

Anàlisi comparativa del $VO_{2\text{màx}}$ estimat mitjançant les equacions desenvolupades per Jackson et al i l'American College of Sport Medicine en corredors de marató

ROBINSON RAMÍREZ VÉLEZ^a, RICARDO ANTONIO AGREDO ZUÑIGA^b, JOSÉ GUILLERMO ORTEGA ÁVILA^c, VIVIANA ANDREA DOSMAN GONZÁLEZ^d i CARLOS ALEJANDRO LÓPEZ ALBAN^e

^aFisioterapeuta, Fundació Universitària María Cano, Extensió Cali. Especialista en Rehabilitació Cardíaca i Pulmonar, Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. Bogotá. Doctorand en Ciències Biomèdiques, Universidad del Valle. Cali. Valle. Colòmbia.

^bFisioterapeuta, Fundació Universitària María Cano, Extensió Cali. Investigador Independent, Centro para la Investigación en Salud y Rendimiento Humano ZOE. Cali. Valle. Colòmbia.

^cBacteriòleg, Universidad del Valle. Doctorand en Ciències Biomèdiques, Universidad del Valle. Cali. Valle. Colòmbia.

^dEstudiant de Fisioteràpia, Fundació Universitària María Cano, Extensió Cali. Valle. Colòmbia.

^eMetge i cirurgià, Universidad del Cauca. Especialista en Medicina de l'Esport, Universidad Federal de Río Grande do Sul, Brasil. Magister en Salut Pública. Universidad del Valle. Aspirant a Magister en Medicina Alternativa, Universidad Nacional de Colombia. Director del Centro para la Investigación en Salud y Rendimiento Humano ZOE. Cali. Valle. Colòmbia.

RESUM

Fonament: Una reduïda capacitat funcional o $VO_{2\text{màx}}$ és considerada com a factor de risc que provoca la mort per múltiples causes, però principalment per malaltia coronària. Per això, i sumat a la dificultat que representa avaluar-la, han estat suggerides altres alternatives per fer-ho, tot desenvolupant equacions de predicció, sense la necessitat de realitzar exercici.

Objectiu: Analitzar comparativament les equacions per a la predicció del $VO_{2\text{màx}}$ mitjançant el test "Nonexercise regression models to estimate peak oxygen consumption" (PAR/PAF), i la desenvolupada per l'American College Sport Medicine (ACSM) en corredors de marató.

Mesuraments principals: Variables sociodemogràfiques: edat (anys), estat civil, estrat socioeconòmic, nivell educatiu i el tipus d'afiliació al Sistema de Seguretat Social en Salut. Variables antropomètriques: estatura (m), pes (kg), índex de massa corporal (IMC kg/m^2) i perímetre abdominal. Variable de capacitat funcional: equacions de predicció, descrites per Jackson et al (PAR/PAF), i l'ACSM.

Resultats: Es van trobar correlacions entre el càlcul de l'ACSM i el qüestionari PAR/PAF en funció al mateix temps d'arribada ($p < 0,001$, $r^2 = 0,94$), (pNS, $r^2 = 0,00$), i en funció de l'edat (pNS, $r^2 = 0,00$), ($p < 0,001$, $r^2 = 0,87$), $n = 81$, respectivament. En diferenciar-los per grups d'edat, amb el càlcul de l'ACSM i el PAR/PAF en majors de 30 anys, es va trobar una correlació important en funció del mateix temps d'arribada ($p < 0,001$, $r^2 = 0,95$), (pNS, $r^2 = 0,09$), respectivament. Resultats contraris en funció de l'edat, ACSM (pNS, $r^2 = 0,03$), PAR/PAF ($p < 0,001$, $r^2 = 0,78$). En menors de 30 anys, comparats els mètodes amb el temps d'arribada, el càlcul de l'ACSM va demostrar una alta correlació ($p < 0,001$, $r^2 = 0,97$), contrària al càlcul del PAR/PAF (pNS, $r^2 = 0,03$). En comparar ambdós mètodes i la seva relació amb l'edat, no es van trobar correlacions significatives ($r^2 = 0,22$) i ($r^2 = 0,05$). La correlació entre ambdós mètodes per calcular d'una manera indirecta el $VO_{2\text{màx}}$ en corredors de mitja marató només va ser trobada en el grup de majors de 30 anys ($p < 0,01$, $r = 0,32$), $n = 65$.

Conclusions: Els models de predicció del $VO_{2\text{màx}}$ poden esdevenir una alternativa viable per a l'avaluació de la capacitat funcional en estudis epidemiològics. Malgrat això, ambdós mètodes presenten un grau baix de correlació, la qual cosa fa que siguin necessàries futures investigacions per a la seva validesa.

PARAULES CLAU: Estimació de la capacitat funcional. Activitat física. Anàlisi de regressió. Corredors.

ABSTRACT

Background: Reduced cardiorespiratory function is an independent risk factor for mortality by all causes, but mainly for coronary heart disease. Nevertheless, there are many difficulties in evaluating it by exercise testing in the epidemiological context. Alternative forms of evaluation have therefore been suggested using non-exercise regression models.

Aim: To comparatively analyse equations for predicting $VO_{2\text{max}}$ through the "Non-exercise test to estimate maximal oxygen uptake" (PAR/PAF), and the American College of Sports Medicine (ACSM) in runners of marathon.

Measurements: Socio-demographic variables: age (years), marital status, socioeconomic status, educational level, and membership of the Social Security Health System. Body composition variables: height (m), weight (kg), body mass index (BMI kg/m^2) and abdominal circumference. Functional capacity: equations for the prediction of functional capacity $VO_{2\text{max}}$ described by Jackson et al PAR/PAF and the ACSM.

