



Evaluación de la maduración ósea mediante mediciones métricas automatizadas

R. Cañete Estrada y A. Suanes Cabello

Unidad de Endocrinología Pediátrica. Hospital Universitario Reina Sofía. Facultad de Medicina. Córdoba.

(*An Esp Pediatr* 2000; 52: 123-131)

Objetivos

La precisión y rapidez de los procedimientos informáticos facilita la valoración de la maduración ósea por mediciones en las imágenes óseas.

En este trabajo hemos analizado la adecuación de algunas de estas medidas para la valoración del crecimiento o la maduración ósea.

Material y métodos

Se estudian 200 radiografías de mano y muñeca izquierdas de niños y niñas de edades comprendidas entre 2 y 18 años por un procedimiento automatizado de análisis de imagen (IMAGO-2) determinando parámetros indicadores de crecimiento o maduración. Los niños fueron examinados semestralmente (18 a 36 meses) obteniéndose varios datos auxológicos (peso, talla, maduración ósea, método TW2, etc.).

Se estudia (por análisis de correlación lineal y regresión múltiple) la relación entre los parámetros automatizados indicadores de maduración o crecimiento y los datos auxológicos.

Resultados

Todos los parámetros se correlacionan con la edad cronológica. El parámetro área presenta los mayores coeficientes de correlación respecto al peso y a la velocidad de crecimiento. El perímetro presenta la mejor correlación con la talla y la maduración ósea (TW2). Las variaciones en algunas de las mediciones de la separación de la forma circular se relacionan con los cambios en los datos auxológicos.

Conclusiones

Es difícil catalogar categóricamente a una medida como indicador exclusivo de maduración o de crecimiento. Los parámetros estudiados se correlacionan mejor con la maduración ósea (TW2) que con otros datos auxológicos (peso o talla), lo que podría indicar su utilidad para la valoración de la maduración ósea.

Palabras clave:

Edad ósea. Maduración esquelética. Medidas métricas automatizadas.

BONE MATURITY EVALUATION BY AUTOMATED METRIC MEASUREMENTS

Objectives

Precision and rapidity of computerised procedures facilitate bone maturity evaluation by measuring bone images.

In this paper we analysed the adequacy of several of these measures to evaluate growth or bone maturity.

Material and methods

To determine growth or maturity indicating parameters, two hundred X-rays of the left hands and wrists of 2 to 18 years old children were examined by an automated image analysis procedure (IMAGO-2). Children were examined every six months (18 to 36 months) obtaining several auxological data (weight, height, bone maturity, TW2 methods, etc.).

The relationship between the automated indicating parameters of maturity or growth and the auxological data were studied (linear correlation and multiple regression).

Results

All parameters correlate with the chronological age. The area parameter presents the highest coefficient of correlation with weight and Speed of Growth. The perimeter presents the best correlation with Height and bone maturity (TW2). Variations in some separation measurements from the circular ones relate well with auxological data changes.

Conclusions

It is difficult to categorically catalogue one measurement as the only and exclusive indicator of maturity or growth. The studied parameters correlate best with bone maturity (TW2) when compared with those of the auxological data (weight, height) which could indicate their usefulness to evaluate bone maturity.

Correspondencia: Dr. R. Cañete Estrada. Departamento de Pediatría. Hospital Universitario Reina Sofía. Avda. Menéndez Pidal, s/n. 14004 Córdoba.

Recibido en julio de 1999.

Aceptado para su publicación en noviembre de 1999.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la maduración esquelética proporciona uno de los indicadores más útiles para la valoración del desarrollo corporal en la infancia.

El desarrollo esquelético suele subdividirse en dos componentes¹⁻³: el crecimiento y la maduración. Se consideran dos procesos diferentes aunque tengan lugar simultáneamente. Sin embargo, cuando se establecen unidades de medida surgen dudas acerca de su catalogación de uno u otro de los componentes del desarrollo óseo. Idealmente, deberían emplearse parámetros específicos para cada uno de estos fenómenos.

Recientemente se han realizado varias revisiones de los métodos de valoración de la maduración ósea^{3,4}.

Casi con el inicio de la valoración de la maduración ósea en radiografías surgió la búsqueda de una o varias mediciones lineales de las imágenes óseas que sirvieran de patrón en la evaluación. Estas mediciones (métodos métricos) se han utilizado de forma simple (radios, diámetros, etc.)⁵ o como base de formulaciones para cálculos más complejos, generalmente relacionados con el área de la sombra ósea radiográfica¹.

Clásicamente, las mediciones en las imágenes radiográficas se han realizado de manera manual, lo que le ha atribuido el carácter de metodología lenta y con poca fiabilidad^{3,6}.

La aplicación de métodos informáticos ha solventado parcialmente los inconvenientes de los métodos métricos dependientes de la técnica de medición. Sin embargo, estos sistemas son citados porque se ven influidos por el tamaño óseo, independiente de los caracteres madurativos^{7,8}. Con intención de evitarlo se han presentado métodos con mediciones más complejas, con objeto de informar sólo de aspectos madurativos¹.

