

apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



TREBALL ORIGINAL

Relació entre l'edat cronològica i la maduració sexual amb la maduració òssia mitjançant ressonància magnètica de l'epífisi distal del radi en futbolistes adolescents

Jesús Bolívar^{a,b}, Óscar Sandoval^c, Jorge Osorio^{a,b}, Gabriel Dib^d, Jaime Gallo^{a,b,e,*}

^a Facultat de Medicina, Universidad de Antioquia, Medellín, Colòmbia

^b Grupo de investigación en medicina aplicada a la actividad física y el deporte - GRINMADE, Universidad de Antioquia, Medellín, Colòmbia

^c Hospital Universitario de Neiva, Neiva, Colòmbia

^d Centro avanzado de diagnóstico médico (CEDIMED), Medellín, Colòmbia

^e Centro clínico y de investigación (SICOR), Medellín, Colòmbia

Rebut el 3 de febrer de 2015; acceptat el 25 de maig de 2015

PARAULES CLAU

Determinació de l'edat per l'esquelet;
Desenvolupament sexual;
Adolescent;
Imatge per ressonància magnètica;
Epífisi;
Futbol

Resum

Introducció: Malgrat que el grau de fusió de l'epífisi distal del radi esquerre (EDRE) observat per ressonància magnètica (RM) ha estat relacionat amb l'edat cronològica (EC), es desconeix la relació amb l'estadi genital de Tanner en la població llatinoamericana.

Objectiu: Avaluar la relació de l'EC i la maduració sexual amb la maduració òssia (MO) mitjançant RM de l'EDRE en futbolistes adolescents de la ciutat de Medellín, Colòmbia.

Material i mètodes: Estudi transversal que inclogué 60 futbolistes homes d'edat legal certificada entre 12 i 18 anys. Es practicà una valoració mèdica i una RM de l'EDRE amb un escàner 1.5 T, segons un protocol descrit. La lectura de la imatge fou realitzada per 3 avaluadors cegats. Es determinà l'MO en 3 estadis (A: immadurs; B: en desenvolupament; C: madurs) i s'avaluà la variabilitat inter i intraobservador.

Resultats: Entre els futbolistes inclosos, es trobà una mitjana d'índex de massa corporal i percentatge de greix corporal de $19,6 \pm 2,0$ kg/m² i $1,1 \pm 1,2\%$, respectivament. Es trobà correlació entre l'EC i l'estadi de maduració del test genital de Tanner amb l'MO (Tau-b de Kendall 0,686 i 0,693, respectivament; $p < 0,001$). Tots els jugadors classificats en el grau C tenien 17 anys o més i estadi de Tanner V. La correlació interobservador i intraobservador mostrà un índex kappa de 0,36 ($p < 0,001$) i 0,60 ($p < 0,001$), respectivament.

Conclusió: Es trobà relació entre l'EC i la maduració sexual amb l'MO per RM de l'EDRE en futbolistes adolescents. Una classificació per graus d'MO en 3 categories podria ser més útil i tenir implicacions en la competició.

© 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: jagallo2000@yahoo.com (J. Gallo).

KEYWORDS

Age determination by skeleton;
Sexual development;
Adolescent,
Magnetic resonance imaging;
Epiphysis;
Football

Relationship of chronological age and sexual maturity with skeletal maturity by magnetic resonance imaging of the distal radial epiphysis in adolescent football players

Abstract

Introduction: Although the grade of fusion of the left distal radial epiphysis (LDRE) observed by magnetic resonance imaging (MRI) has been linked to chronological age (CA), its relationship to Tanner stage of the genitals in the Latin American population is unknown.

Objective: To evaluate the relationship of CA and sexual maturity with skeletal maturity (SM) determined by MRI of the LDRE in adolescent football players from Medellín, Colombia.

Materials and methods: Cross-sectional study that included 60 male football players with certified legal age between 12 and 18 years. Medical evaluation and MRI of the LDRE using a 1.5 T scanner was performed according to a described protocol. The image reading was performed by 3 blinded evaluators. SM was classified as: A: immature; B: developing; C: mature, and inter- and intra-observer variability was assessed.

Results: Among the football players included in the study, the average body mass index and body fat were 19.6 ± 2.0 kg/m² and $11.1 \pm 1.2\%$, respectively. A correlation of CA and the Tanner stage of genital maturity with SM (Kendall's Tau_b 0.686 and 0.693, respectively; $P < .001$) was found. All players classified as stage C were 17 or older and Tanner stage V. The inter-observer and intra-observer agreement showed a kappa index of 0.36 ($P < .001$) and 0.60 ($P < .001$), respectively.

Conclusion: A relationship was found between CA and sexual maturity and SM by MRI of the LDRE in adolescent football players. Classification by stage of SM in 3 categories could be more practical and have implications for competition.

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

Introducció

A les divisions inferiors de les lligues de futbol colombianes i internacionals han estat reportades algunes irregularitats de falsificació de documents i/o suplantació d'identitat per incorporar individus més grans a la pràctica esportiva, al·legant que eren més joves. Alguns d'aquests jugadors es perceben com a jugadors talentosos, quan, en realitat, són persones més madures que les adequades a les divisions^{1,2}.

Els mètodes disponibles per determinar l'edat òssia a partir d'estudis de raigs X són imprecisos i no validats a la nostra població³; actualment, els procediments de selecció que utilitzen els raigs X són inadequats i està prohibit que els estudis d'investigació utilitzin aquest tipus de tècnica⁴.

