

apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ORIGINAL

Seguiment longitudinal de l'evolució en la condició aeròbica en futbolistes joves

Pedro Gómez Piqueras^{a,*}, Rafael Aranda Malavés^b i Vicente Ferrer López^c

^aFacultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Valencia, València, Espanya

^bFacultad de Ciencias del Deporte (FCCAFE), Universidad de Valencia, València, Espanya

^cFacultad de Medicina UCLM, Servicios Médicos IMD Albacete, Albacete, Espanya

^dAlbacete Balompié, Albacete, Espanya

Rebut el 2 de febrer de 2010; acceptat l'1 de març de 2010

PARAULES CLAU

Condició aeròbica;
Prova d'esforç;
Consum màxim
d'oxigen;
Llindar anaeròbic;
FC màxima

Resum

Objectiu. L'objectiu d'aquest estudi va ser determinar el comportament dels principals factors condicionants de la condició aeròbica en futbolistes joves (15-18 anys).

Procediment. Es va estudiar una mostra de 79 jugadors pertanyents als equips inferiors de l'Albacete Balompié que havien passat almenys 2 proves d'esforç en el període de les temporades 2000-01 a 2007-08.

Es van obtenir dades sobre el consum màxim d'oxigen ($VO_{2m\grave{a}x}$), la FC màxima, la velocitat màxima aconseguida en el moment del màxim consum d'oxigen i el percentatge de $VO_{2m\grave{a}x}$ a què es produïa el llindar anaeròbic.

Conclusions. El consum màxim d'oxigen relatiu com a màxim exponent de la potència aeròbica d'un subjecte no presenta modificacions significatives durant el període d'edat dels 15-18 anys.

L'economia de cursa mesurada mitjançant la capacitat de generar velocitat (velocitat de desplaçament) a una intensitat donada, millora durant la pubertat i s'estabilitza a partir dels 17 anys.

L'FC màxima es redueix durant l'adolescència a raó de 7-8 batecs cada 5 anys.

No hi ha diferències entre els percentatges de $VO_{2m\grave{a}x}$ a què els jugadors entre 15-18 anys assoleixen el seu llindar anaeròbic.

© 2010 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier España, S.L. Tots els drets reservats.

*Autor per a correspondència.

Correu electrònic: pedrogomez7@hotmail.com (P. Gómez Piqueras).

KEYWORDS

Aerobic endurance;
Effort test;
Maximal oxygen intake;
Anaerobic threshold;
Maximal heart rate

Longitudinal tracing of aerobic condition's evolution in young soccer players**Abstract**

Goal: The aim of the present study was to determine the behaviour of the main factors of aerobic condition in young soccer players (15-18 years).

Process: For this, we studied 79 subjects who belong to Albacete Balompié's young teams. These players passed two effort tests at least during the period (00/01-07/08). We obtained data about the maximum oxygen intake (VO_{2max}), maximum heart rate, maximum speed at the moment of VO_{2max} and the percentage of VO_{2max} when the anaerobic threshold happens.

Conclusions: Maximal oxygen intake like exponent of aerobic power doesn't experiment significant changes during ages 15 to 18.

Run's economy improves during puberty and stabilizes as of 17 years.

Maximal heart rate decrease during adolescence us 7-8 beat each 5 years.

There aren't differences between VO_{2max} and percentages which 15-18 players experiment their anaerobic threshold.

© 2010 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducció**La condició aeròbica en el futbol**

Quan l'energia necessària per a la pràctica esportiva és aportada principalment pels processos metabòlics aeròbics, podem parlar de manifestació de resistència aeròbica, la qual entenem com un complex sistema en el qual podem distingir 2 paràmetres fonamentals: d'una banda, la capacitat aeròbica o temps durant el qual es pot mantenir un esforç, i, d'una altra banda, la potència aeròbica o màxima quantitat d'energia que pot ser subministrada per unitat de temps.

El límit de capacitat aeròbica d'un subjecte ve marcat pel seu llindar anaeròbic, mentre que el de la potència aeròbica es valora a través del mesurament del màxim consum d'oxigen¹.

Malgrat que les exigències del futbol podem dividir-les en coordinatives, cognitives, condicionals i socioemocionals, per la naturalesa d'aquest treball i amb l'objectiu de determinar la rellevància de la condició aeròbica en aquest esport, només ens centrarem en l'apartat condicional.

Sense entrar en diferències per demarcació o sistema de joc, durant els 90 minuts un jugador de futbol generalment recorre una distància total entre 10-13 km i fa al voltant de 1.100 canvis d'activitat². Només un 2% de la distància recorreguda es fa amb la pilota³.

La durada dels esforços realitzats és una variable supeditada al nivell en què es competeix⁴, per bé que, com a norma general, un jugador passa un 17% del temps del partit immòbil, mentre que està caminant durant un 40% del temps, corrent a poca i alta velocitat en un 35 i 8%, respectivament, i esprintant en un 0,6%⁵.

D'altra banda, i centrant-nos en la intensitat de l'activitat, l'FC mitjana durant un partit de futbol oscil·la aproximadament entre 165-175 batecs per minut (bpm), la qual cosa es correspon amb un 70% del nostre màxim consum d'oxigen⁶.