El objetivo de este trabajo es comprobar la fiabilidad de algunos parámetros métricos para la valoración del crecimiento (tamaño) y/o maduración óseos (cambios de forma), mediante un sistema semiautomático de análisis de imagen, y establecer su correlación con algunas variables auxológicas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha estudiado la maduración ósea en 200 radiografías de mano y muñeca izquierdas (132 de niñas y 68 de niños) obtenidas de 45 niños (30 mujeres y 15 varones) con edades comprendidas entre los 2 y los 18 años.

A estos niños se les ha realizado una valoración del crecimiento semestral (con un margen de ± 15 días) durante un período de 18 a 36 meses.

Se determinaron los parámetros peso (kg), talla (cm) y velocidad de crecimiento (cm/año).

Son niños que habían acudido para el estudio de su hipocrecimiento a la Unidad de Endocrinología Pediátrica y Crecimiento. En ellos no se había objetivado ninguna afección endocrinológica, ni de otros aparatos o sistemas.

Para la evaluación de la maduración ósea empleamos radiografías de mano y muñeca izquierdas obtenidas siguiendo la técnica radiográfica de Tanner et al⁹. La imagen radiográfica se ha comparado con la proporcionada por el atlas de valoración de la maduración ósea (método TW2)⁹. Tres variables muestran las tres puntuaciones del método TW2: TW2-CARPO, TW2-RUS y TW2-20 huesos. Para su determinación se ha suministrado el estadio estimado visualmente en el atlas a un Pocket computer PC-1360 Sharp. El ordenador realiza la suma de las puntuaciones de los estadios y facilita los *scores* TW2-20 huesos, RUS y CARPO.

Para la valoración automatizada de la maduración ósea en las imágenes radiográficas se ha recurrido al programa denominado IMAGO-2 de la Universidad de Córdoba. Este *software*, diseñado para el análisis automatizado de imágenes, permite la obtención de diversas mediciones y relaciones planimétricas.

Para el análisis de la imagen inicialmente se sitúa la placa radiográfica en un negatoscopio, es captada por la cámara de vídeo y transferida a una de las pantallas del equipo informático. El programa permite fijar la imagen captada, procediéndose posteriormente al digitalizado del contorno de cada uno de los 20 huesos incluidos en el referido método TW2.

El programa incluye un control para evitar errores en el digitalizado, de manera que son rechazados aquellos en los que el contorno del hueso no esté completamente cerrado, o bien exista una superposición de líneas al contornear.

Una vez digitalizado el contorno óseo el resto del proceso es completamente automatizado.

Una parte del programa ha permitido determinar diferentes características geométricas de las figuras en estudio, entre ellas el área, el perímetro y las coordenadas del centro de gravedad.

Partiendo del conocimiento del centro de gravedad se han calculado varios parámetros métricos (expresados en milímetros) que informan sobre el tamaño (crecimiento) del hueso¹, como son los siguientes:

1. Radio medio. Valor medio del cómputo de distancias entre el centro de gravedad y la periferia.
2. Radio máximo y mínimo. Distancias máxima y mínima entre el centro de gravedad y el contorno.
3. Diámetro. Se identifica como el diámetro del círculo de igual área que el hueso problema.

Así mismo, se han determinado varias relaciones entre datos métricos, que al medir la separación de la forma circular valorarían la maduración ósea:

1. Desviación superior de radios (%) (DSR)¹. Se designa así una relación indicativa del porcentaje de creci-

miento por encima del radio medio y que se resume en la expresión matemática:

$$DSR = \frac{\text{radio máximo} - \text{radio medio}}{\text{radio medio}} \times 100$$

2. Factor de áreas óseo (FAH)¹. Viene dado por el cálculo de la relación entre el área situada periféricamente a la del círculo de radio mínimo (A_{RM}) inscrito en la figura y el área total del hueso (A), expresada en porcentaje. Se calcula con la fórmula:

$$FAH = \frac{A - A_{RM}}{A} \times 100$$

3. Índice de separación de la forma circular (ISC). La relación perímetro/área es menor en el círculo que en cualquier otra forma geométrica. Cuanto mayor sea el valor de la relación referida en una figura geométrica, más se alejará la figura de la forma circular. Apoyándose en esto se ha descrito¹ un índice de separación de la forma circular. Se obtiene calculando la razón entre el perímetro y el área del hueso problema, y restándole el cociente 2/radio medio del círculo inscrito en dicho hueso y, por último, se multiplica por 100. Así se consigue un valor porcentual de la separación de la forma circular del contorno óseo estudiado. La formulación matemática de este índice es la siguiente:

$$ISC (\%) = \left(\frac{\text{Perímetro}}{\text{Área}} - \frac{2}{R \text{ medio}} \right) \times 100$$

Basándose en consideraciones similares se han descrito¹⁰ varias formulaciones para valoración de la separación de la forma circular, de las cuales hemos utilizado las siguientes:

1. Factor de forma circular:

$$FACT-FORM = \frac{4\pi \text{ ÁREA}}{\text{Perímetro}^2}$$

2.

$$PERI-ÁREA = \frac{\text{Perímetro}^2}{\text{Área}}$$

3.

$$REC-ÁREA = \frac{\text{Área rectángulo mínimo inscrito hueso}}{\text{Área total del hueso}}$$

4. Relación entre ANCHO/ALTO (AN-ALTO) del rectángulo mínimo que inscribe al hueso.

Los cambios madurativos se manifiestan por los indicadores de madurez. En gran medida, estos indicadores se relacionan con accidentes o formaciones óseas que se reflejan en el análisis de la imagen radiográfica como variaciones en el nivel de gris del contorno o interior óseo. Para intentar valorar este fenómeno hemos empleado un parámetro: relación de áreas (REL-ÁREAS). Su cálculo deriva de la relación entre el área superior e inferior al nivel medio de gris de la figura.