Estudis realitzats al Centre d'Avaluació i Investigació Mèdica de la Federació Internacional de Futbol Associació (FIFA) mostren que la ressonància magnètica (RM) de l'epífisi distal del radi esquerre (EDRE) pot ser utilitzada per determinar el grau de maduresa esquelètica (ME) de forma més fiable que les tècniques de raigs X⁵. A l'estudi de validació del mètode es descrigué un sistema de classificació de 6 graus progressius (I-VI), d'acord amb la fusió de l'EDRE de jugadors de futbol de sexe masculí entre 14 i 19 anys en 4 àrees diferents del món (Suïssa, Algèria, Malàisia i Argentina)⁵. Aquest estudi involucrà 496 jugadors i es trobà que entre els 16 i 17 anys menys de l'1% tenien fusió completa, i als 19 anys el 100% estava completament fusionat. Es con-

cloué que aquest mètode d'avaluació del grau d'ME per ressonància magnètica de l'EDRE es precís, fiable i segur. També ofereix una alternativa no invasiva per valorar l'ME dels jugadors.

A més, el mateix grup d'investigació de la FIFA reportà els resultats de la valoració de l'ME de l'EDRE mitjançant RM de 189 jugadors que participen en 4 competicions internacionals Sub-17 (Copa del Món Sub-17, FIFA 2003, Finlàndia; Copa del Món Sub-17, FIFA 2005, Perú; Confederació Asiàtica de Futbol, CAF Sub-17, 2004, Japó; CAF Sub-17, 2006, Singapur). En aquest estudi hi hagué falta de correlació entre l'edat reportada i el grau de fusió, cosa que suggerí que els jugadors d'aquestes competicions eren més madurs que la població de referència i es reforçà la sospita que l'edat declarada en els documents oficials no era sempre correcta⁶.

La mitjana d'edat segons el grau de fusió de l'EDRE per ressonància magnètica pot variar en les diferents regions⁵. La població colombiana, degut a aspectes demogràfics, nutricionals i socials, pot presentar diferències de la fusió òssia en comparació amb altres poblacions llatinoamericanes i mundials.

Tot i que el grau de maduració sexual (estadi de Tanner) s'ha correlacionat amb l'edat cronològica (EC), diversos estudis han demostrat que la maduresa de l'eix hipotalàmic-pituitari i de les gònades, EC i MO, segons els raigs X són asíncrones en subjectes joves sans^{7,8}. No s'han descrit estu-

dis que avaluin la relació entre l'estadi de Tanner i el grau d'MO, determinada per ressonància magnètica.

L'objectiu d'aquest estudi fou avaluar la relació entre EC i maduresa sexual amb l'MO determinada per ressonància magnètica de l'EDRE en jugadors de futbol adolescents de la ciutat de Medellín, Colòmbia.

Mètodes

Es féu un estudi transversal que inclogué jugadors de futbol pertanyents a clubs que participen en tornejos regulats per la Lliga de Futbol d'Antioquia, a Colòmbia. Tots els subjectes van néixer entre l'1 de gener de 1992 i el 31 de desembre de 1997, per la qual cosa tenien entre 12 i 18 anys en el moment d'incloure'ls a l'estudi.

Subjectes

Foren inclosos jugadors de futbol adolescents, segons l'edat acreditada per un certificat de naixement original, amb data de registre civil de naixement, fins a un màxim de 3 mesos després de la data de naixement. Corroborada la documentació i informació per experts del registre nacional de Colòmbia, els jugadors foren invitats a participar en el procés de selecció, per telèfon o pels seus entrenadors.

Tots els participants i els seus tutors legals foren informats del propòsit de la investigació i firmaren el formulari de consentiment informat, autoritzat pel Comitè de Bioètica de l'Institut de Investigació Mèdica de la Facultat de Medicina de la Universitat d'Antioquia.

Quan els jugadors i els seus tutors legals van acceptar participar a l'estudi, es realitzà una valoració mèdica, que incloïa informació de la història clínica i una revisió mèdica completa. Els estrats socioeconòmics es definiren d'acord amb la divisió oficial de Colòmbia, que inclou 6 categories (el nivell u és l'inferior, baix, i el sis és l'alt). Es realitzaren mesuraments antropomètrics, quantificació de la pressió arterial, la freqüència cardíaca, l'auscultació cardiopulmonar i la valoració de l'etapa de maduresa sexual. Es mesurà el pes amb una balança KH-2003B d'una precisió de 0,1 kg, l'estatura amb un estadiòmetre de paret de precisió de 0,1 cm (SECA 208, Seca Ltd., Hamburg, Alemanya), i l'índex de massa corporal es calculà amb l'equació pes/alçada². Per valorar el percentatge de greix corporal s'utilitzà l'equació de Yuhasz, modificada per Faulkner (% de greix = suma de 4 plecs cutanis [tríceps, subescapular, suprailíac, abdominal] × 0,158 + 5,783)⁹. Els plecs cutanis es mesuraren amb un adipòmetre marca Slimguide (Creative Health Products, Plymouth MI, EUA), i l'estat de maduresa de les característiques sexuals es definí d'acord amb l'escala de Tanner¹⁰.

Foren excloses les persones amb antecedents de malalties cròniques (diabetis, trastorns endocrins, asma, artritis, malalties del cor), que prenien esteroides, amb fractures de l'avantbraç o carp esquerre, o contraindicacions de l'RM de l'EDRE (presència de marcapassos, implants coclears, clips metàl·lics en el sistema nerviós central, o vàlvules del cor amb components ferromagnètics). Una vegada complets tots els requisits per participar a l'estudi, s'assignà a l'esportista un codi aleatori de 3 dígits.

