



TREBALL ORIGINAL

El rol de la intervenció de la maduració biològica i els factors antropomètrics en l'índex de la reserva cardíaca en nens adolescents iranians

Farzad Nazem*, Akbar Sazvar

BU-ALI Sina University, Hamedan, Iran

Rebut el 28 de febrer de 2015; acceptat el 25 de maig de 2015

PARAULES CLAU

Maduració;
Antropometria;
Gradient d'eficiència
del consum d'oxigen
(OUES)

Resum

El desenvolupament i els canvis de l'organisme, especialment els canvis en el procés de maduració biològica, poden implicar grans diferències en els paràmetres fisiològics de resposta a l'exercici. Per tant, és important el rol d'un altre índex del gradient d'eficiència del consum d'oxigen (*oxygen uptake efficiency slope* [OUES]), perquè inclou variables d'intervenció de maduració biològica i factors antropomètrics, com el pes corporal, l'àrea de superfície corporal (ASC) i la massa corporal magra (MCM), que poden mesurar la funció cardiorrespiratòria de nens amb nivells de maduració normal o anormal (precoç o tardana) i aportar una informació de gran precisió sobre la seva salut. Setanta-dos homes joves i sans, d'una mitjana d'edat de $13,95 \pm 1,8$ anys i IMC de $19,91 \pm 3,4$ kg/m² van ser classificats en 2 grups: pubertat normal ($n = 33$) i maduració anormal ($n = 39$). Després d'obtenir el consentiment, se'ls calculà la capacitat aeròbica màxima amb el test de consum màxim d'oxigen (VO_{2max}), amb un analitzador de gasos (VE , VO_2 i VCO_2). També es calculà l'índex OUES, segons la relació logarítmica de Baba. S'observà una correlació alta entre el valor VO_{2max} i l'índex fisiològic OUES ($R^2 = 0,90$; $SEE = 292$). L'índex OUES no presentà diferències significatives entre els grups de maduració normal i anormal, amb i sense inclusió del pes, ASC i MCM ($p > 0,05$). S'obtingué una correlació significativa entre VO_{2max} i l'índex normalitzat OUES amb les variables antropomètriques ($R = 0,83$, $R = 0,87$, $R = 0,91$, $p = 0,00$). OUES està influït pel pes i els índexs ASC i MCM, però el rol que representa l'índex ASC, en relació amb l'índex de rendiment cardíac, fou més important que el dels altres 2 paràmetres. Sembla que, degut a la falta d'intervenció de l'efecte de maduració sobre aquest índex, es pot aplicar a l'estudi de la resposta fisiològica del sistema cardiorrespiratori dels nens, independentment de la seva maduresa.

© 2015 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier España, S.L.U. Tots els drets reservats.

* Autor per a correspondència.

Correu electrònic: 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 ($R^2 = 0.90$, $SEE = 292$). 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.

Introducció

La maduració és una etapa del desenvolupament físic associada a l'aparició i evolució dels símptomes sexuals secundaris, i se li atribueix el símbol de les funcions fisiològiques del cos. Per tant, és important el procés de desenvolupament i evolució en la valoració de la salut en general¹.

Les conseqüències de la maduració biològica són diferents entre comunitats, perquè, a més dels factors genètics, ètnics i geogràfics, factors socials i econòmics i els nivells nutricionals i econòmics influeixen en la formació, retard i desenvolupament de les etapes².

Els canvis de desenvolupament de l'organisme durant la maduració poden afectar factors fisiològics com el *fitness* cardiorrespiratori. Com els canvis de la capacitat real (VO_{2max}) en el desenvolupament i evolució del cos, sovint estan més influïts per la massa lliure de greix que pel pes corporal. A més, la mitjana de VO_{2max} per kg de massa lliure de greix (MLG) disminueix durant l'envelliment i després d'arribar a la maduresa. Generalment, en el procés de desenvolupament i creixement de l'organisme la capacitat real del sistema cardiovascular se sotmet a canvis igual que les altres variables físiques i fisiològiques. Tot i així, el patró de canvis no està associat a una intervenció d'activitat esportiva, sinó que depèn de la qualitat del desenvolupament anatòmic dels òrgans i de si l'impacte d'aquestes intervencions antropomètriques en el VO_{2max} (estandardització) ha estat o no valorada pels investigadors. Sorgeix la possibilitat d'error en els resultats i de troballes no fiables^{3,4}.