Results: Correlations were seen between the ACSM calculation and the PAR/PAF questionnaire according to time of arrival ($p < 0,001$, $r^2 = 0,94$), (PNS, $r^2 = 0,00$), and according to age (PNS, $r^2 = 0,00$), ($p < 0,001$, $r^2 = 0,87$), $n = 81$, respectively. When differentiating by age group, with the calculation of the ACSM and the PAR/PAF, a significant correlation was found in the > 30 years group according to time of arrival ($p < 0,001$, $r^2 = 0,95$), (PNS, $r^2 = 0,09$), respectively. Results compared depending on age, ACSM (PNS, $r^2 = 0,03$), PAR/PAF ($p < 0,001$, $r^2 = 0,78$). In the < 30 years group, compared with the methods the time of arrival, the calculation of the ACSM showed a high correlation ($p < 0,001$, $r^2 = 0,97$), compare to the PAR/PAF calculation (PNS, $r^2 = 0,03$). When comparing the two methods and their relationship with age, there were no significant correlations ($r^2 = 0,22$) and ($r^2 = 0,05$). A correlation between the two methods for indirectly estimating $VO_{2\text{max}}$ in the half-marathon runners was found only in the > 30 years group ($p < 0,01$, $r = 0,32$), $n = 65$.

Conclusion: This study showed a higher adjusted r^2 , which reflected the quality and the prediction power of the models. The authors conclude that cardiorespiratory assessment by non-exercise models in epidemiological studies could be feasible.

KEY WORDS: Estimation of maximal oxygen uptake. Physical fitness. Regression analysis. Runners.

Rebut el 28 de juliol de 2008 / Acceptat l'1 de gener de 2009.

Correspondència: Robinson Ramírez Vélez (robin640@hotmail.com).

INTRODUCCIÓ

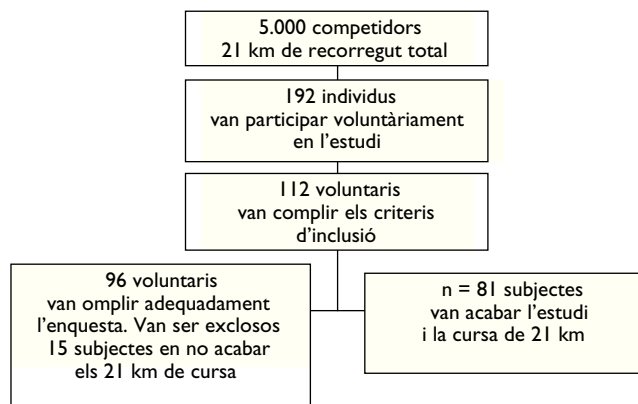
El mesurament de la capacitat funcional o $VO_{2\max}$ és reconegut àmpliament com la forma més objectiva de determinar l'aptitud física i representa la capacitat funcional màxima d'un individu^{1,2}. Mesurada en situació de repòs, indica el metabolisme basal i correspon aproximadament a 3,5 ml/kg/min, o unitat metabòlica també anomenada MET^{3,4}. Actualment el $VO_{2\max}$ ha estat considerat un determinant de l'estat de salut i la seva disminució s'ha associat al risc de patir malalties cròniques, principalment malaltia coronària⁵. Amb tot, hi ha diversos factors que poden modificar aquest indicador. Es proposa que l'edat és un factor que s'associa a la disminució del $VO_{2\max}$, i aquest és atenuat d'una manera positiva en persones entrenades que participen de la pràctica habitual d'exercici físic^{6,7}. Un estudi transversal clàssic referma aquesta hipòtesi: Heath et al.⁸ en la dècada dels anys vuitanta van demostrar que el $VO_{2\max}$ disminueix un 9% per dècada en homes sedentaris, mentre que en subjectes entrenats la reducció va ser de només un 5% per decenni. Contràriament, una recent metaanàlisi que va agrupar un conjunt de 242 estudis no va trobar diferències significatives en la disminució absoluta del $VO_{2\max}$ amb l'edat, en subjectes entrenats, en comparació amb els seus controls sedentaris⁹. Aquestes diferències es poden explicar pel disseny de l'estudi, perquè és ben sabut que els estudis transversals poden subestimar el veritable pendent de l'edat relacionat amb la disminució de la capacitat funcional vista en estudis longitudinals^{10,11}.

Malgrat la seva importància, el cost-efectivitat de l'aplicació d'aquest mesurament deixa una llacuna en la bibliografia mèdica pel seu alt cost i la seva freqüència no resulta gaire pràctica, ja que cal disposar d'un equip de laboratori sofisticat, habilitat, temps i necessitats relacionades amb la metodologia que sovint en limiten l'aplicació. Per tant, s'han proposat mètodes addicionals per calcular el $VO_{2\max}$ i/o quantificar l'aptitud física. Per exemple, Jackson et al han desenvolupat múltiples equacions de baix cost conegudes com "models de regressió", que prediuen la capacitat funcional sense fer proves d'exercici. Models com el test de Cooper, el PWC 170, el Harvard Step Test i altres de creació més recent com el GTX del American College of Sport Medicine (ACSM)¹², poden convertir-se en eines metodològiques econòmiques i eficients per avaluar aquest important indicador de salut.

