 9,67	37,4 \pm 10,5
OUES _{max} (no normalizado) ([mil $min^{-1} VO_2$]/[L $min^{-1} VE$])	0,12	1,6	1511 \pm 813	1843 \pm 963
OUES _{max} (peso corporal) ([mil $kg^{-1} min^{-1} VO_2$]/[mil $kg^{-1} min^{-1} VE$])	0,33	0,98	29,54 \pm 13,7	32,7 \pm 13,2
OUES _{max} (MCM) ([mil $kg^{-1} min^{-1} VO_2$]/[mil $kg^{-1} min^{-1} VE$])	0,23	1,21	34,8 \pm 14,7	39,2 \pm 15,7
OUES _{max} (ASC) ([mil/ $m^2/min VO_2$]/[mil/ $m^2/min VE$])	0,18	1,34	992 \pm 445	1.141 \pm 491

Tabla 3 Correlación entre OUES y VO_{2max} con normalización y sin normalización

Variables	VO_{2max} (l min^{-1})			VO_{2max} (mil $min^{-1} kg^{-1}$)		
	R			R		
	Total	Maduración normal	Maduración anormal	Total	Maduración normal	Maduración anormal
OUES _{max} (no normaliza)	0,95 Sig = 0,00	0,95 Sig = 0,00	0,96 Sig = 0,00	0,81 Sig = 0,00	0,86 Sig = 0,00	0,78 Sig = 0,00
OUES _{max} (peso corporal)	0,83 Sig = 0,00	0,9 Sig = 0,00	0,81 Sig = 0,00	0,89 Sig = 0,00	0,92 Sig = 0,00	0,87 Sig = 0,00
OUES _{max} (MCM)	0,87 Sig = 0,00	0,9 Sig = 0,00	0,89 Sig = 0,00	0,87 Sig = 0,00	0,88 Sig = 0,00	0,88 Sig = 0,00
OUES _{max} (ASC)	0,91 Sig = 0,00	0,93 Sig = 0,00	0,92 Sig = 0,00	0,86 Sig = 0,00	0,88 Sig = 0,00	0,86 Sig = 0,00

Tabla 4 Correlación entre OUES y VO_{2max} con normalización y sin normalización

Variables	VO_{2max} (ASC): (mil $min^{-1} m^{-2}$)			VO_{2max} (MCM): (mil $min^{-1} MCM kg^{-1}$)		
	R			R		
	Total	Maduración normal	Maduración anormal	Total	Maduración normal	Maduración anormal
OUES _{max} (no normaliza)	0,88 Sig = 0,00	0,86 Sig = 0,00	0,9 Sig = 0,00	0,71 Sig = 0,00	0,72 Sig = 0,00	0,71 Sig = 0,00
OUES _{max} (peso corporal)	0,87 Sig = 0,00	0,88 Sig = 0,00	0,88 Sig = 0,00	0,81 Sig = 0,00	0,72 Sig = 0,00	0,84 Sig = 0,00
OUES _{max} (MCM)	0,91 Sig = 0,00	0,9 Sig = 0,00	0,93 Sig = 0,00	0,84 Sig = 0,00	0,85 Sig = 0,00	0,85 Sig = 0,00
OUES _{max} (ASC)	0,91 Sig = 0,00	0,9 Sig = 0,00	0,93 Sig = 0,00	0,81 Sig = 0,00	0,82 Sig = 0,00	0,82 Sig = 0,00

diferencia significativa entre los niños de maduración normal y los de maduración no normal. Tras haber sido normalizado OUES en función de las variables de peso, ASC y MCM, se mantuvo el patrón de falta de diferencias entre grupos.

Al igual que en la relación de valores de los índices OUES y VO_{2max} en forma absoluta (sin normalización) y relativa o con normalización en función del peso, ASC y MCM, con referencia a las tablas 3 y 4, se observa una alta correlación

entre estos 2 índices fisiológicos con las variables antropométricas seleccionadas.

Discusión

En esta investigación, sobre la importancia de OUES en la valoración de la eficiencia del sistema cardiorespiratorio en

rangos de edad diferentes y en distintos individuos, se valoró el efecto de la maduración de OUES en niños adolescentes con maduración normal y no normal, y el efecto de las variables antropométricas, como peso corporal, ASC y MCM en OUES, y el proceso de crecimiento del organismo del niño durante la maduración. Como se observa en la tabla 2, la mediana absoluta de OUES (sin normalizar) en 1.843 niños ($[\text{mil min}^{-1} \text{VO}_2] / [\text{L min}^{-1} \text{VE}]$) de maduración normal fue mayor que la de sus compañeros de maduración no normal, sin que fuera significativa. En otras palabras, el nivel de maduración (madurez precoz, madurez tardía) no influye significativamente en el índice OUES. Cuando OUES fue normalizado referente a las variables antropométricas seleccionadas, obtuvimos los mismos resultados.

