



Original

## Fiabilidad y reproducibilidad de un nuevo método de análisis morfotextural de imágenes ecográficas del tendón rotuliano

 José Ríos-Díaz<sup>a,\*</sup>, Ana de Groot Ferrando<sup>b</sup>, Jacinto J. Martínez-Payá<sup>a</sup> y Mária Elena del Baño Aledo<sup>a</sup>
<sup>a</sup> Grupo de Investigación «Ecografía y Morfo-densitometría Preventiva», Departamento Ciencias de la Salud, Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM), Murcia, España

<sup>b</sup> Khronos Fisioterapia, Elche, Alicante, España

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 18 de octubre de 2009

Aceptado el 17 de enero de 2010

#### Palabras clave:

Ecografía

Fiabilidad

Tendón rotuliano

Análisis textural

Procesamiento de imagen asistido por ordenador

### RESUMEN

**Objetivos:** La aplicación de ecografía cuantitativa sobre el tejido tendinoso puede resultar de utilidad pero es necesario conocer la fiabilidad tanto del proceso de la toma ecográfica como de la selección de las regiones para el análisis. Los objetivos del trabajo fueron calcular la fiabilidad y reproducibilidad del método de análisis morfotextural intra-ecografía e interecografía del tendón rotuliano.

**Material y métodos:** Estudio de concordancia del tipo test-retest sobre 120 ecografías transversales del tendón rotuliano a 1 cm del pico de la rótula, con un ecógrafo Sonosite Titan y sonda L-38 (5–10 MHz) y el software de análisis Image J v1.40. Se calcularon variables morfométricas: perímetro, área, anchura, grosor y ecogenicidad media; y texturales: uniformidad, homogeneidad y entropía. Se calculó el coeficiente de correlación intraclase (CCI) junto con las representaciones gráficas de Bland con un IC del 95%.

**Resultados:** Se encontraron coeficientes de correlación intraclase con valores superiores a 0,70, con fuerza de la concordancia entre buena y muy buena en todas las variables y tanto en el estudio intraecografía como en el estudio interecografía.

**Conclusión:** La fiabilidad del método fue buena por lo que la variabilidad introducida por los exploradores no es significativa y el método es potencialmente válido para el estudio y cuantificación ecográfica del tejido tendinoso.

© 2009 Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

## Reliability and reproducibility of a morpho-textural image analysis method over a patellar ligament ultrasonography

### ABSTRACT

**Objective:** Image analysis techniques over ultrasonograms may be useful to extract quantitative information. Because ecography and the selection of the area of interest are technician-dependent, the objective of this work was to calculate the reliability and the reproducibility of the analysis method.

**Material and methods:** Test-retest reliability study on 60 cross-sectional patellar ligament ultrasonograms on 1 cm of patella were carried out. Sonosite Titan L-38 (5–10 MHz) and the Image analysis software J v1.40 were used. Morphometric variables were: perimeter, area, width, thickness, and mean echogenicity; textural variables were: uniformity, homogeneity and entropy. The intraclass correlation coefficient (ICC) was calculated with a confidence interval of 95%.

**Results:** Intraclass correlation coefficients over 0,70 were found, with an agreement ranging from good to very good in all of the variables both for the intra ecography and inter ecography studies.

**Conclusion:** Very good levels of reliability and internal consistency were seen, demonstrating that from the statistical point of view, the variability introduced by the technician is not significant. This method can be taken as a reference to analyze the reliability between several ultrasonographers.

© 2009 Elsevier España, S.L. All rights reserved.

#### Keywords:

Reliability

Ultrasonography

Patellar ligament

Textural analysis

Computer-assisted image processing

### Introducción

Se suele decir que la ecografía es una técnica inocua, rápida de realizar y barata, pero requiere de un adecuado conocimiento

anatómico por parte del explorador para identificar las estructuras que se están analizando en cada momento y que por tanto es técnico dependiente. La cuantificación de la información contenida en las imágenes ecográficas es uno de los aspectos cruciales en este campo puesto que, a priori, nos permitirá diferenciar estadios de normalidad y patológicos e incluso pre-patológicos. En el caso de la ecografía este interés es mayor puesto que, a pesar de su potencial utilidad, son pocos los trabajos que manipulan la

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jríos@pdi.ucam.edu (J. Ríos-Díaz).

imagen ecográfica para extraer información cuantitativa de la misma<sup>1</sup>. Hablaremos de ecografía cuantitativa cuando la información extraída de la imagen vaya más allá de la interpretación visual del patrón ecográfico y se analice dicho patrón con variables objetivas, cuantificables mediante análisis de imagen.