Amb el que s'ha exposat, el propòsit d'aquest estudi és fer una anàlisi comparativa per calcular el $VO_{2\max}$ mitjançant les equacions desenvolupades per Jackson et al¹³, "Non-exercise regression models to estimate peak oxygen consumption" (PAR/PAF), i el càlcul metabòlic indirecte, mitjançant la fór-

Figura 1

Disseny de l'estudi



mula de l'ACSM^{14,15}, i la seva relació amb el temps registrat al final de la competència, alguns indicadors antropomètrics i sociodemogràfics, en un grup de voluntaris participants de la 7a Mitja Marató de Santiago de Cali, 2008.

MÈTODES

Tipus d'estudi. Transversal.

Població d'estudi. Es va convocar voluntàriament participants de sexe masculí, majors de 18 anys, procedents de qualsevol zona del país (urbana o rural), aparentment sans, amb disposició de participar en l'estudi, mitjançant la signatura del consentiment informat voluntari i que estiguessin inscrits en la 7a edició de la Mitja Marató de Santiago de Cali, 2008 (fig. 1)¹⁶.

Criteris d'exclusió. Es van excloure subjectes que en l'enquesta d'antecedents personals van respondre: cirurgia o trauma major recent, malaltia endocrina coneguda, malalties autoimmunes multiorgàniques o sistèmiques, alteració respiratòria o sistèmica significativa, alteració cardíaca significativa, malalties infeccioses sistèmiques i alteracions osteomusculars recents (< 1 mes), que poguessin interferir en la realització de la carrera.

Procediments. Abans de ser inclosos, els participants van ser informats sobre la investigació, van donar el seu consentiment voluntàriament i van rebre explicació sobre la prova antropomètrica i la manera d'emplenar el qüestionari autoadministrat PAR/PAF per conèixer la percepció de la capacitat funcional $VO_{2\max}$. L'enquesta es va completar amb informació addicional per conèixer algunes dades sociodemogràfiques i amb l'avaluació de la composició corporal.

Variabls sociodemogràfiques. Es van categoritzar tenint en compte els criteris definits en altres enquestes nacionals (cens de població 2005). Es va preguntar sobre l'ètnia o raça, l'edat, l'estat civil, l'estrat socioeconòmic, el nivell d'estudis i el tipus d'afiliació al Sistema de Seguretat Social en Salut.

Variabls antropomètriques. Es van considerar els criteris antropomètrics acordats pel Kinanthropometric Aquatic Sport Project¹⁷. L'estatura (m) es va registrar en estirament amb tallímetre d'1 mm de precisió. El pes (kg) se va mesurar en balança de pis Detecto[®] de 100 g de precisió. Amb aquestes variabls es determinà l'estat nutricional mitjançant el càlcul de l'índex de massa corporal (IMC, en kg/m²)¹⁸ i el mesurament del perímetre abdominal, complement del mesurament per fer el càlcul de risc cardiovascular¹⁹.

Estimació de la capacitat funcional. Es va esbrinar mitjançant la realització d'activitat física habitual i exercici físic utilitzant l'enquesta descrita per Jackson et al¹³ per a la predicció de la capacitat funcional VO_{2màx}. Aquesta enquesta PAR/PAF consta de 2 parts. La primera, anomenada PF-A (Perceived functional ability), consta de 10 alternatives de resposta, assignades a un puntuació d'escala simple. La puntuació varia de 0 a 10, essent 0 un indicatiu de no activitat física i 10 d'activitat física vigorosa. La segona part és integrada pel PA-R (The NASA/JSC physical activity scale), el qual permet conèixer la quantitat d'exercici físic desenvolupat en les 4 últimes setmanes pel participant, mitjançant la suma de les puntuacions que van de 0 a 13, a través de la percepció que té l'individu en fer el test de la milla, amb un ritme continuat en una pista plana, o el test de les 3 milles. Amb aquestes preguntes es considera d'una manera subjectiva l'esforç físic, amb intensitats diferents, sense sentir dificultat respiratòria o cap altre símptoma.

La fórmula per calcular la capacitat física percebuda va ser obtinguda a través del model de regressió múltiple de Jackson et al¹³:

$$\text{PAR-PAF VO}_{2\text{màx}} = 44,895 + (7,042 \times \text{sexe}) - (0,823 \times \text{IMC}) + (0,738 \times \text{PAF}) + (0,688 \times \text{PA-R})$$

$$\text{Sexe} = (\text{dona} = 0; \text{home} = 1)$$

IMC = (kg/m²). Els valors que proporciona la persona del seu pes corporal (en kg) i estatura (en m).

El càlcul metabòlic indirecte per calcular el VO_{2màx} en cursa horitzontal es va obtenir mitjançant la fórmula presa de l'American College of Sports Medicine¹⁴.

$$\text{ACSM VO}_{2\text{màx}} = 3,5 \text{ ml/kg/min} + (\text{vel m/min} \times 0,2) + (\% \text{ inclinació} \times \text{vel m/min} \times 1,8)$$

Disposicions vigents i consideracions ètiques. L'estudi s'ajustà a les disposicions vigents per a la protecció dels subjectes humans que participen en investigacions, contingudes en la Resolució 8430 de 1993 del Ministeri de Salut de Colòmbia. Amb aquesta finalitat es va comptar amb l'aval de les diverses institucions participants (Secretaria d'Esport i Recreació, Organització Mèdica de la Mitja Marató de Cali i ZOE-Comité d'investigacions), que van vetllar pel compliment dels aspectes ètics i de protecció de la privacitat dels participants. Els subjectes que van acceptar de participar-hi van signar voluntàriament un consentiment informat per escrit.