D'acord amb aquestes dades i percentatges, podríem concloure que el futbol és un esport intermitent en el qual, malgrat que la intensitat de càrrega és variable, hi predominen els esforços aeròbics (70-85% del total), i diversos autors arriben a afirmar que la resistència aeròbica és un pilar fonamental per al rendiment del jugador de futbol⁷⁻¹¹.

Segons el que s'ha exposat, essent demostrada la importància de la condició aeròbica com a qualitat fonamental per al rendiment en el futbol, l'objectiu que ens vam plantejar en aquest treball era determinar l'evolució que els principals paràmetres condicionants d'aquesta manifestació presenten en el transcurs del temps en un grup de jugadors de futbol joves.

Evolució dels principals paràmetres de condició aeròbica amb l'edat**Consum màxim d'oxigen (VO_{2max})**

Després de contrastar nombroses experiències, es pot observar que l'evolució del VO_{2max} és un paràmetre íntimament lligat al desenvolupament puberal del subjecte, i amb els valors individuals més alts en aquest període de la vida¹².

Aquesta evolució és diferent si observem el consum d'oxigen absolut i el relatiu, ja que en dependre aquest segon del pes del subjecte, els valors i les taxes de creixement són diferents. Així:

Kemper i Verschuur¹³ assenyalen que el VO_{2max} en nois i en termes absoluts augmenta fins als 17 anys, en què s'aconsegueixen els valors més alts (3,81 l/min). Aquests mateixos autors l'any 1991 assenyalaven que si es valora el consum relatiu, aquest davalla a partir dels 14 anys.

En la mateixa línia, Poortmans et al¹⁴ mostren que el consum d'oxigen absolut augmenta entre els 6-20 anys, essent aquest augment més pronunciat en nois que no en noies, i que si s'observa el consum relatiu, aquest comença a créixer a partir dels 16 anys.

Altres experiències que corroboren aquestes tendències de creixement són les de McMurray et al¹⁵ i les de Krahenbuhl et al¹⁶.

Dintre de col·lectius i proves més específiques i semblants amb la que aquí proposem, l'any 2004, mitjançant un estudi transversal amb futbolistes de les categories cadet i juvenil, Ferrer et al¹⁷ arriben a la conclusió que els valors relatius per als cadets són superiors que per als juvenils.

Hansen i Klausen¹⁸ assenyalen com a factors condicionants lligats a aquest creixement del $VO_{2\max}$ en aquestes edats el desenvolupament de l'hematòcrit, del l'hemoglobina i la ja esmentada maduració biològica, no essent rellevant, segons Mirwald et al¹⁹, el fet de practicar o haver practicat activitat física abans de l'adolescència-pubertat en els valors obtinguts, però sí en el cas de fer-ho durant aquest període, ja que es mostra com una fase sensible per al desenvolupament d'aquest paràmetre.

A partir dels 20 anys aquest consum màxim d'oxigen baixa aproximadament uns 5 ml/kg/min cada dècada en persones sedentàries i 3-4 ml en persones esportistes²⁰. Molt pròxims a aquestes xifres, Inbar et al²¹ assenyalen que el descens és de 0,33 ml/kg/min a l'any.

Respecte d'aquest descens, la reducció de l'oxigen repartit (distribuït) al múscul a causa de la reducció del volum sistòlic o potser a causa d'una mala distribució d'aquest, apareix com el factor que té un paper més gran fins a la meitat de l'edat, tenint en compte també que hi ha una disminució de la capacitat d'oxidació del múscul esquelètic amb l'edat a causa de la disfunció mitocondrial que ja apareix en la vellesa²².

En relació amb les condicions en què s'aconsegueix aquest consum d'oxigen, l'economia de la cursa és el cost metabòlic, mesurat en forma de consum d'oxigen, que un subjecte consumeix per a una velocitat i un pendent determinats.

Es considera que aquesta economia millora quan per a una mateixa velocitat i pendent, el consum d'oxigen es redueix, o el que vindria a ser el mateix, quan el subjecte pot generar més velocitat en el seu $VO_{2\max}$.

S'ha demostrat que hi ha una millora contínua en aquesta economia de cursa durant el creixement i l'adolescència, la qual més endavant s'estabilitza si el subjecte no continua entrenant aquest paràmetre^{23,24}.

Rowland²⁵ va demostrar, en subjectes de 8-12 anys, que la conseqüència d'això era que el nivell de resistència s'elevava, ja que per a un mateix consum d'oxigen, els nens de 12 anys eren capaços de generar més velocitat i d'experimentar, per tant, una intensitat relativa d'esforç menor.

Aquesta evolució en l'economia de cursa lligada a l'edat també ha estat demostrada fins i tot després de l'adolescència gràcies a les experiències d'Emre et al²⁶ i per Guner et al²⁷, que van comparar jugadors de futbol de 17-21 anys.

FC màxima (FCM)

Hi ha consens científic a l'hora d'assegurar que l'FC és més alta en nens que no pas en adults, tant en repòs com fent exercici.

Centrant-nos en el valor màxim que pot aconseguir un subjecte, aquest comença a disminuir a partir dels 9-10 anys²⁸ a raó de 7-8 batecs per dècada²⁹.