D'altra banda, el mesurament de l'intercanvi respiratori de gasos durant les proves d'esforç és un mètode vàlid, efi-

cient i no invasiu per avaluar l'eficiència del sistema cardiovascular, la fisiologia respiratòria i el metabolisme dels músculs esquelètics actius del cos. En aquest context, el consum màxim d'oxigen (VO_{2max}) és el volum mitocondrial màxim d'oxigen de les miofibril·les lentes que s'utilitza en els tests de consum màxim a nivell del mar⁵.

Des d'una perspectiva teòrica, el VO_{2max} és el punt en què el cost d'oxigen de la miofibril·la activa sota càrrega de treball específic en la trajectòria d'equilibri entre 2 escales del «volum d'oxigen necessari per al metabolisme oxidatiu i el volum consumit de VO_2 durant les reaccions químiques mitocondrials» assoleix el nivell fisiometabòlic intracel·lular, de manera que, fins i tot augmentant la intensitat de l'exercici, no augmenta la quantitat d'oxigen actiu de la miofibril·la⁶⁻⁸.

Tanmateix, el VO_{2max} des de fa temps ha estat utilitzat com a índex de referència per mesurar el nivell d'aptitud cardiorrespiratòria de diferents grups d'edat i està influït per factors biològics com l'edat, la genètica, els factors ambientals i l'estil de vida, la dieta i les dimensions antropomètriques del cos, o una combinació de totes aquestes variables⁹.

L'evidència científica suggereix el mesurament exacte del consum màxim d'oxigen durant la prova d'esforç, que està relacionada amb l'esforç màxim de l'individu. És possible que alguns subjectes, especialment els d'un rang d'edat de nen o adolescent, no puguin mostrar una gran motivació i, en el fons, la seva capacitat per participar en els protocols d'esforç. També, que alguns pacients amb insuficiència cardiovascular o respiratòria, hipertensió, insuficiència renal i diabetis es trobin amb unes restriccions

concretes, com la selecció i execució de tests exhaustius màxims complets, que no siguin innocus i puguin estar associats a determinats riscos⁹.

Per tant, sembla que evitar protocols d'esport o assajos clínics implementant un índex fisiològic eficient que, sense necessitat de tests màxims però tenint en compte factors de maduració antropomètrics i biològics, proporciona una valoració segura i precisa del rendiment del sistema cardiorrespiratori en individus joves. En aquest sentit, la recerca científica introduí un criteri nou per mesurar el rendiment de la transferència d'oxigen (*oxygen uptake efficiency slope* [OUES]) o gradient entre el consum d'oxigen i la ventilació minut en el mesurament del rendiment cardiorrespiratori, molt precís i més convincent que el VO_{2max} ¹⁰.

OUES és un índex diferent per avaluar el sistema de transferència d'oxigen desenvolupat per Baba et al.¹¹ el 1996, que fou considerat apropiat pels investigadors de ciències biològiques¹²⁻¹³. De manera que Akkerman et al.¹⁴, el 2010, van publicar una revisió dels estudis sobre OUES duts a terme durant aquests 14 anys, i Buys et al.¹⁵, el 2014, elaboraren una normativa de l'índex OUES. La literatura científica disponible avala la importància d'aquest nou índex¹⁵.