Se ha examinado la relación entre las variables auxológicas (incluida la maduración ósea por TW2 manual) y los parámetros computarizados de maduración y/o crecimiento óseo. Para ello se han calculado el coeficiente de correlación lineal simple de Pearson (r), el coeficiente de correlación parcial (excluyendo la edad cronológica) y el coeficiente de determinación.

Se ha efectuado un análisis de regresión múltiple para valorar la relación entre la variación de las datos au-

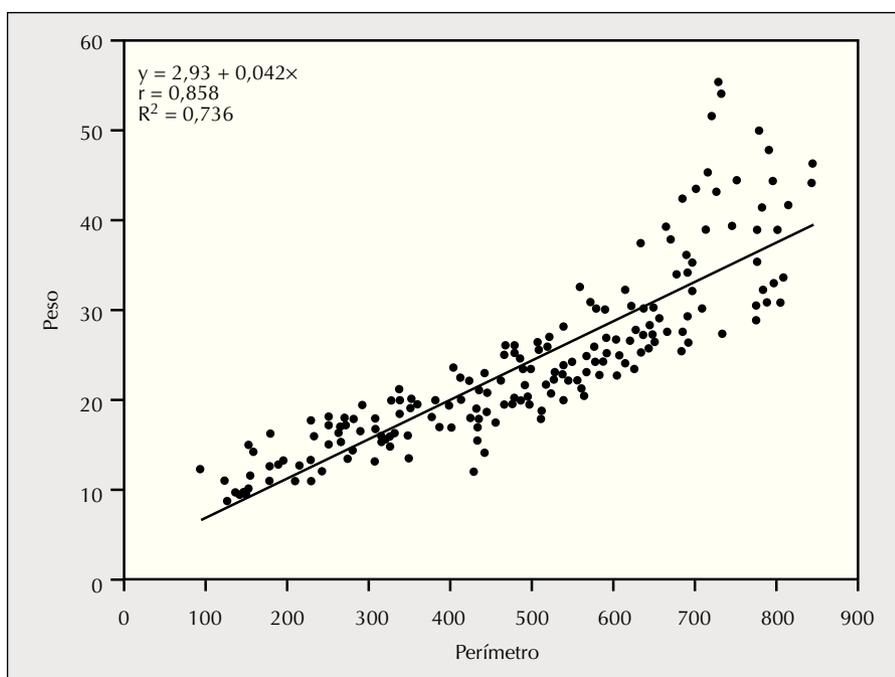


Figura 1. Correlación y regresión lineal simple entre las variables peso/perímetro.

TABLA 1. Coeficientes de correlación lineal simple entre los datos auxológicos y los parámetros automatizados de valoración de crecimiento y/o maduración ósea

	Edad decimal	Peso	Talla	VC	TW2-20	TW2-RUS	TW2-CARPO
Edad decimal		0,909**	0,965**	0,098	0,938**	0,924**	0,918**
Área ósea	0,896**	0,864**	0,921**	0,272*	0,944**	0,924**	0,927**
Perímetro	0,915**	0,858**	0,936**	0,241*	0,962**	0,940**	0,952**
Radio medio	0,906**	0,844**	0,928**	0,244*	0,957**	0,934**	0,948**
Radio máximo	0,911**	0,849**	0,931**	0,237*	0,957**	0,936**	0,946**
Radio mínimo	0,865**	0,786*	0,891**	0,224*	0,913**	0,888**	0,914**
Desviación superior radios	0,654*	0,552*	0,656*	0,032	0,667*	0,651*	0,671*
Diámetro óseo	0,907**	0,844**	0,930**	0,240*	0,956**	0,933**	0,949**
Factor áreas	0,112	0,078	0,094	-0,062	0,033	0,057	-0,007
IND.SEP. FOR.CIR.	-0,520*	-0,507*	-0,531*	-0,172	-0,499*	-0,487*	-0,501*
FACT-FORM	0,411*	0,272*	0,423*	-0,023	0,463*	0,436*	0,503*
PERI-ÁREA	0,819*	0,718*	0,830*	0,127	0,861**	0,840**	0,860**
REC-ÁREA	0,812*	0,733*	0,823**	0,149	0,855**	0,827**	0,859**
AN-ALTO	0,342*	0,262*	0,346*	-0,079	0,318*	0,320*	0,325*
REL-ÁREA	0,219*	0,162	0,219*	-0,098	0,153	0,171	0,134

*Coeficiente de correlación lineal simple (r) significativo; **coeficiente de determinación (R²) significativo. FACT-FORM: factor de forma circular; PERI-ÁREA: perímetro²/área; REC-ÁREA: área rectángulo mínimo inscrito hueso/área total del hueso; AN-ALTO: ancho/alto; REL-ÁREA: relación de áreas.

xológicos (incluida la maduración ósea por TW2 manual) y la de los parámetros informatizados de maduración y/o crecimiento óseo, ajustando por el tiempo transcurrido entre las mediciones, inicial y final, y la edad cronológica correspondiente a la primera radiografía.