Amb tot, el valor de l'FCM obtingut dependrà tant del protocol utilitzat com de la motivació del subjecte a l'hora de fer la prova³⁰.

Si la prova es realitza en cinta contínua, el valor màxim obtingut és lleument superior respecte de la prova realitzada en cicloergòmetre³¹.

Si la prova es fa a una velocitat alta i continuada, el valor obtingut és més elevat que si la prova és incremental²³.

En línies generals, el descens de l'FCM amb l'edat ve donat per una menor resposta en la circulació de les catecolamines, i té com a conseqüència una reducció en la capacitat i potència aeròbica ($VO_{2\max}$) del subjecte^{32,33}.

Llindar anaeròbic (% $VO_{2\max}$)

Com a norma general i per a la població sedentària, el llindar anaeròbic es produeix aproximadament al 60% del consum màxim d'oxigen¹.

A mesura que el subjecte s'involucra en la pràctica i l'entrenament esportiu, aquest percentatge comença a pujar de tal manera que cada vegada apareix més tard aquesta inflexió en la concentració de l'àcid làctic²³.

La idea bàsica que es desprèn d'aquesta evidència és que com més alt és el percentatge de $VO_{2\max}$ a què apareix el llindar, en millor estat de forma es trobarà el subjecte avaluat.

En estar l'evolució d'aquest paràmetre molt condicionada al tipus d'entrenament (volum i intensitat) efectuat, no s'han trobat estudis que facin referència al comportament longitudinal d'aquest paràmetre amb el temps.

Objectiu

Determinar l'evolució longitudinal dels principals paràmetres fisiològics que determinen la condició aeròbica en jugadors de futbol joves, entre 15-18 anys.

Material i mètode

La mostra per a aquest estudi va constar de 79 jugadors de futbol pertanyents a les categories inferiors de l'Albacete Balompié, d'edats compreses entre 15-18 anys i que havien passat reconeixement mèdic en alguna de les 7 temporades de què es van obtenir dades (2000-2001 fins a 2007-2008).

Per obtenir resultats longitudinals es van valorar, d'aquesta mostra, 18 jugadors de què es disposava dades de 4 temporades consecutives, des dels 15 fins als 18 anys.

Per reforçar els resultats obtinguts, es van filtrar els resultats dels jugadors dels quals es tenien valors dels 15 i 16 anys (31 subjectes), 16 i 17 anys (56 subjectes), i 17 i 18 anys (65 subjectes).

Tots els individus van fer una prova d'esforç de valoració inicial en finalitzar la pretemporada respectiva de la categoria esportiva corresponent, la qual en tots els casos va consistir en un protocol continu i incremental en cinta contínua, amb pendent de l'1%.

Després d'una fase d'escalfament de 2 min a una velocitat inicial de 6 km/h, la prova començava a una velocitat de 8 km/h, que anava augmentant 0,25 km/h cada 15 s.

Durant la prova, que es va monitorar electrocardiogràficament en tot moment, es va utilitzar una cinta contínua Power Jog, un analitzador de gasos respiració per respiració marca Jaeger, model Oxicon Alpha, i un pulsòmetre polar T-31.

Es va establir un període de descans previ a la prova de 24 h per a tots els subjectes mesurats.

Els 4 paràmetres rellevants per al nostre estudi van ser:

- $VO_{2m\grave{a}x}$: es va considerar assolit quan el subjecte va presentar l'“altiplà” en la seva corba de consum o quan subjectivament aquest va considerar que ja no podia continuar a causa de l'esgotament.
- *Velocitat de $VO_{2m\grave{a}x}$* : definida com la velocitat de cursa que el subjecte va aconseguir en el moment d'arribar al seu màxim consum d'oxigen.
- *% $VO_{2m\grave{a}x}$ a què es va produir el llindar anaeròbic*: mitjançant el mètode dels equivalents ventilatoris es va poder determinar en quin percentatge de $V\ VO_{2m\grave{a}x}$ es produïa el llindar anaeròbic del subjecte.
- *FCM*: valor mesurat mitjançant el registre cardíac durant la fase final de la prova o de màxima exigència fisiològica.

Els criteris seguits per determinar que la prova havia estat màxima van ser:

- 1) Aparició de l'altiplà de $VO_{2\cdot}$.
- 2) $CR \geq 1,10$.
- 3) $\% FCM > 85\%$ de l'FCM teòrica.

Tots els valors estudiats i analitzats van ser obtinguts pels professionals sanitaris del Centro de Medicina del Deporte de l'Institut Municipal de Deportes d'Albacete, i a càrrec de totes les proves d'esforç realitzades hi havia el mateix metge i totes seguint un mateix protocol.

D'acord amb la Llei 14/1986, general de sanitat, tots els subjectes van donar el seu consentiment informat per dur a terme els diversos mesuraments durant la prova d'esforç; aquest consentiment va haver de ser signat pels pares en la majoria dels casos, en tractar-se de menors de 18 anys.

Les dades obtingudes van ser tractades estadísticament mitjançant el programa SPSS v15, tot realitzant proves no paramètriques per comparar els resultats dels 18 subjectes amb 4 mesuraments consecutius i proves paramètriques per comparar els resultats dels subjectes amb 2 mesuraments successius.