La imagen ecográfica en escala de grises se configura después de procesar los ecos resultantes de las distintas impedancias acústicas de los tejidos atravesados por el haz ultrasónico. En el caso del tendón se obtendrá un patrón ecográfico que es el reflejo de la estructura tendinosa en la que las regiones de tejido conjuntivo se mostrarán hiperecoicas y las regiones de matriz extracelular ofrecerán una señal hipoecoica<sup>2</sup>.

Por tanto, la imagen obtenida quedará representada por un conjunto de elementos discretos (píxeles) con una determinada intensidad de gris. Mediante el análisis de imagen avanzado de la ecografía pueden calcularse variables de tipo morfométrico tales como perímetros, áreas, anchuras, grosores o índices de circularidad y niveles de ecogenicidad medios<sup>3</sup> pero que en ningún caso nos permitirán cuantificar el «aspecto» o textura de la imagen y por tanto, tampoco revelarán cambios en los patrones ecogénicos a no ser que sean muy evidentes.

En este sentido, el análisis textural de imagen se ha mostrado útil para discriminar imágenes de diversa índole. Haralick et al<sup>4</sup> desarrollaron un algoritmo, *Grey Level Co-occurrence matrix (GLCM)*, que les permitió discriminar distintas texturas en imágenes de satélite. Posteriormente se ha aplicado en multitud de ámbitos y también sobre imágenes biomédicas. Distintos investigadores han conseguido mejoras en los diagnósticos mediante imagen ecográfica en tumores prostáticos<sup>5</sup>, en tumores del pulmón<sup>6</sup>, en tumores de endometrio<sup>7</sup>, o en patología hepática<sup>8,9</sup>.

Los análisis texturales mediante GLCM están basados en la comparación de los niveles de gris de parejas de píxeles. Se construye una matriz de probabilidades de concurrencia de dichos valores de gris a lo largo de toda la imagen. Se puede determinar la posición relativa entre las parejas de píxeles definiendo a qué distancia *d* se encuentran los píxeles entre sí y en qué dirección *θ* (fig. 1). De esta forma se dispondrá de una matriz que recogerá la información de la frecuencia con la que aparecen en la imagen determinados niveles de gris y su relación entre ellos. A partir de

la matriz resultante pueden calcularse una serie de variables—Haralick et al<sup>4</sup> describieron hasta 14—de las cuáles hemos seleccionado las 3 más útiles en nuestro ámbito:

1) *Angular Second Moment (ASM)* o uniformidad

$$\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{ij}^2 \tag{1}$$

Siendo *i* y *j* los respectivos niveles de gris de la pareja de píxeles que pueden tomar valores desde 0–255. *P* es la probabilidad con la que aparecen los niveles de gris de la pareja de píxeles a lo largo de la imagen (para una distancia y dirección dadas). El máximo valor (uno) se alcanzará en el caso de que todas las parejas de píxeles presentes en la imagen sean idénticas (independientemente del valor del nivel de gris de los componentes de la pareja), por lo que se puede decir que esta variable cuantifica numéricamente cómo de regular es una determinada imagen.

2) *Inverse Difference Moment* u homogeneidad

$$\sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{P_{ij}}{1+(i-j)^2} \tag{2}$$

Siendo *i* y *j* los respectivos niveles de gris de la pareja de píxeles que pueden tomar valores desde 0–255. *P* es la probabilidad con la que aparecen los niveles de gris de la pareja de píxeles a lo largo de la imagen (para una distancia y dirección dadas). Esta variable cuantifica el grado de homogeneidad que presenta la imagen pero de una forma completamente distinta a la uniformidad. En la ecuación (2) puede observarse que para el cálculo de la homogeneidad se tienen en cuenta las diferencias entre el nivel de gris de cada uno de los píxeles de la pareja; por lo que cuando en una imagen las diferencias en los niveles de gris de los píxeles son pequeñas, la uniformidad tenderá a ser mayor, mientras que si las diferencias en los píxeles son grandes, la uniformidad será menor.