En las pruebas de significación se han considerado los resultados estadísticamente significativos cuando se obtuvieron valores de p iguales o inferiores a 0,05 (α = 0,05).

RESULTADOS

Con excepción del denominado factor de áreas óseo (FAH) todos los parámetros métricos presentan una correlación significativa con la edad cronológica (tabla 1) (fig. 1).

El parámetro ÁREA (tabla 1) tiene los mayores coeficientes al correlacionarlo con el PESO, siendo los menores para el factor de áreas óseo (FAH) y la relación de áreas (REL-ÁREA).

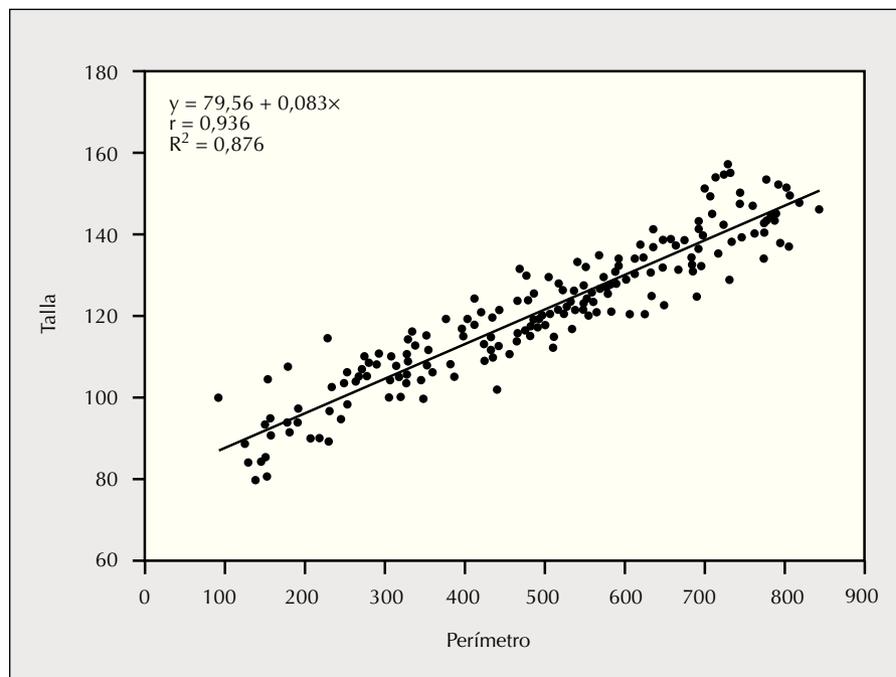


Figura 2. Correlación y regresión lineal simple entre las variables talla/perímetro.

La mejor correlación con la talla ha sido para el perímetro (tabla 1 y fig. 2). Entre las mediciones de la separación de la forma circular destaca la correlación con REC-ÁREA y la ausencia para el factor de áreas óseo (FAH).

El mayor coeficiente de correlación con la velocidad de crecimiento (VC) es para el área (tabla 1).

En el estudio de la correlación con las puntuaciones del método TW2 (TW2-20 huesos, TW2-RUS, TW2-CARPO) alcanzan los mejores coeficientes de correlación parcial los mismos parámetros aunque los resultados del TW2-CARPO presentan ligeras divergencias (tabla 2). Los mejores resultados son para el perímetro y, entre los evaluadores de la separación de la forma circular, para los denominados PERI-ÁREA y REC-ÁREA (tabla 2).

El análisis de regresión múltiple sólo ha indicado una relación significativa con los cambios en los datos auxológicos para las variaciones de los parámetros informatizados PERI-ÁREA, REC-ÁREA y FACT-FORM. Las modifi-

caciones en los dos primeros se relacionan con las de la talla (tabla 3), edad ósea TW2-20 huesos (tabla 4), TW2-RUS (tabla 5) y TW2-CARPO (tabla 6), en tanto que el parámetro FACT-FORM únicamente se relaciona con la edad ósea TW2-CARPO.

DISCUSIÓN

Diversos métodos métricos de valoración de la maduración ósea, automatizados o no, se sirven de medidas (diámetros o distancias interóseas) generalmente catalogadas como de crecimiento^{5,9,11}. Por otro lado, hay otros métodos métricos¹ que evalúan la maduración integrando las mediciones en formulaciones matemáticas que pretenden registrar los cambios morfológicos. Estos se consideran como sinónimos de las modificaciones madurativas.