Resultats

Un cop analitzades les dades obtingudes per als 18 subjectes amb 4 mesuraments consecutius i essent aquests comparats amb jugadors amb 2 mesuraments successius per reforçar els valors, es van obtenir els resultats següents:

$VO_{2m\grave{a}x}$

El valor mitjà de $VO_{2m\grave{a}x}$ relatiu per a l'edat de 15 anys va ser de $56,4 \pm 5,1$ ml/kg/min; $56,44 \pm 4,4$ per als 16 anys; $56,18 \pm 4,47$ per als 17 anys, i $58,11 \pm 3,5$ per als 18 anys.

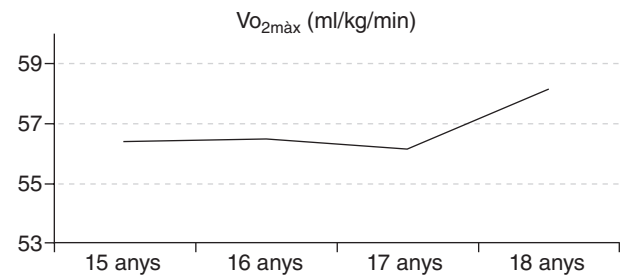


Figura 1 Evolució del màxim consum d'oxigen relatiu en el transcurs de l'adolescència en futbolistes joves.

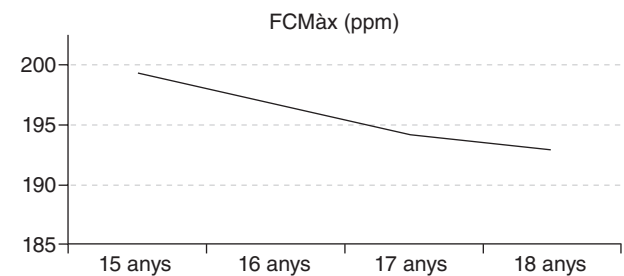


Figura 2 Evolució de l'FCM en el transcurs de l'adolescència en futbolistes joves.

En comparar estadísticament els resultats entre les 4 edats no es van trobar diferències significatives entre cap ($p > 0,05$) (fig. 1).

En analitzar els valors obtinguts dels jugadors de la mostra que tenien 2 mesuraments successius, i amb l'objectiu de reforçar les dades del grup amb 4 anys, es va observar que:

- En el grup de 31 subjectes amb mesuraments dels 15 i 16 anys, es van obtenir valors de $VO_{2m\grave{a}x}$ de $56,7 \pm 4,6$ i $56,68 \pm 4,7$, respectivament. Com que estadísticament $p > 0,05$, es va confirmar que no hi ha diferències significatives entre ambdós grups.
- Per al grup de 56 subjectes amb dades dels seus 16 i 17 anys, el $VO_{2m\grave{a}x}$ va ser de $56,86 \pm 4,43$ per als primers i de $57,03 \pm 4,6$ per als segons, essent també aquí $p > 0,05$.
- Entre els 65 subjectes amb mesuraments dels 17 i 18 anys, els primers van obtenir un $VO_{2m\grave{a}x}$ de $56,7 \pm 4,8$, mentre que en els últims va ser de $56,43 \pm 4,2$. En ser novament $p > 0,05$, no es va poder establir cap diferència.

FCM

El valor mitjà d'FCM per a l'edat de 15 anys va ser de $199,33 \pm 5,6$; per als de 16 anys, $196,78 \pm 5,9$; $194,22 \pm 5,2$ per als de 17 anys, i $192,83 \pm 7,6$ per als de 18 anys (fig. 2).

Estadísticament, entre els 15-16 anys d'una banda i els 16 i 17 d'un altra, va donar-se significativitat en la diferència ($p < 0,05$).

Entre els grups de 15-18 i 16-18, el nivell de significativitat va ser alt ($p < 0,005$).

Dintre d'aquest grup de 18 jugadors amb 4 mesuraments successius, no es van poder trobar diferències entre les edats de 17 i 18, ja que es va obtenir una $p > 0,05$.

Per reforçar aquests resultats:

- En el grup de 31 subjectes amb mesuraments dels 15 i 16 anys, es van obtenir valors d'FCM de $198,48 \pm 5,7$ i $196,06 \pm 6,04$, respectivament. Estadísticament, $p < 0,005$.
- En el grup de 56 subjectes amb dades dels seus 16 i 17 anys, els primers van obtenir $196,67 \pm 6,7$ bpm i els últims, $194,53 \pm 7,2$. En aquest cas, $p < 0,005$.
- Dels 65 subjectes amb mesuraments dels 17 i 18 anys, es van obtenir valors de $195,7 \pm 7$ i $194,2 \pm 8,5$, essent en aquest cas $p < 0,05$.

Velocitat de $VO_{2\text{màx}}$

La mitjana de velocitat en km/h a què es va obtenir el consum d'oxigen més elevat va ser de $17,13 \pm 0,8$ a l'edat de 15 anys; $18,04 \pm 1,08$ als 16 anys; $18,53 \pm 0,99$ als 17 anys i de $18,38 \pm 1,01$ als 18 anys (fig. 3).

Hi apareixen diferències significatives, de $p < 0,005$ entre els 15-16 anys i de $p < 0,05$ entre els 16-17.