Taula 1 Criteri de classificació en 6 i 3 categories d'ossificació/fusió de l'epífisi distal del radi esquerre mitjançant ressonància magnètica nuclear

Sis categories	Tres categories	Definició
I	A	No fusionat
II	B	Fusió precoç: mostra una hiperintensitat mínima amb la fisi
III		Fusió trabecular del < 50% de l'àrea transversal radial
IV		Fusió trabecular del > 50% de l'àrea transversal radial
V	C	Fisària residual, 5 mm en cada secció
VI		Fusió completa del radi distal esquerre

Ressonància magnètica de l'epífisi distal del radi esquerre

La ressonància magnètica de l'EDRE es realitzà en un centre especialitzat de diagnòstic per la imatge de Medellín, Colòmbia. Per obtenir la imatge es van usar paràmetres de normalització i el protocol descrit en la investigació duta a terme al Centre d'Avaluació i Investigació Mèdica de la FIFA^{5,6}. S'utilitzà un escàner d'RM Siemens 1.5 T; es col·locà el canell sobre el cap o al costat del cos amb el palmell de la mà cap a l'interior en el pla coronal. Les imatges s'emmagatzemaren en format digital (*Picture Archiving and Communication System* [PACS]) i es prengueren seguint els mateixos protocols; únicament el personal tècnic del centre de diagnòstic tingué accés als codis d'identificació dels participants.

Lectura d'imatges

Per a la lectura d'imatges se seguien les recomanacions descrites en investigacions prèvies^{5,6}. Els lectors (2 radiòlegs i un metge de medicina de l'esport) empraren el mètode de cegament pel que fa a la informació bàsica sobre els participants. Els resultats es presentaren en un format preestablert i en un sobre tancat, que només incloïa una descripció del codi assignat, grau de fusió i firma. Cada imatge fou llegida de manera independent i en diferents moments per cada avaluador. El grau de fusió fou la classificació més comuna entre els 3 resultats dels avaluadors (taula 1) (fig. 1).

D'acord amb les observacions realitzades pels investigadors i tenint en compte els resultats d'estudis previs¹¹, l'MO en el futbol es pot dividir en graus o etapes per homogeneïtzar la competició i evitar dificultats de l'EC. A partir de la classificació en 6 categories del grau de fusió de l'EDRE per RM proposada en estudis previs^{5,6} es plantejà la reestratificació en 3 categories en funció de les etapes de l'MO: etapa de maduresa A o immadurs (grau I de fusió), etapa de maduresa B o en desenvolupament (graus de fusió II-IV) i etapa de maduresa C o madurs (graus de fusió V i VI) (taula 1).

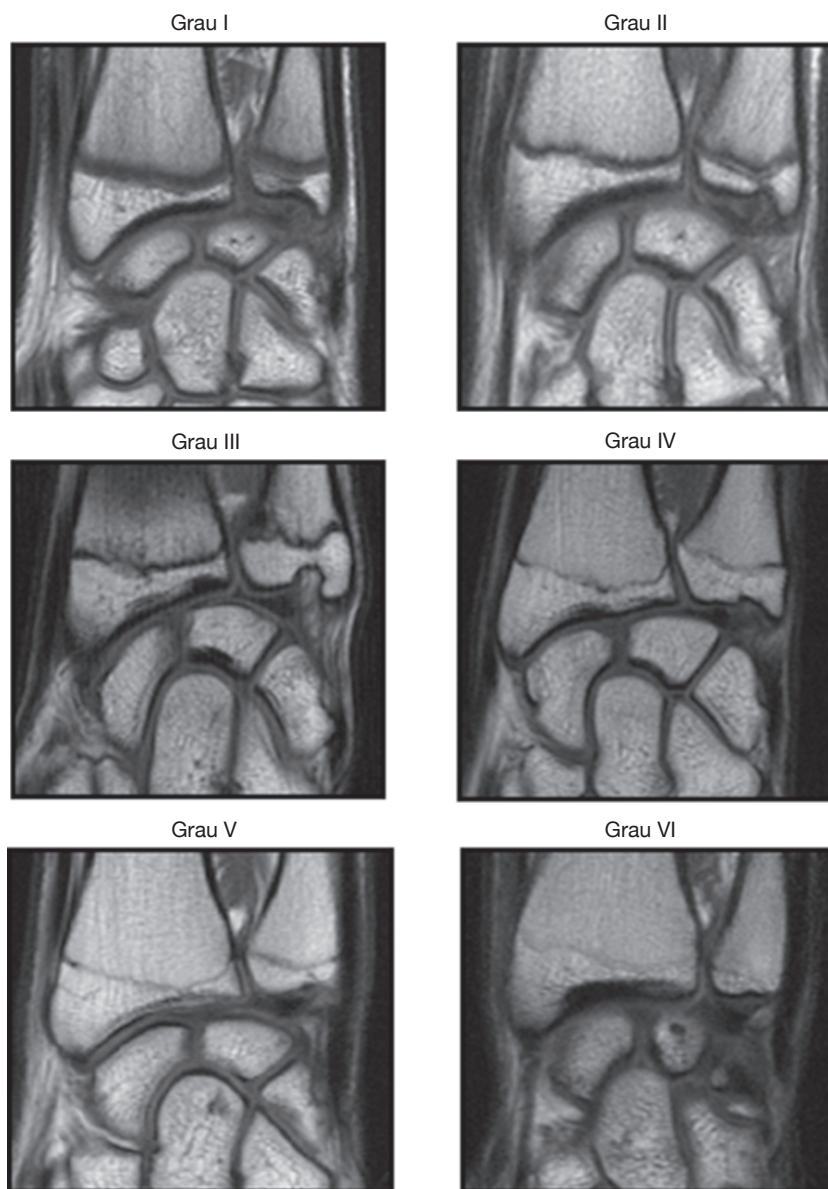


Figura 1 Imatges que mostren el grau de fusió òssia vistes mitjançant ressonància magnètica de l'epífisi distal del radi.