Anàlisi estadística. Es va utilitzar el programa SPSS versió 11.5[®] per al càlcul descriptiu (mesuraments de tendència central i dispersió) de les variabls socioeconòmiques i antropomètriques. El coeficient de correlació de Pearson (r) i l'ajust amb l'estimador $r^2 = 1 - [(1 - R^2) n - 1/n - p]$, per conèixer la correlació entre les variabls quantitatives del PAR/PAF, ACSM i les variabls antropomètriques en la població general. Una anàlisi en els subgrups < 30 i > 30 anys per la seva associació causal de morbimortalitat amb les malalties cròniques i el VO_{2màx}, descrites en estudis epidemiològics²⁰. La prova U de Mann Whitney es va utilitzar per trobar les diferències del VO_{2màx} entre ambdós tests i les variabls socioeconòmiques.

RESULTATS

Variabls socioeconòmiques. D'acord amb la seva cultura, poble o trets físics, 41 (50,6%) subjectes es van reconèixer com a mestissos, seguit de 18 persones (22,2%) blancs i de 15 (18,5%) afrocolombians o afrodescendents. L'estat civil que més va prevaler va ser casat, amb 30 individus (37,0%), seguit de solter (27; 33,3%), parella de fet (11; 13,6%) i separat (10; 12,3%). Quant al nivell educatiu aconseguit, es va trobar que 28 (34,6%) persones havien fet estudis universitaris, 25 (30,9%) tenien el batxillerat, 20 (24,7%) havien fet estudis d'educació tecnològica o tècnica i 8 (9,9%) estudis d'educació primària. L'ocupació actual que més va predominar va ser empleat a temps complet amb 48 subjectes (59,3%), seguit d'empleats independents (22; 27,2%) i empleat a temps parcial (7; 8,6%). Un 74% dels participants tenien EPS (Seguretat Social) com el tipus d'assistència mèdica, mentre que un 11,1% van indicar no tenir cap afiliació al sistema de Seguretat Social (taula I).

Taula I Característiques sociodemogràfiques de la població estudiada

	Descripció sociodemogràfica	Freqüències	
		Absoluta	Relativa (%)
Ètnia	Afrocolombià o afrodescendent	15	18,5
	Indígena	2	2,5
	Mestís	41	50,6
	Blanc	18	22,2
	Altres	5	6,2
Procedència	Nascut a Cali	27	33,3
	Menys de 3 anys	5	6,2
	Més de 3 anys (però va néixer a la ciutat)	29	35,8
	No ho sap / No respon	20	24,7
Estat civil	Solter	27	33,3
	Vidu	0	0,0
	Separat	10	12,3
	Divorciat	2	2,5
	Casat	30	37,0
	Parella de fet	11	13,6
	No ho sap / No respon	1	1,2
Nivell educatiu assolit	Cap	0	0,0
	Primària	8	9,9
	Batxillerat	25	30,9
	Educació tecnològica o tècnica	20	24,7
	Universitari	28	34,6
	No ho sap / No respon	0	0,0
Ocupació actual	Empleat a temps complet	48	59,3
	Empleat a temps parcial	7	8,6
	Independent	22	27,2
	Desocupat	3	3,7
	No ho sap / No respon	1	1,2
Tipus d'assistència mèdica	EPS	60	74,1
	Medicina prepagada	8	9,9
	Sisben	4	4,9
	No en té	9	11,1
Estrato socio-econòmic	Estrat 1	9	11,1
	Estrat 2	19	23,5
	Estrat 3	35	43,2
	Estrat 4	7	8,6
	Estrat 5	8	9,9
	Estrat 6	3	3,7

Taula II Característiques antropomètriques generals de la població estudiada

Variables	Mitjana \pm DE	Mínim	Màxim
Edat (anys)	42,6 \pm 13,9	18,0	78,0
Pes (kg)	65,2 \pm 8,9	45,0	97,0
Estatura (cm)	168,6 \pm 7,1	135,1	178,3
IMC (kg/m ²)	22,9 \pm 2,6	16,5	28,7
Perímetre abdominal (cm)	79,4 \pm 8,0	61,0	108,0

DE: desviació estàndard; IMC: index de massa corporal.

Variables antropomètriques. En la taula II es presenten els indicadors antropomètrics dels participants. L'edat mitjana dels participants va ser de 42,6 \pm 13,9 anys; el pes corporal, de 65,2 \pm 8,9 kg; la talla, de 168,6 \pm 7,1 m; l'IMC va ser de 22,9 \pm 2,6 kg/m², mentre que el perímetre abdominal va donar una dada de 79,4 \pm 8,0 cm. Amb vista a completar la caracterització de la mostra en estudi, en la taula III es presenta la distribució percentil per a cada variable.

Estimació de la capacitat funcional. La taula IV mostra el resultat de la capacitat física percebuda amb el qüestionari PAR/PAF i de l'ACSM i la seva distribució percentil. La mitjana d'ambdós mètodes per determinar el VO_{2màx} va ser de 42,4 \pm 11,8 i 41,1 \pm 7,2, respectivament. La figura 2 mostra les correlacions entre el càlcul de l'ACSM i el qüestionari PAR/PAF: [A] correlació entre l'ACSM i el PAR/PAF, en funció del mateix temps d'arribada ($p < 0,001$, $r^2 = 0,94$), (pNS, $r^2 = 0,00$) i [B] en funció de l'edat (pNS, $r^2 = 0,00$), ($p < 0,001$, $r^2 = 0,87$), $n = 81$, respectivament. En diferenciar-los per grups d'edat, amb el càlcul de l'ACSM i el PAR/PAF en majors de 30 anys [C], es va trobar una important correlació en funció del mateix temps d'arribada ($p < 0,001$, $r^2 = 0,95$), (pNS, $r^2 = 0,09$), respectivament. Resultats contraris en funció de l'edat, ACSM (pNS, $r^2 = 0,03$), PAR/PAF ($p < 0,001$, $r^2 = 0,78$) [D]. En menors de 30 anys, comparats els mètodes amb el temps d'arribada [E], el càlcul de l'ACSM va demostrar una alta correlació ($p < 0,001$, $r^2 = 0,97$), contrari al càlcul del PAR/PAF (pNS, $r^2 = 0,03$). En comparar ambdós mètodes i la seva relació amb l'edat, no es van trobar correlacions significatives ($r^2 = 0,22$) i ($r^2 = 0,05$) [F].