No es van poder establir diferències entre els 17-18 anys ($p > 0,05$).

Amb l'objectiu de reforçar aquests resultats estadístics:

- Dintre del grup de 31 subjectes amb mesuraments dels 15 i 16 anys, es van obtenir valors de velocitat de $16,85 \pm 0,9$ i $17,89 \pm 1,08$, respectivament, amb $p < 0,005$.
- Del grup de 56 subjectes amb dades dels 16 i 17 anys, les seves velocitats van ser $17,73 \pm 1,09$ km/h i $18,38 \pm 0,88$ km/h, essent en aquest cas també $p < 0,005$.
- Dels 65 subjectes amb mesuraments de l'últim grup d'edat, es van obtenir valors de $18,33 \pm 0,86$ en els de 17 anys i de $18,29 \pm 1,01$ en els de 18 anys.
- En aquest cas no es van poder trobar diferències significatives ($p > 0,05$).

% $VO_{2\text{màx}}$ a què es produeix el llindar anaeròbic

El percentatge de $VO_{2\text{màx}}$ a què es va produir el llindar anaeròbic en els jugadors de 15 anys va ser de $85,06 \pm 4,69$; en els de 16, de $86,11 \pm 3,61$; de $84,74 \pm 5,36$ en els de 17 anys, i de $82,83 \pm 5,82$ en els de 18 (fig. 4).

No es van trobar diferències significatives entre cap dels 4 grups, ja que en tots els casos $p > 0,05$.

En comparar els resultats amb els grups de jugadors amb 2 mesuraments successius:

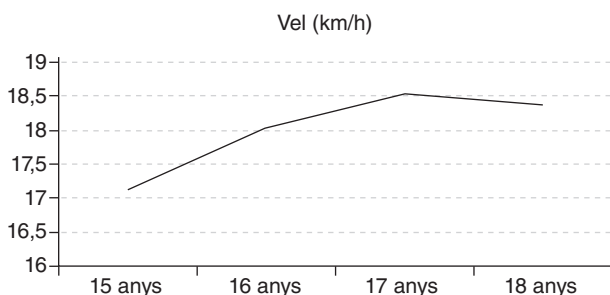


Figura 3 Evolució de l'economia de cursa en el transcurs de l'adolescència en futbolistes joves.

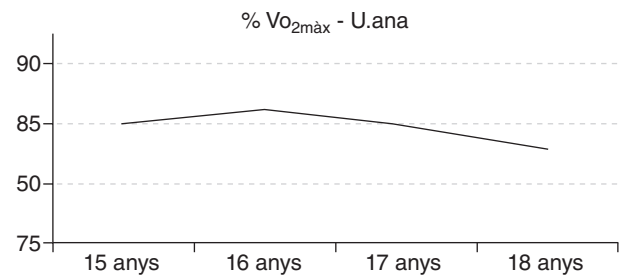


Figura 4 Evolució del percentatge de $VO_{2\text{màx}}$ a què es produeix el llindar anaeròbic durant l'adolescència.

- Dintre del grup de 31 subjectes amb mesuraments dels 15 i 16 anys, els percentatges van ser de $86,61 \pm 4,99$ i $85,97 \pm 4,04$ ($p > 0,05$).
- Del grup de 56 subjectes amb dades dels 16 i 17 anys, els primers van obtenir un percentatge mitjà de $85,28 \pm 5,65$ i els segons de $85,41 \pm 5,09$ ($p > 0,05$).
- Dels 65 subjectes amb mesuraments dels 17 i 18 anys, es van extreure dades de percentatges de $84,96 \pm 5,69$ i $81,78 \pm 6,31$, respectivament, els quals sí van ser determinats com a estadísticament diferents, en ser $p < 0,005$ (taula 1).

Discussió

Aquest treball ha permès analitzar l'evolució longitudinal dels principals condicionants de la condició aeròbica en futbolistes joves entre 15-18 anys, a fi d'establir un perfil de comportament de les dades analitzades i així obtenir un possible punt de referència per a hipòtesis o estudis futurs.

En primer lloc, en comparar els valors obtinguts per al paràmetre marcador de la potència aeròbica d'un subjecte ($VO_{2\text{màx}}$), hem aconseguit valors lleument inferiors ($56-58$ ml/kg/min) als indicats per Chamari et al^{34,35}, els quals, en una mostra de futbolistes d'edat semblant i mitjançant el mateix protocol, donen valors de $VO_{2\text{màx}}$ de $61-65$ ml/kg/min.

Hem observat, a més, que aquest paràmetre no presenta una evolució en aquesta franja d'edat, sinó que es manté constant, sense poder observar diferències significatives entre cap dels grups d'edat.

En el nostre estudi no es pot observar el descens d'aquest valor a partir dels 14 anys com assenyalen Kemper et al¹³ o dels 16 com demostren Poortmans et al¹⁴, per la qual cosa la nostra experiència estaria més pròxima a les de Shephard²⁰ i d'Inbar et al²¹, els quals afirmen que el $VO_{2\text{màx}}$ es manté constant aproximadament fins als 20 anys, moment en què comença a davallar.