Es importante mencionar que no se ha localizado literatura científica sobre el efecto de la maduración normal y no normal en OUES, pero el estudio de Rogowski et al.¹⁰ con individuos sanos de 8-27 años, que clasificó en 4 grupos (antes de la maduración, a mitad de la maduración, después de la maduración y adultos), describía una diferencia significativa entre el valor absoluto de OUES en grupos antes de la maduración y a mitad de la maduración. Naturalmente, cuando el peso y la MLG se normalizaron, el resultado del valor relativo de OUES se invirtió. No investigaron el efecto de la maduración precoz y de la maduración tardía, pero el resultado general del estudio de Rogowski et al. fue el efecto de la maduración en OUES, que no concuerda con nuestro estudio. Esta diferencia puede ser debida a que el estudio de Rogowski et al. clasifica a los individuos en 4 grupos de edad en lugar de nivel de madurez. A medida que aumenta la edad aumentan los valores relativos de OUES y el resultado del estudio previo dependía probablemente de este factor.

Según las tablas 2 y 3, cuando el $\text{VO}_{2\text{max}}$ se normaliza con el peso corporal, la correlación de $\text{VO}_{2\text{max}}$ con OUES alcanza de $R = 0,95$ a $R = 0,81$. Esta reducción de la correlación se halla en ambos grupos, de maduración normal y no normal, tras ser corregida con el peso corporal, lo cual concuerda con el estudio de Sun et al.²³. Ellos describieron el descenso de correlación entre los índices fisiológicos que habían sido normalizados con el peso de sujetos sanos de 17-18 años de $R = 0,95$ a $R = 0,76$. Este resultado mostró que OUES recibía influencia del componente del peso corporal en el rango de edad de niños a adultos²³. Los estudios de Baba et al.¹¹ y Akkerman et al.¹⁶ con niños reportaron el mismo resultado, que el factor de peso tiene un efecto significativo en el índice OUES.

Por otra parte, el estudio de Marinov y Kostianev²⁰, que enfatiza sobre el efecto de la composición corporal en niños obesos y no obesos, reveló que el valor absoluto de OUES en niños obesos era mucho menor que el de sus homólogos normales; en cambio, cuando se normalizaba el peso corporal, el valor relativo de OUES de niños obesos era mayor que el de niños no obesos.

Los estudios de Van Laethem et al.^{35,36} con pacientes cardíacos no solo correlacionaron OUES con $\text{VO}_{2\text{max}}$ sino que, tras haber normalizado, el peso corporal no disminuía sino que aumentaba de $R = 0,73$ a $R = 0,83$. Una posible causa sobre las diferencias del resultado de este estudio clínico con nuestros resultados puede ser debida al bajo nivel de capacidad efectiva de pacientes cardíacos mientras realizaban la prueba de esfuerzo.

En este estudio, cuando se normalizaron ambos índices, $\text{VO}_{2\text{max}}$ y OUES, en función del peso corporal, el grado de

correlación entre los 2 índices se incrementó ligeramente en $R = 0,89$, hecho que probablemente afectó más OUES por el peso corporal, en comparación con los otros índices fisiológicos. En el efecto sobre OUES de las otras variables antropométricas también se notó el papel de las intervenciones de ASC y MCM.

Tal como muestran las tablas 2-4, en 2 grupos de niños de maduración natural y no natural, no se encontró ninguna diferencia significativa entre el valor relativo OUES y $\text{VO}_{2\text{max}}$ en cuanto a ASC y MCM. En cambio, se halló una gran correlación con los valores relativos de $\text{VO}_{2\text{max}}$ en ambos grupos. Sin embargo, se observó una mayor correlación entre OUES normalizado con ASC y $\text{VO}_{2\text{max}}$ (ASC) en varones de maduración natural ($R = 0,93$), hecho que demuestra que las variables antropométricas pueden tener un efecto similar en el índice OUES.

En consonancia con nuestros resultados, Marinov et al.³⁷ obtuvieron una correlación menor entre los índices OUES y $\text{VO}_{2\text{max}}$ tras ser normalizados por ASC de $R^2 = 0,88$ a $R^2 = 0,76$. La valoración clínica de Bongers et al.³⁸ obtuvo correlación de OUES y $\text{VO}_{2\text{max}}$ después de ser normalizados por ASC en niños sanos en $R = 0,78$ y en niños enfermos de fibrosis quística en $R = 0,54$.