No es van trobar correlacions amb els indicadors antropomètrics (taula V), però sí diferències entre ambdós mètodes amb l'indicador sociodemogràfic estat civil $p < 0,001$ (taula VI).

Taula III Percentils antropomètrics i funcionals de la població estudiada

Percentils	Edat (anys)	Pes (kg)	Estatuta (cm)	IMC (kg/m ²)	Perímetre abdominal (cm)
P ₅	19,0	53,0	158,0	18,8	66,7
P ₂₅	36,0	60,0	164,0	21,3	74,0
P ₅₀	44,0	64,0	168,0	22,8	78,0
P ₇₅	50,0	70,0	171,0	24,8	84,0
Mitjana ± DE	42,6 ± 13,9	65,2 ± 8,9	168,6 ± 7,1	22,9 ± 2,6	79,4 ± 8,0

Taula IV Percentils del VO_{2màx} estimat en ambdós mètodes per grups d'edat

Percentils	< 30 anys VO ₂ PAR/PAF (ml/kg/min)	> 30 anys VO ₂ PAR/PAF (ml/kg/min)	Tots VO ₂ PAR/PAF (ml/kg/min)	< 30 anys VO ₂ ACSM (ml/kg/min)	> 30 anys VO ₂ ACSM (ml/kg/min)	Tots VO ₂ ACSM (ml/kg/min)
P ₅	52,8	20,8	21,9	42,2	16,6	29,8
P ₂₅	56,4	33,5	34,4	45,1	26,8	36,8
P ₅₀	59,6	39,4	41,4	47,7	31,5	40,0
P ₇₅	62,4	44,8	50,3	49,9	35,8	46,8
Mitjana ± DE	59,2 ± 4,2	38,2 ± 9,0	42,4 ± 11,8	47,4 ± 3,4	30,6 ± 7,2	41,1 ± 7,2

Taula V Anàlisi correlacional de les variables antropomètriques i les equacions de predicció del VO_{2màx} (n = 81)

	Equació VO _{2màx} ^a	
	VO ₂ PAR/PAF (ml/kg/min)	VO ₂ ACSM (ml/kg/min)
IMC r ^{2b}	(-0,18) p = 0,10	(0,04) p = 0,70
Pes corporal r ^{2b}	(-0,019) p = 0,86	(-0,05) p = 0,59
Perímetre abdominal r ^{2b}	(-0,23) p = 0,39	(0,06) p = 0,55

^aVariable funcional.^bVariable antropomètrica.

Per últim, la correlació entre ambdós mètodes per calcular d'una manera indirecta el VO_{2màx} en corredors de mitja marató, només es va trobar en el grup de majors de 30 anys (p < 0,01, r = 0,32), n = 65 (dades no publicades).

DISCUSSION

L'objectiu d'aquesta recerca era analitzar comparativament 2 models de càlcul de la capacitat funcional o VO_{2màx}: "Non-

exercise regression models to estimate peak oxygen consumption" (PAR/PAF) i el càlcul metabòlic indirecte de l'ACSM. Aquestes estimacions van ser comparables per proporcionar d'una manera pràctica la capacitat funcional per VO_{2màx} dels avaluats, sense necessitat de costosos experiments o proves d'exercici. Els resultats de l'estudi demostren que ambdós mètodes de predicció de la capacitat funcional per VO_{2màx} d'un individu subestimen aquest indicador fisiològic, especialment en el grup de menors de 30 anys, dada que coincideix amb grans estudis epidemiològics²¹.

Avui es coneix que la precisió d'un model de regressió per predir el VO_{2màx} ha de considerar aspectes com la variabilitat genètica, l'estat de salut, la composició corporal, el sexe i l'edat, que se sap són importants per al càlcul²². Bouchard et al²³ han informat que al voltant del 25% de la varianza total de la capacitat funcional és el resultat de l'herència o la dotació genètica. Hi ha una debilitat potencial de les equacions de regressió que s'empren actualment, ja que només tenen en compte variables com edat, sexe i composició corporal, la qual cosa limita la seva capacitat per determinar amb precisió el VO_{2màx}.

Un altre aspecte que cal considerar és la manera d'administrar el qüestionari. L'autoinforme de l'activitat física, amb preguntes actualment utilitzades en aquests models de regres-

Taula VI Diferències de les variables sociodemogràfiques i les equacions de predicció del $VO_{2\text{màx}}$

Equació $VO_{2\text{màx}}$	Estat civil	
	Solter (n = 30)	Casat (n = 27)
VO_2 PAR/PAF (ml/kg/min)	51,6	36,6*
VO_2 ACSM (ml/kg/min)	53,4	41,3
	Nivell d'estudis	
	Batxillerat (n = 25)	Universitari (n = 28)
VO_2 PAR/PAF (ml/kg/min)	28,9	25,2
VO_2 ACSM (ml/kg/min)	27,1	26,8
	Estrat socioeconòmic	
	Baix (n = 27)	Alt (n = 30)
VO_2 PAR/PAF (ml/kg/min)	42,1	37,0
VO_2 ACSM (ml/kg/min)	40,0	43,1

* $p < 0,001$ prova U de Mann Whitney.

sió, probablement han limitat la precisió per determinar el $VO_{2\text{màx}}$ ²⁴. D'altra banda, el càlcul amb l'equació de l'ACSM té en compte variables com la velocitat del subjecte i el tipus de terreny, la qual cosa podria explicar per què alguns models de regressió fent exercici són més exactes en la predicció del $VO_{2\text{màx}}$ que els models de regressió sense fer-ne²⁵.