Respecte de la màxima velocitat de cursa assolida pels subjectes analitzats en el moment en què es va constatar el seu màxim consum d'oxigen, els valors mostrats pel nostre estudi, en comparar-los amb les dades de Chamari et al^{34,35} són més elevats per al col·lectiu de menor edat ($17,13$ vs. $15,8$ km/h), però semblants en el grup de 18 anys ($18,3$ vs. $18,4$ km/h).

Santos-Silva et al³⁶, en un grup de futbolistes joves entre 17-20 anys també obtenen valors inferiors als del nostre

Taula 1 Taula de cohorts

	VO _{2màx} (ml/kg/min)			Freqüència cardíaca màx (bpm)			Velocitat en VO _{2màx} (VAM) (km/h)			%VO _{2màx} U. Anaeròbic						
	Edat (anys)			Edat (anys)			Edat (anys)			Edat (anys)						
Subjecte	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18
1	59,5	57	55,1	56,3	203	205	203	198	16,7	17,5	18	17,3	80	92	85	85
2	57,9	53,9	51,7	59,6	206	202	200	204	16	16,8	17,8	18,3	87	88	85	78
3	58,3	61,6	55,7	55,3	203	205	198	202	16,7	17,5	18,5	18,9	80	81	87	94
4	54,7	56,8	57,1	56,7	203	197	190	192	16,2	18	17,8	18,5	78	84	85	85
5	57,5	54,8	59,1	58	185	188	192	182	18,2	19	20	19,3	90	83	72	84
6	62,1	58,1	58,2	60,7	198	207	197	199	18,5	20	20	20	90	81	86	76
7	54,2	50	47,4	56,2	194	188	194	188	16,7	16,2	18	18	93	88	76	90
8	60,7	63,6	60,1	65	204	202	197	194	17,7	19,7	19,3	20	86	85	84	87
9	57,5	55,9	56,5	57,9	200	197	202	200	16,5	17,2	17,8	17,5	85	92	88	75
10	65	64,6	63,5	64,4	193	189	187	183	18,7	18,5	19,8	19	91	84	89	88
11	59,1	61,7	59,2	64,2	206	192	188	183	17,5	18,7	19,5	18,7	82	82	86	76
12	48,6	51,5	56,3	56	200	199	200	199	17,2	17,2	18	16,5	88	89	79	83
13	42,2	54,8	63,6	58,2	194	192	187	189	18,5	19,5	20	20	85	91	85	85
14	51,8	55,4	52,8	54,1	207	200	198	205	16,5	17,2	17,2	17,3	83	87	95	85
15	59,4	56,6	56,7	55,5	196	194	193	188	15,7	17,8	18	17,9	80	89	81	73
16	55,5	54,4	50,9	55,3	197	194	190	192	17,1	16,8	17	17,5	85	87	91	86
17	55,9	47,7	49	59,5	198	194	191	190	17,2	18,8	18,8	18,3	90	83	89	85
18	55,3	57,5	58,3	53	201	197	189	183	16,7	18,3	18	17,8	78	84	83	76
Mitjana	56,40	56,44	56,18	58,11	199,33	196,78	194,22	192,83	17,13	18,04	18,53	18,38	85,06	86,11	84,78	82,83
Desviació ±	5,16	4,45	4,48	3,54	5,62	5,91	5,26	7,63	0,89	1,09	0,99	1,02	4,70	3,61	5,36	5,82
Significativitat	—	—	—	—	* amb 16	** amb 18	* amb 16	—	** amb 16	* amb 17	—	—	—	—	—	—

* p<0,05.

**p<0,005.

estudi respecte de la màxima velocitat aconseguida (15,7 km/h).

Si s'observa la tendència evolutiva d'aquest factor amb el pas dels anys, les nostres dades corroboren les idees d'Astrand i Rodahl²³ i de McDougall et al²⁴, que assenyalen que la velocitat generada augmentarà durant la fase de la pubertat, per establir-se o créixer molt poc més endavant; concretament, en la nostra experiència hem observat un creixement significatiu en els 15-17 anys, que es frena a partir d'aquesta edat i no es troben diferències amb l'edat de 18 anys.

Respecte d'això, com que la nostra mostra de jugadors no va superar els 18 anys, no hem pogut constatar una millora en l'economia de cursa a partir d'aquesta edat, cosa que sí van fer Emre et al²⁶ i Guner et al²⁷.

Quant a l'FCM aconseguida pels individus, els valors obtinguts estan d'acord amb Chamari et al^{34,35}, els quals aporten resultats pràcticament semblants d'aquest paràmetre (192 bpm per al grup de més edat i 198 bpm per als de 15 anys).

D'acord amb aquestes dades, hem comprovat que la tan estesa fórmula de $220 - \text{edat}$ per al càlcul de l'FCM d'un subjecte, sobreestima el valor real, mentre que la proposta de Tanaka et al (2001) en què $\text{FCM} = 208,75 - 0,73 \cdot \text{edat}$ s'acosta més al valor assolit³⁷.

En analitzar el comportament que té aquest valor amb el pas dels anys en un subjecte, corroborem, com en altres experiències²⁸, que aquest valor disminueix a mesura que el subjecte va envellint, ja que en interpretar els nostres resultats trobem diferències significatives entre tots els grups d'edat analitzats.