OUES és el gradient de la línia entre els 2 components del consum d'oxigen (VO_2) i la ventilació pulmonar (VE) durant el test d'esforç incremental a la cinta de córrer, la qual cosa representa un augment del consum d'oxigen en resposta a l'augment de la ventilació minut de l'activitat física sota càrrega d'un treball específic i pot ser calculat a partir de la relació lineal $VO_2 = \log VE + b$. En aquesta fórmula, el gradient (a) és un índex de consum d'oxigen o OUES. Baba et al.^{11,12} convertiren els canvis gràfics de ΔVO_2 , ΔVE en una relació lineal calculant el logaritme de ventilació per minut. Després, el gradient de la línia entre VO_2 , $\log VE$ fou calculat i introduït com un índex diferent per mesurar el rendiment cardiorrespiratori o gradient d'eficiència del consum d'oxigen (OUES). Així, s'obtingué la correlació OUES en ràtios de 90 i 75% del temps d'execució del test d'esforç màxim i exhaustiu en $R = 0,96$ i $R = 0,94$, respectivament. En altres paraules, quant a les condicions de treball aeròbic submàxim, es pot mesurar amb una gran fiabilitat la capacitat funcional de les persones, paral·lelament a un protocol màxim.

Estudis previs indiquen que OUES és altament fiable per mesurar la funció cardiorrespiratòria, especialment dels nois. En aquest sentit, el treball de Rogowski et al.¹⁰ sobre els efectes de la maduració biològica de l'índex OUES dels 8 als 27 anys, revelà que l'índex està influït per la maduració, és a dir, els que encara no són madurs tenen un índex OUES inferior al dels seus companys adults. Quan l'OUES es normalitza i es corregeix el pes corporal, s'inverteix la diferència. Aquest és l'únic estudi disponible que investiga l'efecte d'OUES en la maduració dels nois.

També Akkerman et al.¹⁶ mostraren una gran correlació d' $R = 0,95$, en ambdós índexs, OUES i VO_{2max} , en nois sans de 7 a 17 anys, però no es trobaren diferències significatives de l'índex OUES en realitzar 2 patrons d'esforç físic exhaustiu i submàxim estàndard, i es veié que OUES estava influït per variables antropomètriques i, per tant, se suggerí que calia corregir-lo amb els factors d'intervenció de l'ASC i l'MCM. L'estudi clínic de Gademan et al.¹⁷ amb pacients cardíacs mostrà la validesa d'aquest índex per mesurar el rendiment del sistema cardiorrespiratori. Gruet et al.¹⁸ in-

formaren sobre la correlació $R^2 = 0,83$ en pacients cardiorrespiratoris entre l'escala de valoració cardiorrespiratòria VO_{2max} i OUES al 80% del temps del test aeròbic màxim.

El report de Giardini et al.¹⁹ sobre pacients joves que s'havien sotmès a cirurgia a cor obert revelà que les troballes fisiològiques dels subjectes de la segona part del protocol aeròbic màxim, és a dir, un 50% del protocol amb ergòmetre, podia ser utilitzat en la valoració clínica de la reserva cardiorrespiratòria. En aquest estudi, la correlació entre els 2 índexs, OUES i VO_{2max} , en aquests pacients fou d' $R = 0,71$. Una altra evidència científica sobre els nens obesos^{20,21} o de pes normal^{22,23} també assenyalà que OUES pot ser utilitzat en diferents edats per avaluar el nivell d'aptitud cardiorrespiratòria.

El report de Marinov i Kostianev²⁰ sobre la influència de la composició corporal en OUES mostrà que en els nens obesos és inferior a la dels no obesos. En canvi, quan l'escala fisiològica s'ajustà al pes corporal, OUES dels nens obesos fou major que el de la població general.

En conseqüència, es pot afirmar que aprofitant els avantatges de l'índex OUES en les condicions d'aplicació del test submàxim i en menor temps, amb la mateixa fiabilitat i ponderació que en els protocols del test aeròbic màxim estàndard, la resposta clínica o l'indar de seguretat de la resposta fisiològica pot ser valorada sota determinada càrrega.

Coincidim amb la literatura científica amb què l'impacte simultani de la maduració i la composició corporal en l'índex OUES no ha estat tingut en compte. Per tant, l'objectiu d'aquest estudi fou investigar la intervenció de la maduració biològica a l'índex OUES dels nois adolescents amb les variables antropomètriques de pes corporal, ASC i MCM.