El 10% de les imatges foren seleccionades aleatòriament i reavaluades per un dels lectors per valorar la concordança intraobservador del test-retest.

Anàlisi estadística

S'utilitzà el test de Shapiro-Wilk per avaluar si les diferents variables quantitatives de la mostra i els diferents subgrups procedien d'una població normalment distribuïda. Per descriure les característiques clíniques, antropomètriques, les característiques de maduresa sexual de tota la mostra, així com el grau de fusió òssia, s'utilitzaren mesuraments de freqüència i percentatges per a les variables qualitatives i mesures de tendència central i de dispersió per a variables quantitatives. Si la variable quantitativa procedia d'una població distribuïda normalment, s'utilitzava la mitjana i des-

viació estàndard; si procedia d'una població que no es distribuïa normalment, s'utilitzava la mitjana i el rang interquartilic.

La relació d'EC i la maduresa sexual amb MO s'establí a partir del coeficient de correlació de Kendall. Per avaluar les diferències de l'EC, d'acord amb el grau de fusió òssia, s'utilitzà l'anàlisi no paramètrica de la variància (ANOVA) (prova de Kruskal-Wallis).

S'utilitzà l'*índex kappa* per realitzar l'anàlisi de correlació interobservador i intraobservador.

Les dades de cada jugador s'incorporaren al gestor de dades Microsoft Excel 2007. Es revisà la informació continguda en tots els formats per verificar-ne la realització. S'utilitzà el nivell de significació $\alpha = 0,05$ a totes les anàlisis, s'utilitzà EPIDAT 4.0 de l'Organització Panamericana de Salut i el programari IBM SPSS Statistics versió 21.0.

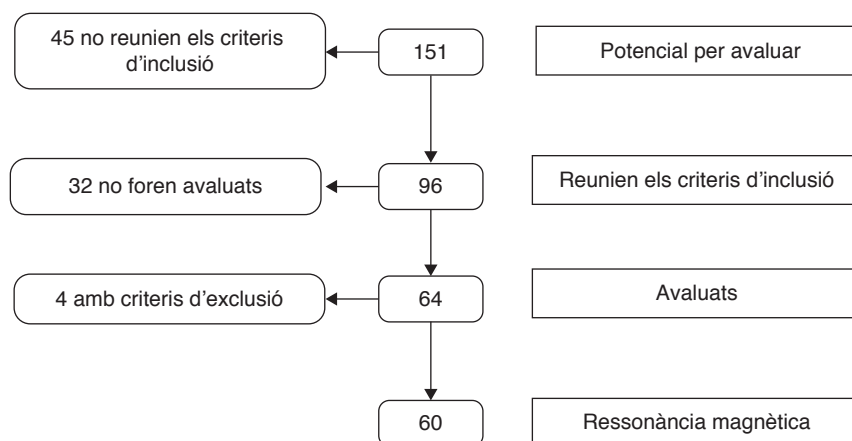


Figura 2 Diagrama de flux que mostra la selecció dels participants a l'estudi

Resultats

D'un total de 151 jugadors pertanyents als clubs seleccionats, 96 reuneixen els criteris d'inclusió. Seixanta-quatre acudiren a la valoració mèdica inicial; pel que fa als altres, no fou possible contactar-hi per telèfon: estaven fora de la ciutat o del país en el moment de la trucada telefònica, donat que pertanyien a clubs professionals o no s'ajustaven al programa fixat. Dels 64 jugadors avaluats, 4 foren exclosos per raons mèdiques (3 per una història de fractura del radi distal esquerre i un per asma). Finalment, es realitzà RM de l'EDRE a 60 jugadors (fig. 2).

Entre els 60 jugadors de futbol inclosos a l'estudi, la mitjana d'edat, índex de massa corporal i percentatge de massa corporal fou $14,9 \pm 1,6$ anys, $19,6 \pm 2,0$ kg/m² i $11,1 \pm 1,2\%$, respectivament. Entre els participants, la mitjana de vida esportiva fou de $4,3 \pm 2,5$ anys, i el volum d'entrenament setmanal, de $12,0 \pm 1,0$ h. Un 89,8% del total de jugadors anava a l'institut, i un 79,7% era d'estrats socioeconòmics 1, 2 o 3. S'incloueren 3 porters, 11 laterals, 7 centrals, 26 extrems i 13 davanterers (taula 2).

Després d'avaluar el grau de maduresa, respecte a les característiques sexuals secundàries, no es trobaren jugadors precoços o amb pubertat retardada. D'acord amb Tanner, l'1,8, el 14,5, el 27,3, el 23,6 i el 32,7% dels esportistes es trobaven als estadis I, II, III, IV i V, respectivament. Segons la classificació del grau de fusió de l'EDRE amb RM, el 31,7, el 60,0 i el 8,3% dels esportistes estaven classificats als estadis A, B i C, respectivament.

Es trobà correlació entre EC y estadis de maduresa genital de Tanner amb MO mitjançant RM d'EDRE (Tau_b de Kendall 0,686 y 0,693, respectivament; $p < 0,001$) (taula 3).

S'observaren diferències en la mitjana d'edat entre els graus de fusió d'EDRE amb RM en la classificació en 6 i 3 categories ($p < 0,001$) (fig. 3).

La figura 4 mostra la distribució del grau de fusió d'EDRE mitjançant RM a les classificacions en 6 i 3 categories, d'acord amb els estadis d'edat de Tanner. Tots els jugadors classificats com a estadi C tenien 17 anys o més i un estadi v de Tanner. Només un 27,8% dels jugadors de futbol de l'estadi v de genitals de Tanner estaven a l'estadi C.