3) Entropía

$$\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{ij}(-\ln P_{ij}) \tag{3}$$

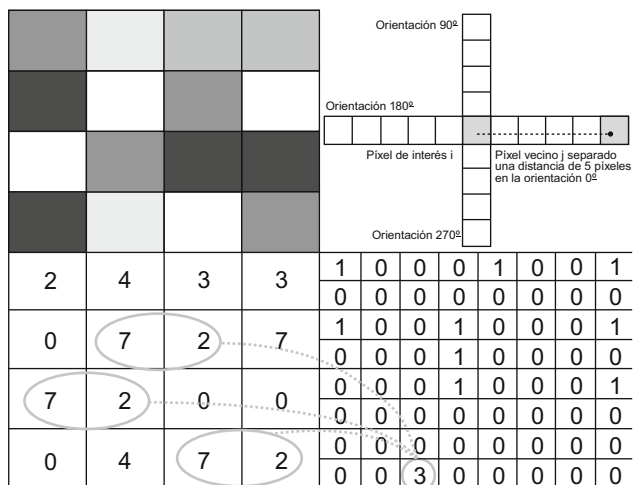
Siendo *i* y *j* los respectivos niveles de gris de la pareja de píxeles que pueden tomar valores desde 0–255. *P* es la probabilidad con la que aparecen los niveles de gris de la pareja de píxeles a lo largo de la imagen (para una distancia y dirección dadas). Puede interpretarse como el grado de desorden o caos (en el sentido físico del término) presente en la imagen. Tomará su máximo valor cuando todas las parejas de píxeles estén representadas en la imagen con la misma probabilidad, lo que de alguna forma significará el máximo desorden posible en la imagen.

Puesto que tanto la realización de la ecografía como el propio análisis de imagen son técnicodependientes, el objetivo de este trabajo fue evaluar la fiabilidad y reproducibilidad del método tanto intraecografía como interecografías.

**Material y métodos**

*Diseño:* Puesto que se trata de un estudio de fiabilidad el diseño del trabajo se corresponde con un estudio observacional analítico transversal<sup>10</sup>.

*Material:* Se utilizó un ecógrafo Sonosite Titan<sup>®</sup> con una sonda lineal L-38 con una frecuencia de trabajo de 5–10 mHz, adecuada para la realización de ecografía musculoesquelética. Las imágenes se almacenaron sin compresión alguna en formato mapa de bits



**Figura 1.** Construcción de la matriz de concurrencia del nivel de gris. En la parte superior izquierda se representan los píxeles de una imagen con un nivel de gris (imaginario) representado en la imagen inferior izquierda. Se computan las coincidencias para una pareja de píxeles dada (separados entre ellos por una distancia *d* y con un ángulo *θ*); el algoritmo cuenta cuántas veces se repiten los niveles de gris de la pareja de píxeles y construye la matriz de probabilidades de aparición de dicha pareja en la imagen. Es sobre esa matriz sobre la que se calculan las variables texturales (para los fundamentos teóricos véase Haralick et al, 1973)<sup>4</sup>.

(bmp) con un tamaño de  $640 \times 480$  píxeles ( $217 \times 163$  mm) a 8 bits con 256 niveles de gris posibles.

Para el análisis de imagen se utilizó el software Image J v.1.40<sup>11</sup> y sus correspondientes aplicaciones de análisis morfométrico y de análisis textural<sup>12</sup>.

Se dispuso también de una tableta de dibujo digital (tableta Wacom®, Wacom Co., Ltd. 2007, USA) para el trazado de las áreas de interés.