Material i mètodes

En primer lloc, se seleccionaren aleatòriament 4 escoles (2 escoles de primària i 2 de secundària) de la zona d'Hamadan. Després, 72 nois sans d'edats compreses entre els 11 i els 17 anys participaren voluntàriament en aquest estudi, amb el consentiment i l'autorització escrita dels seus pares i entrenadors. El protocol de la recerca fou aprovat pel comitè d'ètica de l'Hamadan University of Medical Sciences & Health Services. Els subjectes i els seus pares es familiaritzaren amb els objectius del projecte. Els subjectes completaren el qüestionari d'aptitud física PAR-Q, de l'*American Association of Sports Medicine*, i les dades antropomètriques amb els percentils de l'IMC^{24,25} establerts a les cartes dels *American Centers for Disease Control and Prevention* (CDC). El contingut de greix s'obtingué de la suma de les 2 capes subcutànies, escapular i tríceps, segons l'anàlisi de regressió d'Slaughter^{26,27}. La intensitat del test de consum màxim d'oxigen s'obtingué per 2 mètodes: amb el test de la freqüència cardíaca de reserva (FCR) segons la fórmula de Karvonen²⁸ i l'escala analògica de sensació de l'esforç percebut de Borg (RPE) durant l'augment del temps d'execució del *Graded Exercise Test* (GXT)²⁹. Per mesurar els paràmetres antropomètrics, l'alçada i la massa corporal i calcular l'MCM s'emprà el mètode de James^{30,31}. L'ASC s'obtingué amb la relació d'Haycock et al.³². Per mesurar la maduració biològica d'ambdues maduracions (maduració precoç i maduració tardana) s'utilitzà el mètode de Mirwald et al.³³,

basat en la compensació de la maduració i el temps per assolir el pic de velocitat màxima de creixement (PVC).

El protocol GXT es dugué a terme a la cinta de córrer segons el mètode de Baba et al.¹¹. Es tracta d'un programa d'entrenament estàndard progressiu dissenyat en 10 min per a nens, en el qual la velocitat i l'augment d'inclinació de la cinta, equipada amb un sistema automàtic d'anàlitzador de gasos respiratoris (Ganshorn, Alemanya) segons l'increment de temps de l'exercici, l'individu continua corrent, més enllà del seu nivell de lactat. El criteri utilitzat per avaluar VO_{2max} inclogué: a) guany respiratori major que la unitat ($RER > 1,1$) d'acord amb la variació $\Delta VCO_2/\Delta VO_2$ en el monitor del sistema; b) quan el ritme cardíac assoleix més dels 185 batecs per minut, i c) la sensació de pressió del treball corporal equival a $RPE > 17$ (RPE_{20}) i l'anunci de fatiga és autèntic^{17,34}. En aquest protocol, el temps de les 4 primeres etapes d'ergometria és de 15 s, i per a les fases 5-7 s'estimaren 3 min. Finalment, el protocol GXT tingué una durada de 10 min^{11,12}. Es mesurà el VO_2 amb el mètode directe de l'anàlitzador de gasos de respiració a respiració, i es registrà a l'ordinador la mitjana de les concentracions de VO_2 , VCO_2 i VE cada 10 s, i les dades fisiològiques associades als últims 20 s de la prova d'esforç s'empraren per determinar la capacitat real dels nens (VO_{2max}). La freqüència cardíaca durant la carrera a la cinta de córrer es mesurà per telemetria (Polar model T34, Alemanya) cada segon fins al final del protocol i es guardà en un dispositiu de memòria. Després es calculà el valor d'OUES a partir de la relació lineal $OUES = \log VE \alpha + b^{11}$. S'investigaren les variables cardiovasculars en estudi, una vegada passades 2 o 3 hores d'haver ingerit un dinar lleuger amb brioxeria, fruita o cafè, amb calçat i roba esportiva a les 4 i les 6 de la tarda. El test GXT es dugué a terme en el laboratori de fisiologia de l'esforç de la Universitat de Bu-Ali Sina a una temperatura de 19 a 21 °C i una humitat relativa entre el 39 i el 43%, a 1.860 m sobre el nivell del mar.