Los parámetros indicadores de maduración analizados en este estudio, con excepción de REL-ÁREA, parten de la catalogación como fenómenos madurativos de las va-

TABLA 2. Coeficientes de correlación parcial (eliminando la influencia de la edad) entre los datos auxológicos y los parámetros automatizados de valoración de crecimiento y/o maduración

	Peso	Talla	VC	TW2-20	TW2-RUS	TW2-CARPO
Área	0,268*	0,484*	0,417*	0,673*	0,566*	0,593*
Perímetro	0,156	0,501*	0,377*	0,742*	0,613*	0,700*
Radio medio	0,116	0,484*	0,368*	0,730*	0,598*	0,693*
Radio máximo	0,122	0,480*	0,360*	0,717*	0,598*	0,671*
Radio mínimo	-0,001	0,428*	0,279*	0,584*	0,462*	0,603*
DSR	-0,135	0,125	-0,043	0,204*	0,161	0,235*
Diámetro	0,111	0,496*	0,361*	0,721*	0,590*	0,697*
FAH	-0,057	-0,054	-0,074	-0,209*	-0,122	-0,279*
ISC	-0,096	-0,130	-0,142	-0,038	-0,020	-0,070
FACT-FORM	-0,267*	0,110	-0,070	0,245*	0,161	0,348*
PERI-ÁREA	-0,111	0,264*	0,082	0,466*	0,379*	0,475*
REC-ÁREA	-0,021	0,258*	0,120	0,461*	0,344*	0,491*
AN-ALTO	-0,125	0,065	-0,120	-0,009	0,011	0,030
REL-ÁREA	-0,091	0,030	-0,123	-0,155	-0,084	-0,173

*Coeficiente de correlación parcial con significación estadística; DSR: desviación superior de radios; FAH: factor de áreas óseo; ISC: índice de separación de la forma circular; FACT-FORM: factor de forma circular; PERI-ÁREA: perímetro²/área; REC-ÁREA: área rectángulo mínimo inscrito hueso/área total del hueso; AN-ALTO: ancho/alto; REL-ÁREA: relación de áreas.

TABLA 3. Análisis de regresión múltiple entre las variables: EC/TALLA/PERI-ÁREA y EC/TALLA/REC-ÁREA

Término	PERI-ÁREA				REC-ÁREA			
	INDEP	Tiempo	EC	PERI-ÁREA	INDEP	Tiempo	EC	REC-ÁREA
COEF	-3,85	4,502	0,508	0,058	-3,37	4,420	0,472	0,781
EE	4,628	0,562	0,405	0,023	4,447	0,564	0,389	0,299
CES		0,765	0,133	0,263		0,751	0,123	0,272
t	-0,83	8,008	1,255	2,448	-0,75	7,831	1,211	2,608
P	0,410	64 ⁻¹¹	0,216	0,018	0,451	11 ⁻¹¹	0,232	0,012
Tamaño			45				45	
R			0,853				0,856	
R ²			0,729				0,733	

INDEP: independiente; EC: edad cronológica; COEF: coeficiente; EE: error estándar; CES: coeficiente estándar; PERI-ÁREA: relación perímetro/área; REC-ÁREA: relación área rectángulo mínimo/área total del hueso.

TABLA 4. Análisis de regresión múltiple entre las variables: EC/TW2-20/PERI-ÁREA y EC/TW2-20/REC-ÁREA

Término	INDEP	PERI-ÁREA			PERI-ÁREA	INDEP	REC-ÁREA		
		Tiempo	EC				Tiempo	EC	REC-ÁREA
COEF	-1,27	0,834	0,141	0,013	-1,18	0,813	0,135	0,182	
EE	0,893	0,108	0,078	0,004	0,851	0,108	0,074	0,057	
CES		0,749	-0,196	0,319		0,730	-0,18	0,336	
t	-1,42	7,692	1,812	2,914	-1,39	7,529	1,809	3,182	
P	0,160	17 ⁻¹⁰	0,077	0,005	0,170	29 ⁻¹⁰	0,077	0,002	
Tamaño			45				45		
R			0,847				0,853		
R ²			0,718				0,727		

INDEP: independiente; EC: edad cronológica; COEF: coeficiente; EE: error estándar; CES: coeficiente estándar; PERI-ÁREA: relación perímetro/área; REC-ÁREA: relación área rectángulo mínimo/área total del hueso.

TABLA 5. Análisis de regresión múltiple entre las variables: EC/TW2-RUS/PERI-ÁREA y EC/TW2-RUS/REC-ÁREA

Término	INDEP	PERI-ÁREA			PERI-ÁREA	INDEP	REC-ÁREA		
		Tiempo	EC				Tiempo	EC	REC-ÁREA
COEF	-1,36	0,842	0,155	0,013	-1,18	0,829	0,141	0,175	
EE	1,077	0,130	0,094	55 ⁻⁴	1,043	0,132	0,091	0,070	
CES		0,709	-0,202	0,308		0,697	-0,18	0,303	
t	-1,26	6,439	1,652	2,490	-1,13	6,257	1,545	2,494	
P	0,213	10 ⁻⁸	0,106	0,016	0,262	18 ⁻⁸	0,129	0,016	
Tamaño			45				45		
R			0,800				0,800		
R ²			0,640				0,640		

INDEP: independiente; EC: edad cronológica; COEF: coeficiente; EE: error estándar; CES: coeficiente estándar; PERI-ÁREA: relación perímetro/área; REC-ÁREA: relación área rectángulo mínimo/área total del hueso.