D'altra banda, la taxa de decreixement que hem observat en aquest valor és gairebé el doble que la proposada per Robinson l'any 1938²⁹ (7-8 bpm per dècada), ja que aquest descens concorda amb allò que ha experimentat el nostre grup en només 4 anys.

Finalment, en interpretar els valors obtinguts per al percentatge de $\text{VO}_{2\text{màx}}$ en què els jugadors experimentaven el seu llinar anaeròbic, no s'han constatat diferències entre cap dels grups d'edat ni tendències de creixement cap a un costat o l'altre.

Aproximadament en totes les edats es va produir el llinar a prop del 85% del $\text{VO}_{2\text{màx}}$, el qual, com és lògic, supera el 60% establert per a la població normal¹ i reforça les dades de Chamari et al³⁴, els quals obtenen valors del 87% en el col·lectiu de 15 anys.

En no haver trobat en la bibliografia científica experiències que analitzin l'evolució d'aquest paràmetre amb l'edat, no podem reforçar ni refutar les nostres dades, les quals, com l'anàlisi estadística ens indica, proposen un manteniment en aquest paràmetre dels 15-18 anys; seria, per tant, interessant continuar aprofundint en l'estudi de nous i variats mètodes de valoració de la màxima capacitat aeròbica³⁸ i dels paràmetres que hi estan vinculats, per escatir el panorama.

En conclusió, i amb totes les dades aquí reflectides, creiem haver establert una nova referència per determinar la relació del creixement amb certs paràmetres fisiològics en jugadors de futbol joves, la qual, en veure's reforçada per altres nombroses experiències, pot servir com a punt de partida de nous estudis o hipòtesis sustentades en algun d'aquests paràmetres.

Essent conscients que una mostra relativament escassa no es pot extrapolar a tot el col·lectiu de futbolistes, cal assenyalar i esmentar la dificultat de comptar amb un grup més ampli en tractar-se d'un estudi longitudinal, ja que com és lògic, amb el pas dels anys els jugadors joves canvien d'equip fàcilment o simplement el procés selectiu prescindeix d'ells.

Com a principal limitació del nostre estudi que caldrà millorar en investigacions futures, hi ha el fet de comptar amb un període de provatura massa ampli (finalització de la pretemporada), no uniforme per a totes les edats ni tampoc igual en tots els mesuraments.

A més, en no controlar ni el volum, ni la intensitat ni el tipus d'entrenament seguit per cadascun dels grups d'edat, les dades de les proves poden estar condicionades i mostrar valors diferents dels que es podrien esperar si tots els subjectes haguessin estat mesurats en condicions prèvies semblants.

Finalment, cal esmentar que hauria estat interessant, en la nostra valoració, determinar el nivell maduratiu dels subjectes estudiats, ja fos mitjançant els estudis de Tanner o fins i tot a través de radiografies del carp. Aquesta dada seria rellevant amb vista a la determinació de l'homogeneïtat del grup, per la qual cosa considerem que hauria de ser tingut en compte en recerques futures.

Conclusions

- El consum màxim d'oxigen relatiu com a màxim exponent de la potència aeròbica d'un subjecte no té modificacions significatives durant el període d'edat dels 15-18 anys.
- L'economia de cursa mesurada mitjançant la capacitat de generar velocitat (velocitat de desplaçament) a una intensitat determinada, millora durant la pubertat, mentre que s'estabilitza a partir dels 17 anys.
- L'FCM es redueix durant l'adolescència a raó de 7-8 batecs cada 5 anys.
- No hi ha diferències entre els percentatges de $\text{VO}_{2\text{màx}}$ als quals els jugadors entre 15-18 anys assoleixen el seu llinar anaeròbic.

Agraïments

A l'Albacete Balompié per la seva total disposició i col·laboració en aquest estudi. Al personal de l'Instituto Municipal de Deportes, la feina del qual va ser fonamental en la recollida de les dades. A la Facultad de Ciencias del Deporte de València, pel seu suport científic, els suggeriments i les correccions.

Bibliografia

1. López Chicharro J, Fernandez Vaquero A. Fisiologia del Ejercicio. Madrid: Panamericana; 2001.
2. Bangsbo J, Mohr M, Krustup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. J Sports Sci. 2006; 24:665-74.