**Método:** Se seleccionaron 30 sujetos sanos (hombres con edades comprendidas entre 20–30 años) sin historia de patología tendinosa previa y tras el correspondiente consentimiento informado. En el proceso de selección de los sujetos no se tuvo en cuenta ningún criterio de inclusión o exclusión puesto que de lo que se trataba era de disponer de un número suficiente de ecografías sobre las que realizar mediciones sucesivas y compararas entre sí y en ningún caso extraer información relativa a los propios sujetos.

El trabajo se desarrolló en el primer semestre de 2009 en el Departamento de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica San Antonio de Murcia.

En un primer momento, se realizaron 60 ecografías transversales del tendón rotuliano a 1 cm de la inserción del vértice de la rótula: Treinta de ellas a una profundidad de 3,9 cm para obtener una imagen completa del tendón necesaria para el análisis morfométrico y otras 30 con una profundidad de 2,4 cm sobre las que realizamos el análisis textural. Cada ecografía se analizó 2 veces, con un intervalo temporal entre mediciones de 3–5 días,

con el objetivo de evaluar la fiabilidad del método de análisis de imagen morfo-textural (intraecografía).

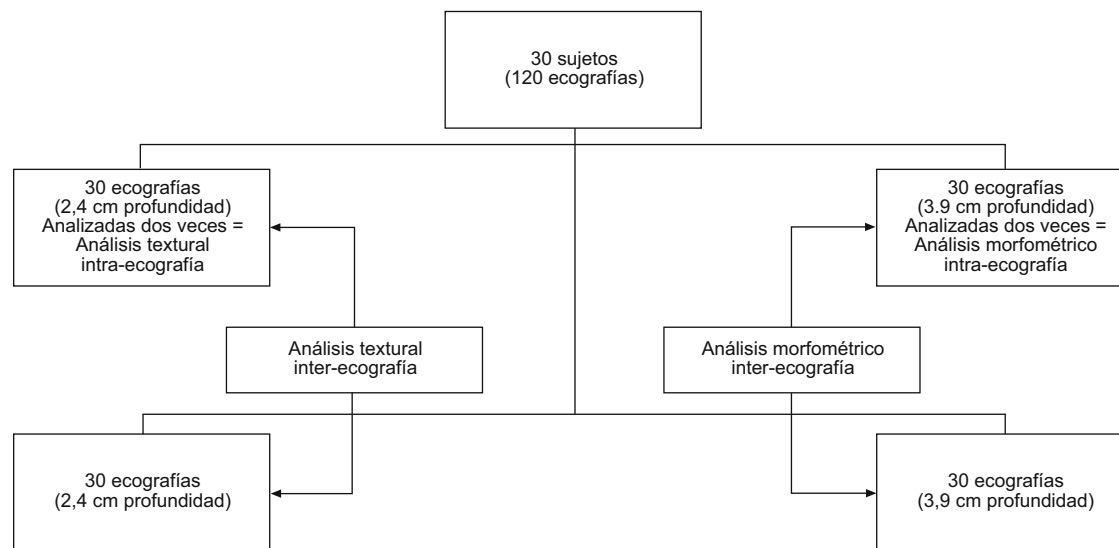
Una vez comprobada la fiabilidad y reproducibilidad del proceso de análisis de imagen se pasó a evaluar la fiabilidad del proceso de la toma de las ecografías. Para ello se obtuvieron otras 30 ecografías a 3,9 cm y 30 a 2,4 cm tomadas por el mismo ecografista y sobre los mismos sujetos, con la finalidad de evaluar la fiabilidad de la toma ecográfica (interecografía). Por tanto, se realizaron un total de 120 ecografías.