A l'avaluació de correlació interobservadors del grau de

Taula 2 Característiques dels jugadors de futbol adolescents inclosos a l'estudi

Variables	Jugadors de futbol adolescents (n = 60)
<i>Edat (anys)</i>	$14,9 \pm 1,6$
<i>Pes (kg)</i>	$54,1 \pm 10,6$
<i>Estatuta (m)</i>	$1,6 \pm 0,1$
<i>Índex de massa corporal (kg·m²)</i>	$19,6 \pm 2,0$
<i>Greix corporal (percentatge)</i>	$11,1 \pm 1,2$
<i>Educació (%)</i>	
Escola secundària	89,8
Universitat	5,0
<i>Tanner (%)</i>	
I	1,8
II	14,5
III	27,3
IV	23,6
V	32,7
<i>Posició de joc (%)</i>	
Porters	5,0
Laterals	18,3
Centrals	11,7
Extrems	43,3
Davanterers	21,7
Volum d'entrenament setmanal (hores)	$12,0 \pm 1,0$
Mitjana de vida esportiva (anys)	$4,3 \pm 2,5$

Les dades es presenten com a mitjana \pm DE, quan convé.

fusió epifisària d'EDRE determinada per RM, es trobà un *índex kappa* de 0,23 (IC del 95% entre 0,10-0,28; $p < 0,001$) i 0,36 (IC del 95% entre 0,19-0,52; $p < 0,001$) en 6 i 3 categories, respectivament. A l'avaluació de correlació intraobservadors es trobà un *índex kappa* de 0,79 (IC del 95%: 0,62-0,96; $p < 0,001$) i 0,60 (IC del 95%: 0,21-0,99; $p < 0,001$) a la classificació que utilitza 6 i 3 categories, respectivament.

Taula 3 Correlació entre edat cronològica i estadi de maduresa genital de Tanner i maduresa òssia mitjançant ressonància magnètica de l'epífisi distal del radi en jugadors de futbol adolescents

Variables (n = 60)		Edat (anys)	Genital Tanner	Grau de maduració òssia
Edat (anys)	Tau_b de Kendall	1,00	0,727	0,686
	P		< 0,001	< 0,001
Genital Tanner	Tau_b de Kendall	0,727	1,00	0,693
	p	< 0,001		< 0,001
Grau de maduració òssia	Tau_b de Kendall	0,686	0,693	1,00
	p	< 0,001	< 0,001	

No es trobaren diferències de correlació en els *índexs kappa* entre les dues classificacions en comparar interobservadors i intraobservadors ($p > 0,05$).

Discussió

Al nostre estudi vam trobar relació entre EC, segons els estadis genitals de Tanner, i MO mitjançant RM d'EDRE en jugadors de futbol adolescents de Medellín, Colòmbia. Segons l'EC, els graus de fusió presentaven major capacitat discriminatòria en nens menors de 13 anys, dels quals el 100% mostrà etapa A. A més, totes les persones classificades a l'etapa C tenien 17 anys o més i l'estadi v de Tanner. Aquests resultats tenen implicacions en les competicions, sobretot a la categoria sub-17, en què sorgeixen les dificultats més grans. En aquest sentit, es planteja la possibilitat que es restringeixi la participació d'aquesta categoria als tornejos mundials únicament als individus amb estadi A o B d'MO.

L'agrupació en 3 categories, és a dir, etapa A, B o C, del grau de fusió d'EDRE determinat per RM, permet un enfocament més pràctic d'MO i evita la confusió que es pugui donar amb un nombre de categories major.

Tot i les correlacions positives entre l'EC, la maduresa sexual segons les etapes dels genitals de Tanner (maduresa biològica) i el grau de fusió òssia mitjançant RM de l'EDRE, s'observà una relació asíncrona de maduresa biològica (MB) de la fusió òssia. Mentre que el 32,7% dels individus foren Tanner etapa v, només el 8,3% presentà una fusió òssia d'estadi C. Aquestes troballes corroboren el resultat descrits en altres estudis que han reportat una diferència temporal en el desenvolupament de l'eix hipotalàmic pituitari i de les gònades i MO^{7,8}. L'MB és un tema d'interès i controvèrsia en diferents àrees de la salut, com l'endocrinologia pediàtrica¹², les ciències forenses^{13,14} i la medicina de l'esport¹⁵. És un tema important en la medicina de l'esport perquè el desenvolupament de les capacitats físiques i coordinatives es relaciona amb el grau d'MB¹⁶⁻¹⁸. A l'esport, el desig de guanyar i la recompensa econòmica inherent han portat a conductes poc ètiques a través de la falsificació o suplantació de la documentació legal dels esportistes, sobretot en el futbol¹.

Diversos autors han relacionat aspectes de l'MB, com el desenvolupament de les característiques sexuals secundàries (pèl púbic i axil·lar, pits, genitals), MO i EC⁷. Tot i la variabilitat natural en l'edat d'inici de la pubertat, es trobà una correlació alta entre estadis de Tanner i EC, fet que