En este contexto, Akkerman et al.¹⁴ indicaron que en una revisión de la literatura científica se puede hallar una alta correlación entre OUES y $\text{VO}_{2\text{max}}$ tras ser normalizados por ASC y MCM, hecho que está en consonancia con los resultados hallados en chicos adolescentes iraníes. El estudio de Drinkard et al.³⁹ sobre el impacto del aspecto del cuerpo con niños de 12-17 años reveló que OUES es menor en niños obesos que en los no obesos. En cambio, cuando OUES fue reducido por el factor antropométrico de ASC, fue significativamente menor en niños obesos que en sus compañeros no obesos.

Conclusión

En resumen, en base a los resultados de esta investigación se puede afirmar que OUES está influido por las variables antropométricas seleccionadas. Dicho de otro modo, una asociación significativa entre $\text{VO}_{2\text{max}}$ y el índice de OUES normalizado del peso corporal obtuvo ASC y MCM ($R = 0,83$, $R = 0,87$, $R = 0,91$). Debe tenerse en cuenta que el parámetro de ASC en el índice de rendimiento de la reserva cardíaca es más sensible que los otros 2 parámetros. Según parece, debido a la falta de influencia de la intervención del adulto en dicho índice en el estudio de la respuesta fisiológica al entrenamiento del sistema cardiorrespiratorio de niños, independientemente de la maduración, es posible aplicar este indicador de madurez.

Limitaciones

Entre las limitaciones de este estudio se incluyen el nivel de motivación de los niños para ejecutar protocolos exhaustivos, la falta de medición de la saturación de oxígeno de la sangre arterial durante la prueba de esfuerzo y la aplicación del método para determinar el nivel de maduración de los sujetos, y posiblemente, el tamaño de la muestra estudiada y la manera de seleccionar a los sujetos voluntarios.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Este artículo es una adaptación del proyecto de doctorado en Fisiología del Ejercicio financiado por becas (comisionado de investigación de la Universidad de Bu-Ali Sina). Los autores expresan su agradecimiento al personal del departamento de educación, estudiantes, padres y directores de las escuelas de la ciudad de Hamedan, por su ayuda en la realización de esta investigación.