**Tabla 1**

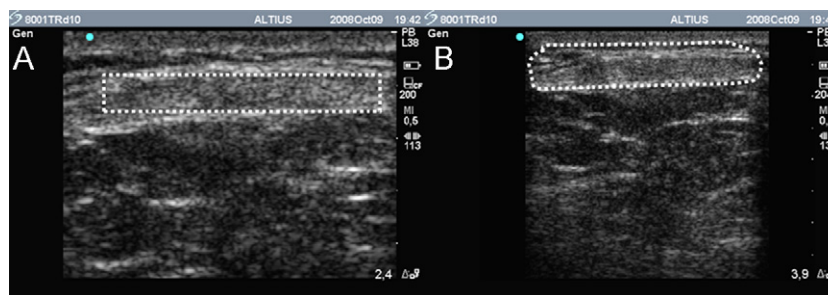
Fiabilidad y fuerza de la concordancia para las variables morfo-texturales en el análisis intra-ecografía

Variables	CCI	I.C 95%		Fuerza concordancia
	Promedio	Inferior	Superior	
Perímetro	0,87	0,67	0,95	Buena
Área	0,86	0,66	0,94	Buena
Anchura	0,73	0,36	0,89	Buena
Grosor	0,87	0,70	0,95	Buena
Ecogenicidad	0,88	0,72	0,95	Buena
Uniformidad	0,94	0,87	0,97	Muy buena
Homogeneidad	0,91	0,80	0,96	Muy buena
Entropía	0,96	0,91	0,98	Muy buena

CCI: coeficiente de correlación intraclass calculado mediante un modelo alfa de dos factores y efectos mixtos y acuerdo absoluto con un intervalo de confianza del 95%.



**Figura 2.** Flujograma de los análisis intra-ecografía e inter-ecografía.



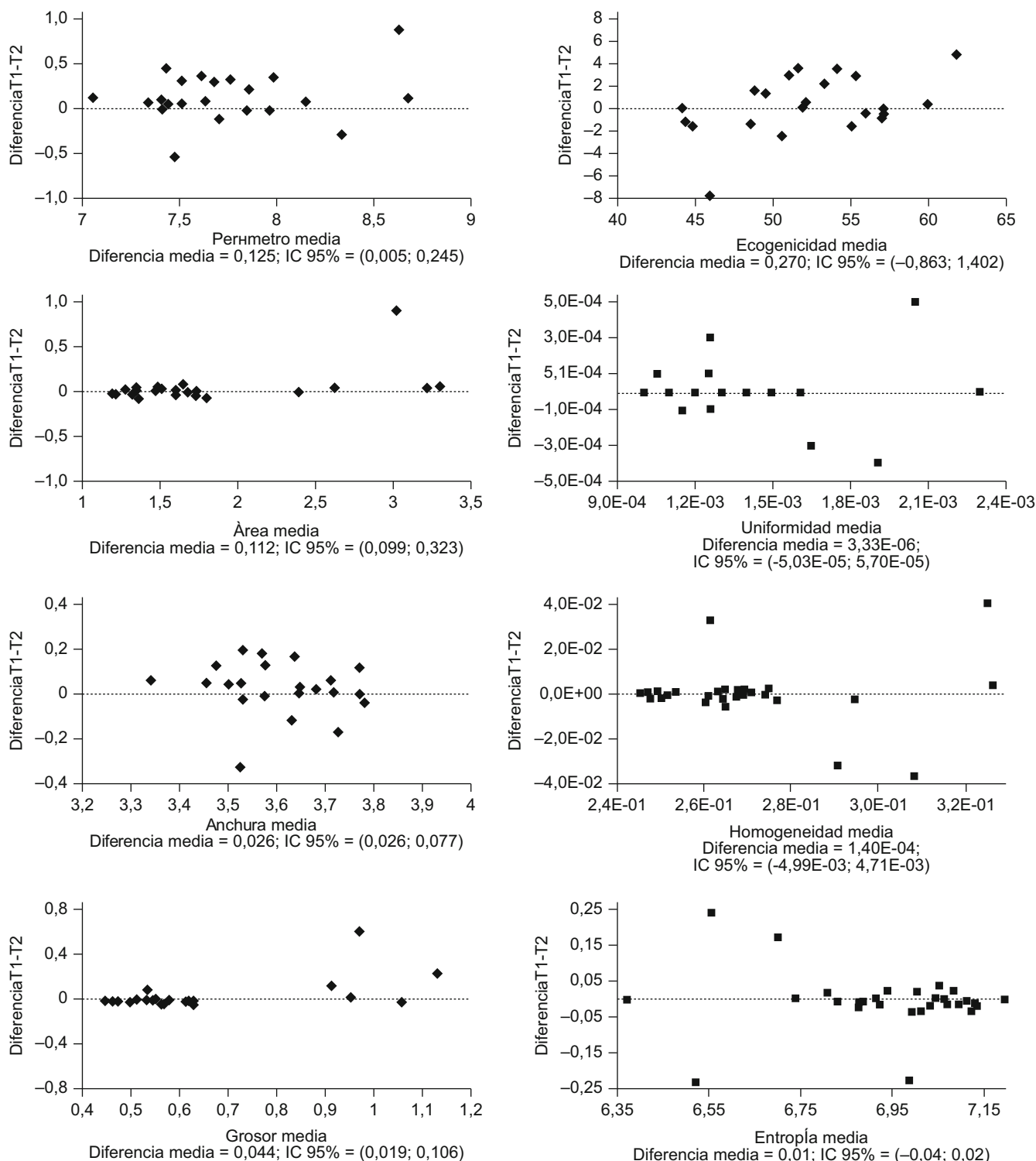
**Figura 3.** Determinación del perímetro y área de interés en un corte transversal del tendón rotuliano. A) Ecografía a profundidad 2,4 cm y área de interés para el análisis textural. B) Profundidad 3,9 cm y marcado del perímetro tendinoso.