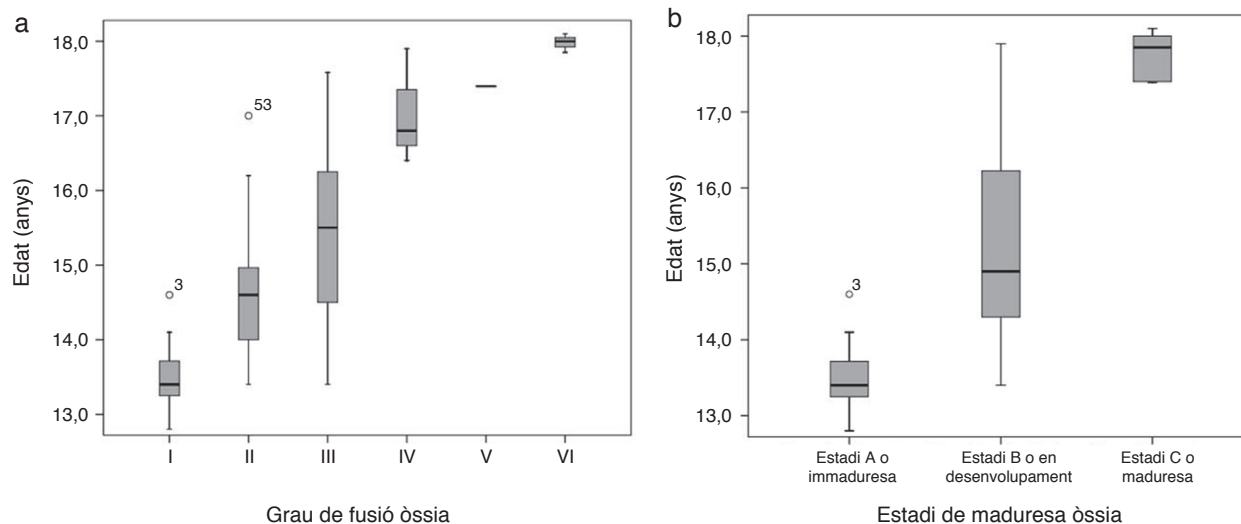


Figura 3 Diagrames de caixa d'edat segons els graus de fusió de l'epífisi distal del radi mitjançant ressonància magnètica en les classificacions de 6 (a) i 3 (b) categories.

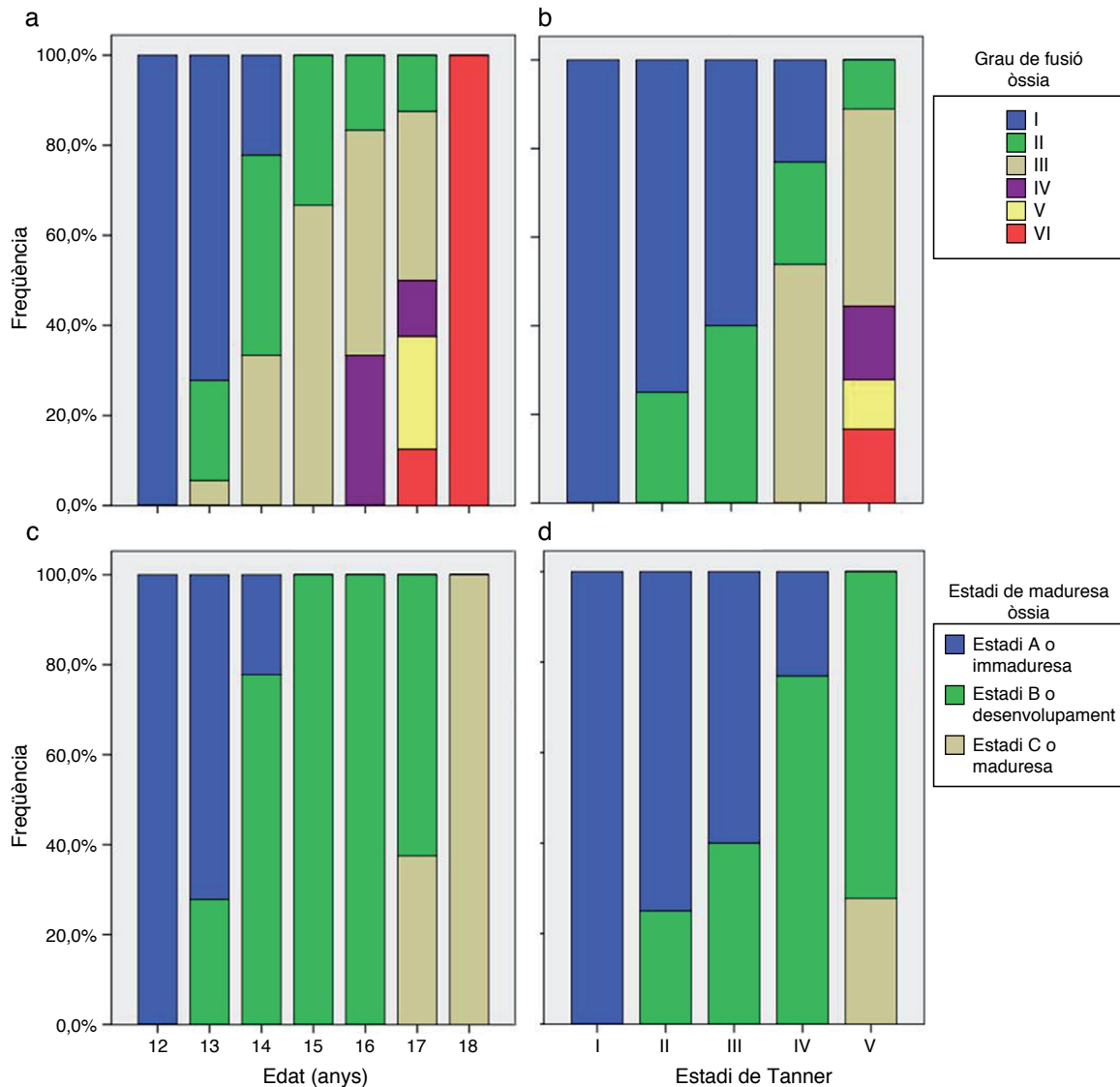


Figura 4 Distribució del grau de fusió de l'epífisi distal del radi mitjançant ressonància magnètica en les classificacions de 6 (a i b) i 3 (c i d) segons les categories d'edat i Tanner.

podria ser degut a les característiques sexuals i ètniques de la nostra població. També, malgrat que MB i MO estan correlacionades, són asíncrones en l'adolescent sa. Un estudi mostrà que l'MB es produeix 2-3 anys abans que l'MO⁷.