3. Ekblom B. Manual de ciencias del entrenamiento: Fútbol. Barcelona: Paidotribo; 1999.
4. Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci.* 2003;21:439-49.
5. Bangsbo J. Entrenamiento de la condición física en el fútbol, 3 ed. Barcelona: Paidotribo; 2002.
6. Bangsbo J. The training session. En: Bangsbo J. Aerobic and anaerobic training in soccer. Special emphasis on training of youth players. Stormtryk, Bagsvaerd, Denmark; 2007:77-88.
7. González Aramendi J, Ainz González L. Capacidad funcional aeróbica en jugadores de fútbol adolescentes. *Arch Med Dep.* 1998;15:201-7.
8. Helgerud J, Engen L. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:1925-31.
9. Ekblom B. Applied physiology of soccer. *Sports Med.* 1986;3:50-60.
10. Ayestaran P. La planificación en el fútbol. *Revista Técnica ABfútbol.* 2003;6.
11. Campos Vazquez M. El entrenamiento en fútbol basado en el análisis de la competición. *Revista Técnica ABfútbol.* 2006;23:13-27.
12. Baxter-Jones A, Goldstein H, Helms P. The development of aerobic power in young athletes. *J Appl Physiol* 1993;75:160-7.
13. Kemper HC, Verschuur R. Longitudinal study of maximal aerobic power in teenagers. *Ann Hum Biol.* 1987;14:435-44.
14. Poortmans J, Vlaeminck M, Collin M, Delmotte C. Indirect estimation of the maximal aerobic power of a male and female population from Brussels aged 6 to 23 years. Comparison with a direct technic for measuring maximal oxygen consumption. *J Physiol.* 1986;81:195-201.
15. McMurray RG, Harrell JS, Bradley CB, Deng S, Bangdiwala SI. Predicted maximal aerobic power in youth is related to age, gender, and ethnicity. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:145-51.
16. Krahenbuhl GS, Morgan DW, Pangrazi RP. Longitudinal changes in distance-running performance of young males. *Int J Sports Med.* 1989;10:92-6.
17. Ferrer V, Escarabajal JF, Carrión M, García Córcoles M. Resistencia aeróbica en futbolistas de categoría cadete y juvenil. *Selección.* 2004;13:116-23.
18. Hansen L, Klausen K. Development of aerobic power in pubescent male soccer players related to hematocrit, hemoglobin and maturation. A longitudinal study. *J Sports Med Phys Fitness.* 2004;44:219-23.
19. Mirwald RL, Bailey DA, Cameron N, Rasmussen RL. Longitudinal comparison of aerobic power in active and inactive boys aged 7.0 to 17.0 years. *Ann Hum Biol.* 1981;8:405-14.
20. Shephard RJ. Is the measurement of maximal oxygen intake passé? *Br J Sports Med.* doi:10.1136/bjsm.2008.052506.
21. Inbar O, Oren A, Scheinowitz M, Rotstein A, Dlin R, Casaburi R. Normal cardiopulmonary responses during incremental exercise in 20- to 70-yr-oldmen. *Med Sci SportsExerc.* 1994;26:538-46.
22. Betik AC, Hepple RT. Determinants of VO2 max decline with aging: an integrated perspective. *Appl Physiol Nutr Me.* 2008;33:130-40.
23. Astrand P, Rodahl K. Text book of Work Physiology. New York: McGraw-Hill; 1970.
24. MacDougall JD, Roche PD, Bar-Or O, Moroz JR. Oxygen cost of running in children of different ages; maximal aerobic power of Canadian school children. *Canadian Journal of Applied Sports Science.* 1979;4:237.
25. Rowland T. Oxygen uptake and physical fitness in children. *Pediatr Exerc Sci.* 1989;1:318.
26. Emre AK, Ahmet Y, Seref C, Feza K. Physiological profiles of soccer players: u17, u19, u21 and over 21. *J Sport Sci Med.* 2007;6(Suppl.10).
27. Guner R, Kunduracioglu B, Ulkar B. Running Velocities and Heart Rates at Fixed Blood Lactate Concentrations in Young Soccer players. *Adv Ther.* 2006;23.
28. Cleatham CC, Mahon AD, Brown JD, Bolster DR. Cardiovascular responses during prolonged exercise at ventilator threshold in boys and men. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:1080-7.
29. Robinson S. Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Arbeitsphysiologie.* 1938;10:251-323.
30. Arrabitell, Jakob E, Keul J. La FC como valor para el diagnóstico del esfuerzo y la orientación del entrenamiento. *Arch Med Dep.* 1988;18:147.
31. Rowland T. Exercise and Children's Health. Ed Human Kinetics; 1990.
32. Demetra C, Douglas R. Decreased maximal heart rate with aging is related to reduced {beta}-adrenergic responsiveness but is largely explained by a reduction in intrinsic heart rate. *J Appl Physiol.* 2008;105:24-9.
33. Fuchi T, Iwaoka K, Higuchi M, Kobayashi S. Cardiovascular changes associated with decreased aerobic capacity and aging in long distance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1989;58:884-9.
34. Chamari K, Hachana Y, Ahmed B, Galy O, Sghaier F, Chatard JC, et al. Field and laboratory testing in young elite soccer players. *Br J Sports Med.* 2004;38:191-6.
35. Chamari K, Hachana Y, Kaouech F, Jeddi R, Moussa-Chamaril, Wisløff U. Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *Br J Sports Med.* 2005;39:24-8.
36. Santos-Silva PR, Fonseca AF, Weigand de Castro A, D'Andréa JM, Hernandez AJ. Reproducibility of maximum aerobic power (vo2max) among soccer players using a modified heck protocol. *Clin Sport Med.* 2007;62:391-6.
37. Marins JC, Delgado M. Employment of equations to estimate the maximum heart rate in running for young sportsman. *Archivos de Medicina del Deporte.* 2007;24:112-20.
38. Ramírez R, Agredo R, Ortega JG, Dosman V, López Alban CA. Análisis comparativo del VO2 max estimado mediante las ecuaciones desarrolladas por Jackson et al y el American College of Sport Medicine en corredores de maratón. *Apunts. Med Esport.* 2009;44:57-65.