En la figura 2 se muestra el flujograma del método seguido para la toma y distribución de las ecografías.

En todos los casos las ecografías se realizaron mediante un protocolo previamente fijado en el que se definieron los parámetros ecográficos (sin manipulación de las curvas de ganancia), la posición de la sonda (perpendicular y transversalmente al cuerpo del tendón), la cantidad de gel conductor

(mediante un dosificador) y la posición del sujeto (en decúbito supino con la rodilla flexionada 30°).

Las variables morfométricas tales como el perímetro del tendón, el área, la anchura, el grosor y la ecogenicidad (nivel medio de gris) se calcularon automáticamente a partir del perímetro tendinoso que debe ser contorneado de forma manual por el técnico de análisis de imagen (fig. 3).



**Figura 4.** Gráficos de Bland para las variables morfo-texturales en el análisis intra-ecografía. En eje de ordenadas se representan las diferencias entre la primera (T1) y la segunda medición (T2). En el eje de abscisas se representa el promedio de la primera y segunda medición. Los puntos representan a cada una de las ecografías de la muestra analizadas en dos momentos temporales diferentes. Cada gráfico se completa con el valor de la diferencia media y el intervalo de confianza de dicha diferencia.

Para el estudio textural, el técnico debe seleccionar un área de interés que el algoritmo analizará posteriormente. Se marcó un área rectangular (300 × 60px) de forma que se cubriera con la misma el centro del cuerpo del tendón (fig. 3). Las variables texturales fueron la uniformidad, homogeneidad y entropía.

**Análisis estadístico:** Se calculó el coeficiente de correlación intraclass (CCI) que nos permite obtener una medida del grado de consistencia o acuerdo entre las mediciones<sup>13-15</sup>. En concreto se calculó bajo un modelo alfa de 2 factores y efectos mixtos y buscando la concordancia absoluta en la que para determinar un acuerdo entre 2 variables no solo deben variar paralelamente sino que sus medias y varianzas deben ser iguales<sup>16,17</sup>.

Se calcularon los límites inferior y superior del CCI con intervalo de confianza del 95%. El CCI podrá oscilar entre el valor 0 en una situación de ausencia de concordancia entre mediciones y el valor 1 en una situación de concordancia perfecta. Además se usó una escala cualitativa habitual en este tipo de estudios en la que la concordancia se considerará muy buena (> 0,90), buena (0,80-0,90), moderada (0,60-0,80) y pobre (< 0,60)<sup>18,19</sup>.