Una altra troballa important d'aquest estudi és que ambdós mètodes calculen de manera diferent el $VO_{2\text{màx}}$. Per exemple, s'observa que hi ha correlació entre el qüestionari PAR/PAF amb l'edat (> 30 anys) i l'equació de l'ACSM, amb relació al mateix temps d'arribada (fig. 2). No obstant això, en menors de 30 anys els resultats de predicció del $VO_{2\text{màx}}$ van ser diferents (sense estadístics que el confirmin; taula IV). Per tant, postulem que les diferències de les mitjanes del $VO_{2\text{màx}}$ en els menors de 30 anys poden ser explicades possiblement per la manera d'esbrinar o per la percepció de la capacitat física que té cada individu a l'hora de fer un exercici aeròbic, dada valuosa per explicar aquest desacord (taula IV). Potencials limitacions que té el model PAR/PAF són les preguntes utilitzades en aquest estudi. En primer lloc, la capacitat predictiva de les preguntes PAF depèn d'activitats com caminar, trotar o córrer i s'ha de conèixer a més la intensitat d'exercici amb preguntes com "No massa fàcil i no massa dur". Certes persones que no estan familiaritzades amb l'exercici prolongat i/o amb el temps que es tarda a fer la distància prescrita en el qüestionari, poden ser limitants per calcular amb precisió el $VO_{2\text{màx}}$. Altres fenòmens

en el moment de predir amb enquestes la capacitat funcional d'un subjecte són distingir la intensitat de l'exercici (entre lleugera, moderada i vigorosa), la qual cosa podria limitar la precisió de la resposta. Igualment, com s'esdevé amb tots els qüestionaris d'autoaportació de dades, les respostes del PAR/PAF es poden veure influenciades per una varietat d'activitats socials, cognitives i alguns factors psicològics. Així, la tendència a sobreestimar o subestimar la percepció de la capacitat funcional podria ser influenciada per qualsevol combinació d'aquests tres factors. També es desconeix si actualment les equacions desenvolupades per l'ACSM poden ser considerades com un patró estàndard indirecte (és a dir, enfront de les proves de laboratori o de camp utilitzades en medicina de l'esport) per calcular el $VO_{2\text{màx}}$.

En estudiar la relació entre els mètodes i alguns indicadors antropomètrics es va trobar una feble correlació inversa entre l'IMC i el perímetre abdominal ($r^2 = -0,18$) i ($r^2 = -0,23$) amb l'equació PAR/PAF, respectivament, sense diferències significatives. Una part de l'esclariment per al primer fenomen es podria explicar perquè aquest model de regressió utilitza l'índex de massa corporal (IMC) en la seva fórmula per predir el $VO_{2\text{màx}}$. Per últim, la correlació trobada entre ambdós mètodes per calcular indirectament el $VO_{2\text{màx}}$ en corredors de mitja maratón només es va demostrar en el grup de majors de 30 anys ($p < 0,01$, $r = 0,32$), $n = 65$. Contràriament al que troba aquest estudi, Leon et al²⁶ el 1981 van informar de 175 homes de mitjana edat amb un índex de concordança $r = 0,53$, classificat com moderat. D'altra banda Blair²⁷, el 1981, va interrogar 15.627 homes entre 9 i 42 anys d'edat i 3.943 dones entre 10 i 42 anys, i va calcular un índex de concordança $r = 0,60$ en homes, classificat com moderat, i de $r = 0,20$ a $r = 0,49$ en dones, classificat com a baix i moderat, respectivament. L'estudi de referència descrit per Jackson et al¹³ mostra un índex de concordança bo ($r = 0,62$). Per últim, Pearson et al, el 1990 van avaluar 423 homes i 43 dones, tot obtenint $r = 0,82$ en homes i $r = 0,79$ en dones.