TABLA 6. Análisis de regresión múltiple entre las variables: EC/TW2-CARPO/PERI-ÁREA, EC/TW2-CARPO/REC-ÁREA y EC/TW2-CARPO/FACTOR DE FORMA CIRCULAR

Término	INDEP	PERI-ÁREA			P-AR	REC-ÁREA			P-AR	FACT-FORM		
		Tiempo	EC			Tiempo	EC			Tiempo	EC	FFC
COEF	-0,43	0,665	0,080	0,015	-0,28	0,646	0,068	0,197	-0,51	0,817	0,090	0,340
EE	0,990	0,120	0,086	51 ⁻⁴	0,952	0,120	0,083	64 ⁻³	1,103	0,121	0,097	0,145
CES		0,615	0,114	0,371		0,598	0,097	0,376		0,756	0,128	0,293
t	-0,44	5,528	0,928	2,965	-0,29	5,345	0,816	3,083	-0,46	6,729	0,922	2,347
P	0,661	20 ⁻⁷	0,358	50 ⁻⁴	0,767	36 ⁻⁷	0,418	36 ⁻⁴	0,644	39 ⁻⁹	0,361	0,023
Tamaño			45				45				45	
R			0,795				0,798				0,778	
R ²			0,632				0,637				0,606	

INDEP: independiente; EC: edad cronológica; COEF: coeficiente; EE: error estándar; CES: coeficiente estándar; P-AR: relación perímetro/área; FFC: factor de forma circular.

riaciones que suponen una separación de la forma circular en la imagen ósea.

A pesar de los inconvenientes de evaluar la maduración ósea en función de la edad, al ser la maduración un proceso limitado en el tiempo sigue interesando el estudio de la interrelación entre ambos¹². Esta relación ha sido estudiada en ciertos métodos métricos^{1,5}.

La correlación entre la maduración ósea expresada como “edad ósea” y la edad cronológica varía según el método de valoración de la maduración, y se han referido correlaciones bajas¹³. Nosotros hemos obtenido unos coeficientes de correlación altos entre la edad cronológica y la edad ósea por el método TW2 (tabla 1).

La influencia de la edad cronológica en la interrelación entre los datos auxológicos y los parámetros automatizados de valoración de crecimiento y/o maduración se manifiesta en nuestros resultados por las diferencias entre los coeficientes de correlación lineal simple y parcial (eliminando el factor edad) (tablas 1 y 2).

Se ha observado¹ una correlación positiva y altamente significativa entre la edad gestacional (con niños entre 38 y 41 semanas) y parámetros indicativos de tamaño o crecimiento (área, perímetro o radio medio). No obstante, esta correlación no se comprobó para ciertos indicadores diseñados para valorar los cambios morfológicos (sinónimo de maduración), por lo cual se concluye que la edad gestacional influye en la cronología de aparición y en el tamaño de los núcleos, pero no en la maduración.

En el estudio de la correlación entre la edad cronológica y los parámetros indicadores de crecimiento y/o maduración hemos obtenido unos resultados similares a los ya mencionados¹. Si consideramos el coeficiente de determinación (R^2), existen correlaciones de significación sólo con los parámetros teóricamente indicadores de crecimiento (tabla 1). Entre éstos, los valores más elevados son para el perímetro y el radio máximo (tabla 1). No obstante, exceptuando el parámetro FAH, los evaluadores de los cambios morfológicos tienen coeficientes de correlación lineal simple significativos, siendo los mejores resultados para PERI-ÁREA y REC-ÁREA (tabla 1).

La relación entre el peso y la maduración ósea ha sido estudiada en numerosos trabajos; generalmente éstos se han ocupado de la etapa de recién nacido^{1,11,14-16}, si bien también hay aportaciones dirigidas a otros períodos del desarrollo del niño^{5,17,18}.

Atendiendo únicamente al coeficiente de correlación lineal simple (tabla 1), hemos comprobado una correlación significativa con todos los parámetros automatizados de maduración y/o crecimiento, con la excepción de los denominados FAH y REL-ÁREA. No obstante, al excluir la influencia de la edad (coeficiente de correlación parcial) las correlaciones raramente alcanzan la significación (tabla 2).

Las diferencias en los coeficientes según se considere o no la edad parecen apreciar una clara influencia de la misma en la correlación entre el peso y los parámetros indicadores de crecimiento y/o maduración. La correlación entre el peso y los parámetros de crecimiento, que para valores pequeños es buena, posteriormente disminuye progresivamente, como puede observarse en la dispersión de las nubes de puntos de la figura 1. Probablemente esto puede deberse a la merma paulatina en la contribución del crecimiento a la ganancia de peso conforme se agota el potencial de éste^{17,18}.

La relación entre maduración y peso se ha utilizado para diseñar métodos de valoración de maduración ósea en recién nacidos. Erasmie et al¹¹ describen un método

con unos *scores* de madurez estandarizados en función del peso corporal y de las medidas de la longitud y altura del astrágalo y calcáneo en la radiografía. Otros autores¹⁴ señalan como inconvenientes de este método que otorga una preponderancia a los parámetros de tamaño óseo frente a los morfológicos y el posible error en los niños con sobrepeso. Sin embargo, estos mismos autores¹⁴, al describir un método para recién nacidos, encuentran unos coeficientes altos de correlación múltiple con el peso y el perímetro craneal. Por ello, deciden establecer la ponderación de cada núcleo proporcionalmente a los coeficientes de regresión obtenidos entre la maduración ósea y un factor dependiente del peso y el perímetro craneal.