L'avaluació d'MO ha estat un tema de recerca al llarg de molts anys i ha estat correlacionat amb EC en nens i adolescents¹⁹. Tanmateix, els mètodes tradicionals d'avaluació de l'edat òssia poden subestimar o sobreestimar EC fins a 5 anys¹⁹. Aquestes tècniques es basen en la maduració seqüencial comuna dels ossos del carpi durant les etapes de desenvolupament biològic. Els estudis han demostrat que entre els 15 i els 17 anys el carpi, els metacarpians i les falanges estan completament desenvolupats. Per això, la valoració d'MO en edats més avançades es basa en la qualificació de la fusió de l'epífisi del radi i el cúbit, ja que són els últims ossos que es fusionen²⁰.

Els mètodes utilitzats més comunament per valorar l'edat òssia són Fels i TW3, que utilitzen imatges de raigs X

per determinar el creixement dels ossos del carpi del canell. El mètode Fels fou desenvolupat en el *Fels Longitudinal Study* i inclogué persones de classe mitjana d'Ohio, als Estats Units. Al mètode Fels, la fusió epifisària del radi distal es classifica en 4 graus per al medial i lateral tercer i en 3 per al central tercer. El protocol Fels assigna categories a indicadors específics de maduresa i utilitza classificacions dels mesuraments lineals de l'amplada de l'epífisi i metafisi dels ossos llargs. Els resultats s'introdueixen al programari (Felsw 1.0) que calcula l'edat òssia i l'error estàndard associat amb l'estimació²¹.

El mètode TW3 s'aplicà a joves d'Europa (Gran Bretanya, Bèlgica, Itàlia i Espanya), Amèrica del Sud (Argentina), Estats Units (Texas) i Japó²². Aquesta tècnica es diferencia de la seva predecessora, TW2, realitzada principalment amb població britànica el 1950²³. A TW3, els ossos de la mà esquerra i el canell es comparen amb les xifres i descripcions de la població de referència, que es

limiten al radi, cúbit, ossos curts i la primera, tercera i cinquena falange.

Per bé que ambdós mètodes (Fels i TW3) han estat àmpliament utilitzats a tot el món, tenen limitacions degut a l'estimació de l'edat òssia major que l'edat cronològica en jugadors de futbol joves^{8,24}. A més, són susceptibles d'inter i intravariabilitat de l'observador en relació amb els aspectes demogràfics, nutricionals i de salut, i pot haver-hi diferències genètiques entre la població de referència i les persones a les quals s'apliquen els mètodes²⁵.

Diversos estudis realitzats per la FIFA han descrit que el grau de fusió de l'EDRE mitjançant RM es correlaciona amb l'edat cronològica en jugadors de futbol adolescents^{5,6}. És important destacar que l'RM no té els riscos associats a la radiació en els menors. A més, les radiografies planars de l'epifisi distal radial sobreestimen la fusió en rangs d'edat entre els 15 i 19 anys en comparació amb l'RM²⁶.

Estudis que avaluen el grau de fusió d'EDRE per RM no defineixen una edat concreta de l'os, però sí força graus d'MO que estan relacionats amb l'EC. Aquest mètode evita les limitacions de tenir una edat òssia que pot ser superior o inferior a l'EC. A més, pot tenir aplicacions pràctiques para establir categories de competició segons el grau d'MO^{5,6}. La classificació de graus d'MO en 3 categories podria predir amb certesa que tots els de l'estadi C són madurs i tenen com a mínim 17 anys.

Aquest treball de recerca té algunes limitacions, com la inclusió d'una mostra de conveniència i la participació voluntària dels subjectes, cosa que podria generar un biaix en la selecció. Tanmateix, malgrat que tots els individus del marc de mostreig foren invitats a participar, finalment els criteris d'exclusió limitaren el nombre de jugadors.

La població avaluada és d'Antioquia i no és representativa de les diferents àrees de Colòmbia, que varien demogràficament i nutricionalment. Resulta difícil provar que la documentació no ha estat falsificada, ja que els documents poden ser legals; això no obstant, els nostres resultats són similars als reportats en la «població estàndard» de la FIFA⁶, i el rigor del protocol establert per verificar la documentació avala la qualitat de la informació.

Els nostres resultats concorden amb els suggeriments reportats per altres estudis, en què es proposa la classificació de la competició segons el grau de maduració i no exclusivament l'EC¹¹. Entre 2 subjectes de la mateixa edat, és possible trobar un individu d'MO a l'etapa B i un altre a la C. Independentment de l'edat, els individus classificats com a madurs haurien de participar a les categories superiors. Tenir en compte la classificació del grau d'MO permetria un joc més net, més homogeni i garantiria que els subjectes immadurs o en desenvolupament competissin amb els seus veritables homòlegs.

Conclusió

Es trobà relació entre EC i maduresa sexual amb MO a través d'RM de l'EDRE en jugadors de futbol adolescents. S'observaren diferències en la mitjana d'edat entre els graus de fusió d'EDRE per RM. Tots els jugadors classificats com etapa C tenien almenys 17 anys i etapa v de Tanner. Classificar el grau d'MO per etapes A, B o C (immadura, en desenvolupament o madura), d'acord amb la fusió de l'EDRE, podria ser més pràctic i tindria implicacions en la competició.

pament o madura), d'acord amb la fusió de l'EDRE, podria ser més pràctic i tindria implicacions en la competició.

Finançament

Aquest estudi fou realitzat amb recursos del CEDIMED, Corporación Deportiva Independiente Medellín, Liga de Fútbol de Antioquia i Escuela graduada de Medicina Aplicada a la Educación física y al Deporte de la Univesidad de Antioquia.