Bibliografía

- Giddens H, Wang L, Koch G. Secondary sexual characteristics in boys. *Arch Pediatr Adolesc Med*. 2001;155:1022-8.
- Marshall WA, Tanner JM. Variations in pattern of pubertal changes in boys. *Arch Dis Child*. 1970;45:13-23.
- Rowland T. Children's exercise physiology. 2.^a ed. Human Kinetics; 2005.
- Malina R, Bouchard C, Bar-Or O. Growth, Maturation, and Physical Activity. 2.^a ed. Human Kinetics; 2004.
- Kraemer w, Fleck J. Exercise physiology Integrating Theory and Application. 11.^a ed. Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer; 2012.
- Vanhees L, Lefevre J, Philippaerts R. How to assess physical activity? How to assess physical fitness. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2005;12:102-14.
- Armstrong N, Fawkner SG. Aerobic fitness. *Paediatr Exerc Physiol*. 2007;1:161-89.
- Mezzani A, Agostoni P, Cohen-Solal A. Standards for the use of cardiopulmonary exercise testing for the functional evaluation of cardiac patients: A report from the Exercise Physiology Section of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2009;16:249-67.
- Thompson W, Gordon N, Pescatello L. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 8.^a ed. New York: Lippincott Williams & Wilkins; 2010.
- Rogowski MP, Guilkey JP, Stephens BR, Cole AS, Mahon AD. The influence of maturation on the oxygen uptake efficiency slope. *Pediatr Exerc Sci*. 2012;24:347-56.
- Baba R, Nagashima M, Goto M. Oxygen intake efficiency slope: A new index of cardiorespiratory functional reserve derived from the relationship between oxygen consumption and minute ventilation during incremental exercise. *Nagoya J Med Sci*. 1996;59:55-62.
- Baba R, Nagashima M, Nagano Y, Ikoma M, Nishibata K. Role of the oxygen uptake efficiency slope in evaluating exercise tolerance. *Arch Dis Child*. 1999;81:73-5.
- Baba R. The oxygen uptake efficiency slope and its value in the assessment of cardiorespiratory functional reserve. *Congest Heart Fail*. 2000;6:256-8.
- Akkerman M, Vanbrussel M, Hulzebos HJ, Vanhees L. The oxygen uptake efficiency slope (OUES): What do we know. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2010;30:357-573.
- Buys R, Coeckelberghs E. The oxygen uptake efficiency slope in 1411 Caucasian healthy men and women aged 20-60 years: Reference values. *Eur J Prev Cardiol*. 2014;1:1-8.
- Akkerman M, van Brussel B, Bongers E, Hulzebos PJ, Takken T. Oxygen uptake efficiency slope in healthy children. *Pediatr Exerc*. 2010;22:431-41.
- Gademan C, Maaik GJ, Swenne H. Exercise training increases oxygen uptake efficiency slope in chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2008;15:140-4.
- Gruet M, Brisswalter J, Mely L. Clinical utility of the oxygen uptake efficiency slope in cystic fibrosis patients. *J Cyst Fibros*. 2010;9:307-13.
- Giardini A, Specchia S, Gargiulo G, Sangiorgi D, Picchio FM. Accuracy of oxygen uptake efficiency slope in adults with congenital heart disease. *Int J Cardiol*. 2009;133:74-9.
- Marinov B, Kostianev S. Exercise performance and oxygen uptake efficiency slope in obese children performing standardized exercise. *Acta Physiol Pharmacol Bulg*. 2003;27:1-6.
- Drinkard B, Roberts M. Oxygen uptake efficiency slope as a determinant of fitness in overweight adolescents. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39:1811-6.
- Pichon A, Jonville S, Denjean A. Evaluation of the interchangeability of $\dot{V}O_{2max}$ and oxygen uptake efficiency slope. *Can J Appl Physiol*. 2007;27:589-601.
- Sun X-G, Hansen J, Stringer W. Oxygen uptake efficiency plateau: physiology and reference values. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112:919-28.
- Kuczmariski RJ, Ogden CL. 2000 CDC Growth Charts for the United States: Methods and development. *Vital Health Stat*. 2002;246:1-190.
- Guo SS, Roche AF, Chumlea WC, Johnson C, Kuczmariski RJ, Curtin R. Statistical effects of varying sample sizes on the precision of percentile estimates. *Am J Human Biol*. 2000;12: 64-74.
- Dezenberg C, Nagy T, Gowerl B, Johnson R, Goran M. Predicting body composition from anthropometry in pre-adolescent children. *Int J Obes*. 1999;23:253-9.
- Slaughter M, Lohman T, Boileau R, Horswill C, Stillman R, van Loan M. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol*. 1988;60:709-23.
- Myers J, Nieman D. ACSM's Resources for Clinical Exercise Physiology Musculoskeletal, Neuromuscular, Neoplastic, Immunologic, and Hematologic Conditions. 2.^a ed. Wolters Kluwer; 2010.
- Borg G. A category scale with ratio properties for intermodal and inter individual comparisons. En: Geissler HG, Petzold P, editores. *Psychophysical Judgment and the Process of Perception*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften; 1982. p. 25-34.
- James WPT. Research on Obesity. Group Report. London: Her Majesty's Stationery Office; 1976.
- Hallynck TH, Soep H. Should clearance be normalised to body surface or to lean body mass? *Br J Clin Pharmacol*. 1981;11:523-6.
- Haycock G, Schwartz G, Wisotsky D. Geometric method for measuring body surface area: A height weight formula validated in infants, children and adults. *J Pediatr*. 1978;93: 62-6.
- Mirwald R, Baxter-Jones A, Bailey D, Beunen G. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:689-94.
- Hollenberg M, Tager I. Oxygen uptake efficiency slope: An index of exercise performance and cardiopulmonary reserve requiring only submaximal exercise. *J Am Coll Cardiol*. 2000;36: 194-201.
- Van Laethem C, Bartunek J, Goethals M, Nellens P, Andries E, Vanderheyden M. Oxygen uptake efficiency slope, a new submaximal parameter in evaluating exercise capacity in chronic heart failure patients. *Am Heart J*. 2005;149:175-80.
- Van Laethem C, van de Veire N, de Sutter J. Prospective evaluation of the oxygen uptake efficiency slope as a submaximal predictor of peak oxygen uptake in aged patients with ischemic heart disease. *Am Heart J*. 2006;152:9-15.
- Marinov B, Mandadzhieva S, Kostianev S. Oxygen uptake efficiency slope in healthy 7-18 year-old children. *Pediatr Exerc Sci*. 2007:159-70.
- Bongers B, Hulzebos H, Gerardus H, Arets M. Validity of the oxygen uptake efficiency slope in children with cystic fibrosis and mild-to-moderate airflow obstruction. En: The XXVIIth Pediatric Work Physiology (PWP) conference in Mawgan Porth. 2011.
- Drinkard B, Roberts M, Ranzenhofer L, Han J, Yanoff L. Oxygen uptake efficiency slope as a determinant of fitness in overweight adolescents. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39:1811-6.