No obstante, otros autores¹ no objetivan correlación entre los parámetros evaluadores de la maduración y el peso. En cuanto a la falta de correlación del parámetro FAH, estos resultados coinciden con los nuestros, aunque sí observamos una correlación significativa para otros indicadores de maduración como REC-ÁREA, PERI-ÁREA y FACT-FORM (tablas 1 y 2). A pesar de ello, en el análisis de regresión múltiple se comprueba que las variaciones en el peso no se relacionan con ningún parámetro automatizado de maduración y/o crecimiento.

Los resultados comentados nos hacen pensar que se debe ser cauto si se pretende valorar la maduración ósea y predecir la talla apoyándose en su relación con el peso, ya que la misma, probablemente, sólo sea útil en determinados períodos del desarrollo. Se ha comprobado, además, la falta de contribución del peso al aumento de la significación en ecuaciones de predicción de talla en niñas a partir de los 9 años¹⁹. La inclusión del peso origina problemas en relación con la dieta en la adolescencia y la extrapolación de los resultados entre poblaciones⁹.

La disparidad de criterios para la relación entre la maduración ósea y la longitud o talla es mayor en el período neonatal. Se ha descrito¹ una buena correlación de la longitud en recién nacidos con los indicadores de tamaño (área), pero no con los de maduración (FAH). Estos resultados, en lo referente a los parámetros de crecimiento y al FAH, son equiparables a los obtenidos por nosotros en un grupo de edad más amplio. No obstante, hemos obtenido correlaciones significativas con algunos parámetros indicadores de maduración como REC-ÁREA y PERI-ÁREA (tablas 1 y 2). Así mismo, las variaciones de estos dos parámetros se relacionan significativamente con las de la talla en el análisis de regresión múltiple (tabla 3).

Se ha comunicado una menor variabilidad en la edad ósea que en la cronológica respecto del "pico" de velocidad de crecimiento del período puberal²⁰. Además, otros autores²¹ han comprobado una correlación positiva de algunos estadios de maduración ósea con este fenómeno, o con el punto de inflexión de talla en el que se origina, aunque hay opiniones diversas²².

Aunque no hemos examinado específicamente la relación entre los parámetros automatizados y el “pico” de velocidad de crecimiento puberal, sí estudiamos la correlación de éstos con la velocidad de crecimiento. No hemos obtenido correlación alguna con los parámetros indicadores de maduración, y unos coeficientes muy bajos para los de crecimiento (tablas 1 y 2). Tampoco el análisis de regresión múltiple indica que exista una relación significativa entre las variaciones de los parámetros automatizados y las de la velocidad de crecimiento.

El parámetro FAH se ha calificado como específico para valorar la maduración por su falta de correlación con el área del hueso (criterio de crecimiento)¹. No hemos encontrado una correlación del mismo con los datos auxológicos de crecimiento (peso, talla o velocidad de crecimiento), y sólo una escasa correlación negativa con la edad ósea. Resultados casi idénticos se observan para el parámetro REL-ÁREA descrito en nuestro trabajo. Esto podría señalar la idoneidad de ambos parámetros para valorar la maduración. Aunque con un criterio más riguroso estos datos sólo confirmarían la independencia de los fenómenos de crecimiento, deberán realizarse otros estudios que corroboren la relación de estos parámetros con hitos específicamente madurativos.

El parámetro REL-ÁREA presentará la ventaja sobre los evaluadores del alejamiento de la forma circular de valorar no sólo los cambios en el contorno de la imagen ósea, sino también el global de ésta. Sin embargo, los intentos de valorar las imágenes óseas por el estudio de las densidades ópticas o densitometría siguen con inconvenientes técnicos que dificultan su estandarización.

De nuestros resultados, al existir una alta correlación entre la edad ósea por el método TW2 y los indicadores de crecimiento, parece desprenderse una utilidad de los últimos para valorar la maduración ósea y los identificados *a priori* como parámetros evaluadores de madurez no serían adecuados para valorar la maduración ósea por su escasa correlación con la determinación de la misma por el método TW2.

Sin embargo, en el análisis de regresión múltiple comprobamos que las variaciones de los parámetros PERI-ÁREA y REC-ÁREA se relacionan significativamente con las variaciones de la talla (tabla 3) y la edad ósea por cualquier *score* TW2 (tablas 4-6). Así mismo, las modificaciones del parámetro FACT-FORM se relacionan con las del *score* TW2-CARPO (tabla 6). Del mismo se podría deducir que las variaciones experimentadas en un intervalo de tiempo por algunos de los parámetros de maduración permitirían predecir las de la edad ósea (TW2). Por tanto, si se considera a la edad ósea (TW2) como un referente de la maduración ósea, los parámetros citados podrían aplicarse en la evaluación de la maduración esquelética.