Conflicte d'interessos

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

Contribució dels autors

Estudi i concepció del disseny: JBS, OSZ, JOC, JGV; adquisició de dades: JBS, OSZ, GDD; anàlisi estadística: JBS, JGV; anàlisi i interpretació de dades, esborrany del manuscrit, revisió crítica del manuscrit i contingut intel·lectual: JBS, OSZ, JOC, GDD, JGV.

Agraïments

El nostre sincer agraïment a CEDIMED, a la Corporación Deportiva Independiente Medellín, a la Liga de Fútbol de Antioquia i a l'Escuela graduada de Medicina Aplicada a la Educación física y al Deporte de la Univesidad de Antioquia.

També volem agrair el Dr. Juan C. Calderón, de la Univesidad de Antioquia, per la revisió crítica del manuscrit i pel recolzament a la publicació.

Bibliografia

1. Dvorak J. Detecting over-age players using wrist MRI: Science partnering with sport to ensure fair play. *Br J Sports Med.* 2009;43:884-5.
2. Malina RM, Pena Reyes ME, Eisenmann JC, Horta L, Rodrigues J, Miller R. Height, mass and skeletal maturity of elite Portuguese soccer players aged 11-16 years. *J Sports Sci.* 2000;18:685-93.
3. Oestreich AE. Tanner-Whitehouse versus Greulich-Pyle in bone age determinations. *J Pediatr.* 1997;131 Pt 1:5-6.
4. Gonzalez AJ. Radiation safety standards and their application: International policies and current issues. *Health Phys.* 2004;87:258-72.
5. Dvorak J, George J, Junge A, Hodler J. Age determination by magnetic resonance imaging of the wrist in adolescent male football players. *Br J Sports Med.* 2007;41:45-52.
6. Dvorak J, George J, Junge A, Hodler J. Application of MRI of the wrist for age determination in international U-17 soccer competitions. *Br J Sports Med.* 2007;41:497-500.
7. Flor-Cisneros A, Roemmich JN, Rogol AD, Baron J. Bone age and onset of puberty in normal boys. *Mol Cell Endocrinol.* 2006;254-255:202-6.
8. Malina RM, Coelho ESMJ, Figueiredo AJ, Carling C, Beunen GP. Interrelationships among invasive and non-invasive indicators of biological maturation in adolescent male soccer players. *J Sports Sci.* 2012;30:1705-17.

9. Faulkner J. *Physiology of swimming and diving*. A: Falls H, editor. *Exercise physiology*. Baltimore: Academic Press; 1968. p. 415-45.
10. Tanner JM. *Growth at adolescence*. With a general consideration of the effects of hereditary and environmental factors upon growth and maturation from birth to maturity. 2a ed. London: Oxford, Blackwell Scientific Publications; 1962.
11. Malina RM, Cumming SP, Morano PJ, Barron M, Miller SJ. Maturity status of youth football players: A noninvasive estimate. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37:1044-52.
12. Spadoni GL, Cianfarani S. Bone age assessment in the workup of children with endocrine disorders. *Horm Res Paediatr*. 2010; 73:2-5.
13. Stein KM, Grunberg K. *Forensic radiology*. *Radiologe*. 2009;49: 73-84, quiz 85.
14. Franklin D. Forensic age estimation in human skeletal remains: Current concepts and future directions. *Leg Med (Tokyo)*. 2010;12:1-7.
15. Moore SA, Moore M, Klentrou P, Sullivan P, Falk B. Maturity status in male child and adolescent athletes. *J Sports Med Phys Fitness*. 2010;50:486-93.
16. Malina RM, Eisenmann JC, Cumming SP, Ribeiro B, Aroso J. Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years. *Eur J Appl Physiol*. 2004;91:555-62.
17. Vandendriessche JB, Vaeyens R, Vandorpe B, Lenoir M, Lefevre J, Philippaerts RM. Biological maturation, morphology, fitness, and motor coordination as part of a selection strategy in the search for international youth soccer players (age 15-16 years). *J Sports Sci*. 2012;30:1695-703.
18. Soares H, Fragoso I, Massaça L, Barrigas C. Impacto de la maduración y de los puestos específicos en la condición física en jóvenes futbolistas. *Apunts Med Esport*. 2012;47:73-81.
19. Malina RM, Pena Reyes ME, Figueiredo AJ, Coelho E, Silva MJ, Horta L, et al. Skeletal age in youth soccer players: Implication for age verification. *Clin J Sport Med*. 2010;20:469-74.
20. Gilsanz V, Ratib O. *Hand bone age: A digital atlas of skeletal maturity*. Berlin: Springer; 2005.
21. Roche AF, Chumlea W, Thissen D. *Assessing the Skeletal Maturity of the Hand-Wrist: Fels Method*. Springfield, IL: Charles C. Thomas; 1988.
22. Tanner JM, Healy MJR, Goldstein H, Cameron N. *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW3 Method)*. 3a ed. London: WB Saunders; 2001.
23. Tanner JM, Whitehouse RH, Cameron N, Marshall WA, Healy MJR, Goldstein H. *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW2 Method)*. 2a ed. New York: Academic Press; 1981.
24. Malina RM, Chamorro M, Serratos L, Morate F. TW3 and Fels skeletal ages in elite youth soccer players. *Ann Hum Biol*. 2007;34:265-72.
25. Van Lenthe FJ, Kemper HC, van Mechelen W. Skeletal maturation in adolescence: A comparison between the Tanner-Whitehouse II and the Fels method. *Eur J Pediatr*. 1998;157:798-801.
26. George J, Nagendran J, Azmi K. Comparison study of growth plate fusion using MRI versus plain radiographs as used in age determination for exclusion of overaged football players. *Br J Sports Med*. 2012;46:273-8.