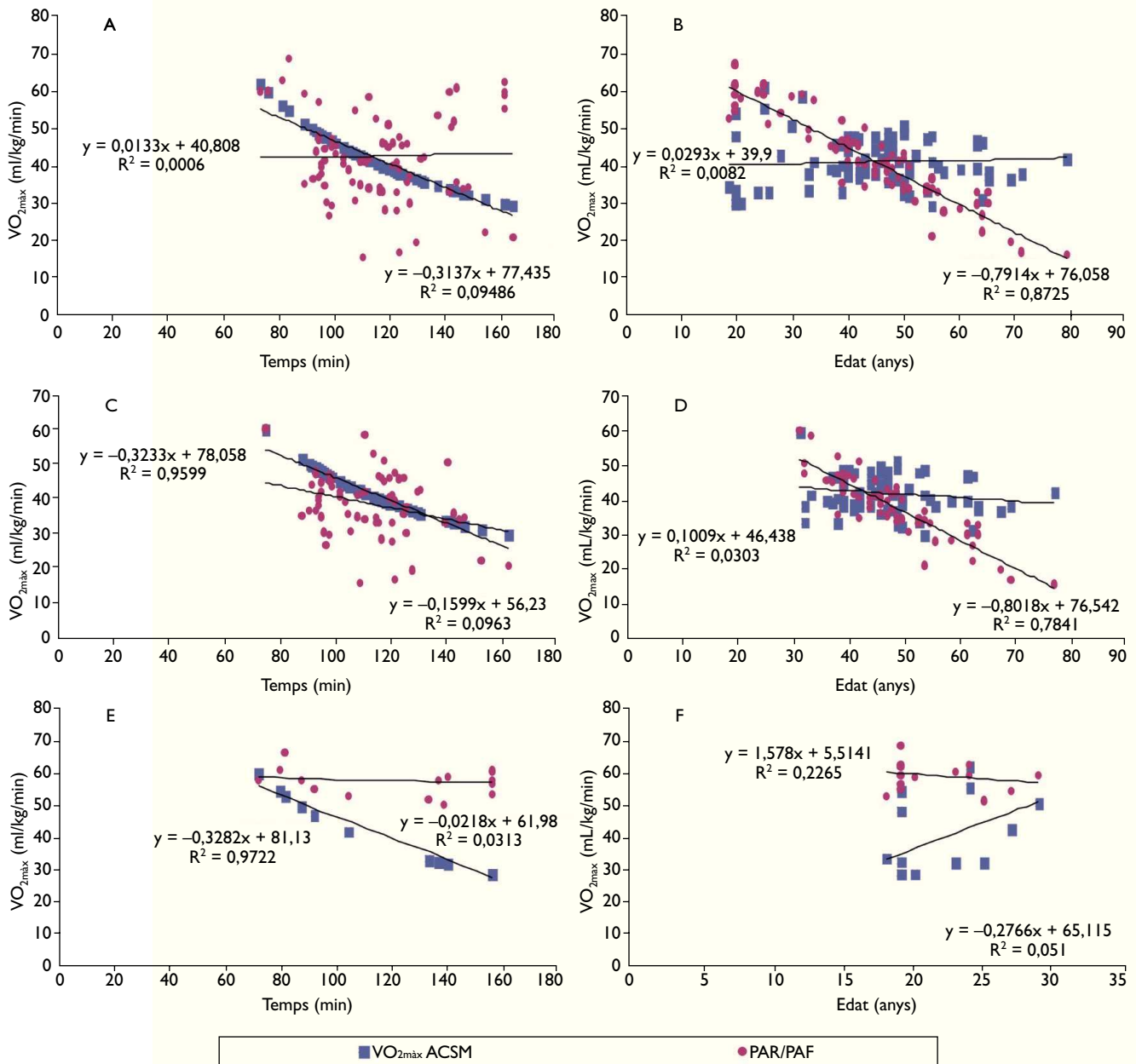
Finalment, se suggereix que l'equació de regressió PAR/PAF podria ser utilitzada per calcular el $VO_{2\text{màx}}$ en persones adultes (> 30 anys), tal com ho exposen alguns dels més grans estudis epidemiològics internacionals²⁸⁻³³.

CONCLUSIONS

Qualsevol mètode de predicció de la capacitat funcional o $VO_{2\text{màx}}$ té avantatges i limitacions que cal considerar abans de seleccionar un determinat model o prova. Models de regressió com el PAR/PAF o equacions com les descrites per l'ACSM no

Figura 2

Correlacions del $VO_{2\text{m}\ddot{a}\text{x}}$ mitjançant l'equació de predicció ACSM i PAR/PAF per temps d'arribada i edats. (Per a més detalls, vegeu el text.)



tenen en compte les influències genètiques, les respostes fisiològiques a l'exercici o les possibles malalties. Molts es basen en qualificacions subjectives d'activitats físiques i/o exercicis en un temps determinat, o tenen en compte mesuraments de la composició corporal o simplement l'edat. El model de regressió PAR/PAF utilitza el sexe, l'IMC i l'enquesta PAR per predir el $VO_{2\text{m}\ddot{a}\text{x}}$ i és comparable amb altres models de regressió utilitzats al laboratori, com el càlcul metabòlic de l'ACSM.

Calen futures investigacions per justificar i establir la validesa i la fiabilitat de les preguntes del PAR/PAF mitjançant una varietat de mostres i comparar-les amb el patró estàndard directe (és a dir, proves de laboratori o ergoespirometria) per calcular el $VO_{2\text{m}\ddot{a}\text{x}}$.

Malgrat que el PAR/PAF és un model de regressió molt ben desenvolupat i diversos autors el proposen com un mètode fàcil i econòmic per predir el $VO_{2\text{m}\ddot{a}\text{x}}$ en subjectes física-

ment actius, es recomana, abans d'utilitzar-lo, tenir en compte consideracions com l'estatus de salut, el nivell d'entrenament i una varietat d'activitats socials, cognitives i alguns factors psicològics, perquè aquestes són observacions que podrien oferir un informe inexacte del nivell d'activitat física, tot afectant la predicció.

AGRAÏMENTS

Un agraïment especial als estudiants del Programa de Fisioteràpia de la Fundació Universitaria María Cano, Extensión Cali, John Jairo Hernández, Juan Pablo Salinas, Katherine Meza, Ximena Cifuentes, pel suport tècnic ofert en els mesuraments antropomètrics realitzats en l'estudi.