No obstante, catalogar el método TW2 como un procedimiento de valoración exclusiva de la maduración no

se admite unánimemente. Algunos autores²³, al digitalizar el atlas TW2 (estadios del radio, cúbito y carpo), encuentran una correlación alta entre el área y el perímetro de cada figura y la puntuación correspondiente de Tanner. Por ello, aunque el objetivo fundamental de su método es obtener una curva representativa de la forma del hueso (indicador de maduración), independiente del factor tamaño, sugieren la posible utilidad del área y el perímetro para el estudio evolutivo de los estadios más precoces. También se ha observado¹ al analizar, partiendo del centro de gravedad, las diferentes etapas de un mismo hueso en el atlas TW2, un paralelismo entre las líneas, lo que se interpreta como signo de aumento de tamaño, pero no de maduración. Estos mismos autores al determinar parámetros de crecimiento (área) y maduración (FAH) en dos estadios sucesivos del método TW2 obtienen un aumento del primero sin que lo haga el FAH. La diferencia entre las dos etapas correlativas radicaría no en la maduración, sino en el tamaño (crecimiento). En su opinión el método TW2 mezcla criterios de tamaño y maduración. A una conclusión semejante puede llegarse analizando la correlación alta encontrada entre el denominado índice metacarpofalángico⁵ y los estadios del método TW2.

Nuestros resultados parecen apoyar algunos anteriores^{1,16,23} al obtenerse una correlación mejor de los *scores* TW2 con los parámetros de crecimiento que con los de maduración.

BIBLIOGRAFÍA

1. Casanova Bellido M, Fernández García JR. Aportación de un nuevo método para la valoración de la maduración ósea. Premio Prof. J. González-Meneses Jiménez sobre Nutrición Infantil. Sociedad de Pediatría de Andalucía Occidental y Extremadura. Monografía Nestlé, 1988; 5-51.
2. Sarriá A, Moreno L, Bueno M. Métodos de valoración de la maduración ósea. Rev Esp Pediatr 1985; 41: 91-98.
3. Pavía C. La maduración ósea: métodos de estudio. En: Herrera E, Pavía C, Yturriaga R editores. Actualizaciones en Endocrinología-2. Crecimiento (I). Madrid: Díaz de Santos, 1995; 39-76.
4. Suanes Cabello A, Cañete Estrada R. Métodos de valoración de la maduración ósea. Endocrinología 1998; 45: 71-79.
5. Ebrí Torné B. Biometric method for the ossification evaluation of children from birth up to the ages of two and four-applied to the tarsus. Acta Paediatr 1993; 88: 872.
6. Sauvegrain J, Nahum H, Carle F. La maturation osseuse intérêt de la détermination de l'age osseux méthodes d'évaluation (Revue Générale). Ann Radiol 1962; 5: 535-541.
7. Graham CB. Assessment of bone maturation-methods and pitfalls. Radiol Clin North Am 1972; 10: 185-202.
8. Suanes Cabello A, Cañete Estrada R. Sistema automatizado de evaluación de la maduración ósea aplicado al método Tanner-Whitehouse-2. An Esp Pediatr 1999; 50: 134-139.
9. Tanner JM, Whitehouse RH, Cameron N, Marshall WA, Healy MRL, Goldstein H. Valoración de la maduración esquelética y predicción de la talla adulta (método TW2) (2.ª ed.). Barcelona: Ancora, 1988.

10. Castleman KR. Digital image processing. Nueva Jersey: Prentice-Hall, 1979.
11. Erasmie V, Ringertz H. A method for assessment of skeletal maturity in children below one year of age. *Pediatr Radiol* 1980; 9: 225-228.
12. Lapieza MG, Nuviala RJ, Pavía C, Giner A. Skeletal maturity: correlation with chronological age and sexual characters in gymnats. Madrid: Proceedings of VIth International Congress of Auxology, 15-19 de septiembre de 1991.
13. Roche AF, Eyman SL, Davila GH. Skeletal age prediction. *J Pediatr* 1971; 78: 997-1003.
14. Sánchez E, Hernández M, Sobradillo B, Rincón JM, Narvaiza J. Un nuevo método de valoración de la maduración ósea en los dos primeros años de vida. *Rev Esp Pediatr* 1985; 41: 99-110.
15. Hernández M, Sánchez E, Sobradillo B, Rincón JM, Narvaiza JL. A new method for assessment of skeletal maturity in the first 2 years of life. *Pediatr Radiol* 1988; 18: 484-489.
16. Argemí J, Badía J. A new computerised method for the assessment of skeletal maturity in the newborn infant. *Pediatr Radiol* 1997; 27: 309-314.
17. So LL Y. Correlation of skeletal maturation with stature and body weight of southern chinese girls in Hong Kong. *Z Morph Anthropol* 1991; 78: 307-312.
18. Cole TJ. Weight/height^p compared to weight/height² for assessing adiposity in childhood: influence of age and bone age on p during puberty. *Ann Hum Biol* 1986; 13: 433-451.
19. Onat T. Multifactorial prediction of adult height of girls during early adolescence allowing for genetic potential, skeletal and sexual maturity. *Hum Biol* 1983; 55: 443-461.
20. Hauspie R, Bielicki T, Koniarek J. Skeletal maturity at onset of the adolescent growth spurt and at peak velocity for growth in height: threshold effect? *Ann Hum Biol* 1991; 18: 23-29.
21. Häg U, Taranger J. Skeletal stages of the hand and wrist as indicators of the pubertal growth spurt. *Acta Odontol Scand* 1980; 38: 187-200.
22. Marshall WA. Interrelación de la maduración ósea, el desarrollo sexual y el crecimiento somático en el hombre. *Med Clin (Barc)* 1975; 64: 56-60.
23. Argemí J, López Cuevas I. Nuevo método para el estudio de la maduración ósea por ordenador. *An Esp Pediatr* 1987; 27: 85-88.