Mètode estadístic

Per a l'anàlisi de dades s'utilitzà el programari estadístic SPSS v.16. La distribució normal dels valors de VO_2 dels sub-

jectes fou contrastada amb el test de Shapiro-Wilk en els grups de maduració normal i no normal. Després s'utilitzà el test *t* de variables independents per assegurar l'impacte de la maduració natural i la maduració no natural de l'índex OUES, en funció dels paràmetres antropomètrics seleccionats. Per determinar la relació dels 2 índexs fisiològics, OUES i VO_{2max} , en 2 situacions d'eficàcia simultànies, del factor d'intervenció d'antropometria i el nivell de maduració, i sense intervenció, s'usà la relació lineal de regressió. Les dades de l'estadística descriptiva es determinaren en funció de la mitjana \pm DE. L'alfa s'establí en $p \leq 0,05$ per a totes les estadístiques.

Resultats

En el càlcul de maduració biològica de 72 nois joves sans d'11 a 17 anys, 33 subjectes foren classificats en el grup de maduració normal i 39 en el grup de maduració no normal. Les característiques antropomètriques i fisiològiques dels nois es presenten a la taula 1. Quant a la freqüència cardíaca d'esforç ($199,8 \pm 4,6$), batecs per minut, percentatge de la freqüència cardíaca de reserva ($94,68 \pm 3,81$) i ràtio d'intercanvi respiratori ($VCO_2/VO_2: 1,26 \pm 0,08$), es pot afirmar que els subjectes van fer l'esforç físic màxim en la implementació del protocol de GXT amb el mètode de Baba et al. El valor mitjà del pic de consum d'oxigen relatiu ($37,12 \pm 10 \text{ mil} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) podria indicar el rendiment cardiovascular aeròbic màxim real i pot ser utilitzat per validar OUES en nens durant una prova d'esforç aeròbic màxima innòcua. A més, s'observa una alta correlació entre els 2 índexs fisiològics, OUES i VO_{2max} . Com s'observa a la taula 2, OUES (en l'antropometria sense intervenció o normalització) no mostrà cap diferència significativa entre els nois de maduració normal i els de maduració no normal. Després que OUES fos normalitzat en funció de les variables de pes, ASC i MCM, es mantenia el patró de falta de diferències entre grups.

Tal com en la relació de valors dels índexs OUES i VO_{2max} en forma absoluta (sense normalització) i relativa o amb normalització en funció del pes, ASC i MCM, respecte a les taules 3 i 4, s'observa una alta correlació entre aquests 2

Taula 1 Característiques antropomètriques i fisiològiques durant una prova d'esforç incremental en nois adolescents

Variabls	SEM	DE	Mitjana
Pes (kg)	1,55	13,15	51,64
Edat (anys)	0,21	1,8	13,95
RPE (20)	0,1	0,9	18,6
% greix 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 _{exercici} (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 min ⁻¹ 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

Taula 2 Test de mostres independents d'OUES i VO_{2max} en 2 grups: maduració normal i anormal

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

Taula 3 Correlació entre OUES i VO_{2max} amb normalització i sense normalització

Variables	VO_{2max} (l min ⁻¹)			VO_{2max} (mil min ⁻¹ kg ⁻¹)		
	R			R		
	Total	Maduració normal	Maduració anormal	Total	Maduració normal	Maduració anormal
OUES _{max} (no normalitza)	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} (pes 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

Taula 4 Correlació entre OUES i VO_{2max} amb normalització i sense normalització

Variables	VO_{2max} (ASC): (mil min ⁻¹ m ⁻²)			VO_{2max} (MCM): (mil min ⁻¹ MCM kg ⁻¹)		
	R			R		
	Total	Maduració normal	Maduració anormal	Total	Maduració normal	Maduració anormal
OUES _{max} (no normalitza)	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} (pes 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

índexs fisiològics amb les variables antropomètriques seleccionades.