Bibliografia

1. Taylor H, Hansen J. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J Appl Physiol.* 1955;8:73-80.
2. Wasserman K, Hansen J, Sue D, Casaburi R, Whipp B. Principles of exercise testing and interpretation. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins; 1999. p. 35-108.
3. Tartibian B, Khorshidi M. Prediction of physiological indexes in exercise (field & laboratory). Tehran (Iran): Teymorzadeh; 2005. p. 84-96.
4. McArdle D, Katch F, Katch V. Fundamentos de fisiología del ejercicio. 2.^a ed. Madrid: McGraw-Hill; 2004. p. 365-9.
5. Blair SN, Kohl III HW, Paffenbarger RS, Clark DG, Cooper KH, Gibbons LW. Physical fitness and all-cause mortality: a prospective study of healthy men and women. *JAMA.* 1989;22:2395-401.
6. The relation of body mass index, cardiorespiratory fitness, and all-cause mortality in women. *Obesity Research.* 2002;10:417-23.
7. Lee IM, Hsieh CC, Paffenbarger RS Jr. Exercise intensity and longevity in men. The Harvard Alumni Health Study. *JAMA.* 1995;273:1179-784.
8. Heath GW, Hagberg JM, Ehsani AA, et al. A physiological comparison of young and older endurance athletes. *J Appl Physiol.* 1981;51:634-40.
9. Wilson TM, Tanaka H. Meta-analysis of the age-associated decline in maximal aerobic capacity in men: Relation to training status. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2000;278:H829-34.
10. Trappe SW, Costill DL, Vukovich MD, et al. Aging among elite distance runners: 22-yr longitudinal study. *J Appl Physiol.* 1996; 80:285-90.
11. Marti B, Howald H. Long-term effects of physical training on aerobic capacity: controlled study of former elite athletes. *J Appl Physiol.* 1990;69:1451-9.
12. Ramírez-Vélez R, Delgado P. Análisis comparativo de las ecuaciones desarrolladas por Jackson et al y por el ACSM American College Sport Medicine para predecir el consumo máximo de oxígeno en estudiantes universitarios. *Revista Fisioterapia.* 2008;30:24-33.
13. Jackson A, Blair S, Mahar M, Wier L, Ross R, Stuteville J. Prediction of functional capacity aerobic exercise testing. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22:863-70.
14. American College of Sports Medicine. Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 5th ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1995. p. 277.
15. American College of Sports Medicine (ACSM). Position stand on exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;30:992-1008.
16. Simon S. A Review of: "Interpreting and Reporting Clinical Trials: A Guide to the CONSORT Statement and the Principles of Randomised Controlled Trials, by A. Keech, V. GebSKI, and R. Pike (eds.)". *J Biopharm Stat.* 2008;18:802-4.
17. Mazza J, Carter J, Ross W, Ackland T. Kinanthropometric Aquatic Sport Project. Aquatic Sport's World Champ. AUS. A proposal submitted to the VIII World FINA Medical Committee Meeting. London: 1991.
18. Chobanian AV, Bakris GL, Black HR, Cushman WC, Green LA, Izzo JL Jr, et al. Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure. National Heart, Lung, and Blood Institute; National High Blood Pressure Education Program Coordinating Committee. *Hypertension.* 2003;42:1206-52.
19. Pérez M, Casas JP, Cubillos LA, Serrano NC, Silva FA, Morillo CA, et al. Using waist circumference as screening tool to identify Colombian subjects at cardiovascular risk. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation.* 2003;10:328-35.
20. Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J.* 1973;85:546-62.
21. Whaley MHL, Kaminsky A, Dwyer GB, Getchell LH. Failure of predicted VO_{2peak} to discriminate physical fitness in epidemiological studies. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27:85-91.
22. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Exercise physiology: Energy, nutrition, and human performance. Philadelphia: Lea and Febiger, 1991. p. 216-21.
23. Bouchard CFT, Dionne J, Simoneau P, Boulay M. Genetics of aerobic and anaerobic performances. *Exerc Sport Sci Rev.* 1992; 20:27-58.

24. Baranowski T. Validity and reliability of self report measures of physical activity: An information-processing perspective. *Res Q Exerc Sport*. 1988;59:314-27.
25. George JD, Stone WJ, Burkett, LN. Non-exercise VO_{2max} estimation for physically active college students. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;22:415-23.
26. Leon AS, Jacobs DR, DeBacker G, Taylor HL. Relationship of physical characteristics and life habits to treadmill capacity. *Am J Epidemiol*. 1981;113:653-60.
27. Blair SN, Kannel WB, Kohl HW, Goodyear N, Wilson PWF. Surrogate measures of physical activity and physical fitness. *Am J Epidemiol*. 1989;129:1145-56.
28. Mayhew JL, Gifford PB. Prediction of maximal oxygen uptake in preadolescent boys from anthropometric parameters. *Res Quart*. 1975;46:302-11.
29. Verma SS, Sharma YK, Kishore N. Prediction of maximal aerobic power in healthy Indian males 21-58 years of age. *Z Morphol Anthropol*. 1998;82:103-10.
30. Kolkhorst FW, Dolgener FA. Nonexercise model fails to predict aerobic capacity in college students with high VO_{2peak} . *Res Q Exerc Sport*. 1994;65:78-83.
31. Cardinal BJ. Predicting cardiorespiratory fitness without exercise testing in epidemiologic studies: a concurrent validity study. *J Epidemiol*. 1996;6:31-5.
32. Whaley MH, Kaminsky LA, Dwyer GB, Getchell LH. Failure of predicted VO_{2max} to discriminate physical fitness in epidemiological studies. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27:85-91.
33. Williford HN, Scharff-Olson M, Wang N, Blessing DL, Smith FH, Duey WJ. Cross-validation of non-exercise predictions of VO_{2peak} in women. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28:926-30.