Discussió

En aquesta recerca, sobre la importància d'OUES en l'avaluació de l'eficiència del sistema cardiorrespiratori en rangs

d'edat diferents i diferents individus, s'avaluà l'efecte de la maduració d'OUES en nois adolescents amb maduració normal i no normal, i l'efecte de les variables antropomètriques, com el pes corporal, l'ASC i MCM a l'OUES i el procés de desenvolupament de l'organisme del nen durant la maduració. Com s'observa a la taula 2, la mitjana absoluta d'OUES (sense normalització) en 1.843 nois ([mil·min⁻¹·VO₂] / [L·min⁻¹·VE]) de maduració normal fou major que la dels seus companys de

maduració no normal, sense que fos significativa. En altres paraules, el nivell de maduració (maduresa precoç, maduresa tardana) no influeix significativament a l'índex OUES. Quan OUES fou normalitzat quant a les variables antropomètriques seleccionades, obtinguérem els mateixos resultats.

Val la pena esmentar que no es localitzà a la literatura científica l'efecte de la maduració normal i no normal a OUES, però l'estudi de Rogowski et al.¹⁰ amb individus sans de 8-27 anys, que dividí en 4 grups (abans de la maduració, a meitat de la maduració, després de la maduració i adults), descrivia una diferència significativa entre el valor absolut d'OUES en grups d'abans de la maduració i a meitat de la maduració. Naturalment, així que el pes corporal i l'MLG es normalitzaren, el resultat del valor relatiu d'OUES fou el contrari. No investigaren l'efecte de la maduració precoç i la maduració tardana, però el resultat general de l'estudi de Rogowski et al. fou l'efecte de la maduració a OUES, que no concorda amb el nostre estudi. Aquesta diferència pot ser deguda a què l'estudi de Rogowski et al. classificà els individus en 4 grups d'edat per comptes de nivell de maduresa. A mesura que augmenta l'edat augmenten els valors relatius d'OUES, i el resultat de l'estudi previ depenia probablement d'aquest factor.

Segons les taules 2 i 3, quan el VO_{2max} es normalitza amb el pes corporal, la correlació de VO_{2max} amb OUES assoleix d' $R = 0,95$ a $R = 0,81$. Aquesta reducció de la correlació es troba en ambdós grups, de maduració normal i no normal, després de ser corregida amb el pes corporal, la qual cosa concorda amb l'estudi de Sun et al.²³. Ells van descriure el descens de correlació entre els índexs fisiològics que havien estat normalitzats amb el pes dels subjectes sans de 17-18 anys d' $R = 0,95$ a $R = 0,76$. Aquest resultat mostrà que OUES rebia influència del component del pes corporal en el rang d'edat de nens a adults²³. Els estudis de Baba et al.¹¹ i Akkerman et al.¹⁶ amb nens reportaren el mateix resultat, que el factor de pes tenia un efecte significatiu a l'índex OUES.

D'altra banda, l'estudi de Marinov i Kostaniev²⁰ posà de relleu l'efecte de la composició corporal dels nens obesos i no obesos i revelà que el valor absolut d'OUES en els nens obesos és molt menor que el dels seus homòlegs normals; en canvi, s'afirmà que si es normalitzava el pes corporal, el valor relatiu d'OUES dels nens obesos era major que el dels nens no obesos.

Els estudis de Van Laethem et al.^{35,36} amb pacients cardíacs no sols correlacionaren OUES amb VO_{2max} sinó que, després d'haver normalitzat el pes corporal, no disminuïa i augmentava d' $R = 0,73$ a $R = 0,83$. Una possible causa entre les diferències d'aquest estudi clínic amb els nostres resultats pot ser deguda al baix nivell de capacitat real dels pacients cardíacs mentre realitzaven la prova d'esforç.

En aquest estudi, quan es van normalitzar ambdós índexs, VO_{2max} i OUES, en funció del pes corporal, el grau de correlació entre els 2 índexs s'incrementà lleugerament en $R = 0,89$, cosa que probablement afectà més OUES pel pes corporal, en comparació amb els altres índexs fisiològics. En l'efecte de les altres variables antropomètriques sobre OUES també es va notar el paper de les intervencions de l'ASC i l'MCM.

Tal com es pot veure a les taules 2-4, en 2 grups de nois de maduració natural i no natural no es trobà una diferència significativa entre el valor relatiu OUES i VO_{2max} quant a ASC i MCM. En canvi, es veié una gran correlació amb els

valors relatius de VO_{2max} en ambdós grups. Tanmateix, s'observà una major correlació entre OUES normalitzat amb l'ASC i VO_{2max} (ASC) en homes de maduració natural ($R = 0,93$), la qual cosa mostra que les variables antropomètriques poden tenir un efecte similar en l'índex OUES.

D'acord amb els nostres resultats, Marinov et al.³⁷ obtingueren una menor correlació entre els índexs OUES i VO_{2max} després de ser normalitzats per ASC d' $R^2 = 0,88$ a $R^2 = 0,76$. La valoració clínica de Bongers et al.³⁸ obtingué correlació d'OUES i VO_{2max} després de ser normalitzats per l'ASC en nens sans en $R = 0,78$ i en nens malalts de fibrosi quística en $R = 0,54$.

En aquest context, Akkerman et al.¹⁴ indicaren que en una revisió de la literatura científica es pot trobar una alta correlació entre OUES i VO_{2max} després de ser normalitzats per ASC i MCM, la qual cosa concorda amb els resultats trobats en nois adolescents iranians. L'estudi de Drinkard et al.³⁹ amb nois de 12-17 anys sobre l'impacte de l'aspecte del cos revelà que OUES és menor en els nens obesos que en els no obesos. En canvi, quan OUES fou reduït pel factor antropomètric d'ASC, fou significativament menor en els nens obesos que en els seus homòlegs no obesos.

Conclusió

En resum, en base als resultats d'aquesta recerca, es pot afirmar que OUES està influït per les variables antropomètriques seleccionades. Dit d'una altra manera, una associació significativa entre VO_{2max} i l'índex d'OUES normalitzat del pes corporal obtingué ASC i MCM ($R = 0,83$, $R = 0,87$, $R = 0,91$). Cal però assenyalar que el paràmetre d'ASC en l'índex de rendiment de la reserva cardíaca és més sensible que els altres 2 paràmetres. Pel que sembla, degut a la falta d'influència de la intervenció de l'adult en l'esmentat índex a l'estudi de les respostes fisiològiques a l'entrenament del sistema cardiorrespiratori dels nens, independentment de la maduració, és possible aplicar aquest indicador de maduresa.

Limitacions

Entre les limitacions d'aquest estudi s'inclouen el nivell de motivació dels nens per executar protocols exhaustius, la falta de mesurament de la saturació de l'oxigen de la sang arterial durant la prova d'esforç i l'aplicació del mètode per determinar el nivell de maduració dels subjectes, i possiblement la grandària de la mostra estudiada i la manera de seleccionar els subjectes voluntaris.

Conflicte d'interessos

Els autors declaren que no tenen cap conflicte d'interessos.

Agraïment

Aquest article és una adaptació del projecte de doctorat en Fisiologia de l'Exercici amb fons de beques (comissionat

d'investigació de la Universitat d'Bu-Ali Sina). Els autors expressen el seu agraïment al personal del departament d'educació, estudiants, pares i directors de les escoles de la ciutat de Hamedan, pel seu ajut en la realització d'aquesta recerca.

Bibliografia

- 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.* 2a ed. Human Kinetics; 2005.
- Malina R, Bouchard C, Bar-Or O. *Growth, maturation, and physical activity.* 2a ed. Human Kinetics; 2004.
- Kraemer W, Fleck J. *Exercise Physiology Integrating Theory and Application.* 11a 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, Fawcner 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.* 8a 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 efficiency. *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.* 2a ed. Wolters Kluwer; 2010.
- Borg G. A category scale with ratio properties for intermodal and inter individual comparisons. A: Geissler HG, Petzold P, editors. *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. A: 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.