Para completar el estudio se realizaron las representaciones gráficas para este tipo de análisis tal y como recomiendan Bland y Altman<sup>20</sup>. En este tipo de gráficos se representan las diferencias entre los pares de medidas (eje de ordenadas) y el promedio de las mismas; por tanto, cada promedio viene representado por un punto. Cuando la concordancia es alta, los valores tienden a agruparse en torno a la línea horizontal (que representa concordancia absoluta). El gráfico se completa con el valor medio para las diferencias y su intervalo de confianza.

El programa de análisis estadístico usado fue SPSS 15.0 (SPSS Inc. Chicago, IL, USA) y en todas las pruebas estadísticas se aplicó un intervalo de confianza del 95%.

## Resultados

En la tabla 1 se muestran los valores del CCI para las variable morfotexturales en el estudio intraecografía por lo que en este caso se está evaluando la fiabilidad del método de análisis de imagen. En una escala cualitativa<sup>19</sup> la fuerza de la concordancia resultó ser buena para las variables morfométricas (CCI superiores a 0,70) y muy buena para las texturales (valores del CCI superiores a 0,90).

La figura 4 muestra de una forma gráfica la concordancia entre mediciones a través de los correspondientes gráficos de Bland con diferencias medias siempre menores al menos 2 órdenes de magnitud respecto a la magnitud en la que se mide la variable, lo que nos indica que el error entre la primera medición (T1) y la

segunda medición (T2) es al menos 100 veces menor que el valor de la propia variable. Los intervalos de confianza para estas diferencias (que pueden observarse en la base de cada uno de los gráficos) también son reducidos lo que nos estará indicando la poca variabilidad que hay entre las diferencias en las sucesivas mediciones.

En el caso del análisis de la fiabilidad sobre ecografías tomadas en 2 momentos diferentes sobre los mismos sujetos, estaremos evaluando precisamente esa fase del método: la posible variabilidad entre diferentes tomas ecográficas. Los resultados se muestran en la tabla 2 y puede observarse que la fuerza de la concordancia es muy buena tanto para las variables morfométricas como las texturales, con la salvedad de la variable anchura del tendón y homogeneidad en las que fue moderada.

En la figura 5 se muestran las correspondientes representaciones gráficas en las que puede observarse, al igual que en el caso anterior, que la diferencias medias para cada una de las variables son como mínimo 2 órdenes de magnitud menores que la magnitud en la que se mide la variable y que la mayoría de los puntos del gráfico están alrededor de la recta que representa concordancia absoluta entre mediciones.

## Discusión

Aunque los valores promedio de los CCI fueron buenos o muy buenos, conviene tener en cuenta algunas consideraciones respecto de los mismos. En el estudio intraecografía se observaron unos límites inferiores del intervalo de confianza del CCI del perímetro de 0,67 (tabla 1). El resto de variables morfométricas derivadas del mismo (se calcularon automáticamente a partir del perímetro marcado por el técnico) mostraron unos límites inferiores de concordancia similares, excepto en la anchura que fue de 0,36. Los valores del límite inferior del intervalo de confianza del CCI fueron menores que los registrados en estudios sobre otros tendones más sencillos de delimitar e identificar como el tendón del Aquiles<sup>21,22</sup> y ello es posible que se deba a que no siempre está claro el borde inferior del tendón rotuliano; y por tanto, la identificación del mismo sea uno de los puntos del método más expuesto a la subjetividad y experiencia del técnico. Aún así, si se analizan los correspondientes gráficos de Bland (fig. 4), puede observarse que las diferencias medias entre mediciones y sus intervalos de confianza son del orden de 100 veces más pequeñas que las unidades de la propia variable y por tanto, se puede afirmar que la concordancia entre las mediciones es buena.

En el caso de los valores del CCI encontrados para las variables texturales intraecografía puede observarse (tabla 1) que los límites inferiores de las 3 variables (uniformidad, homogeneidad y entropía) son superiores a 0,80 con unos niveles de concordancia medios muy buenos (> 0,90). En la selección del área de interés el técnico tiene unas referencias más claras: el algoritmo solo analiza regiones rectangulares y el técnico se limita a situar el rectángulo (que siempre tiene las mismas dimensiones) sobre la zona central del tendón tomando como referencia el borde superior del mismo que siempre muestra una señal hiperecogénica fácil de localizar.

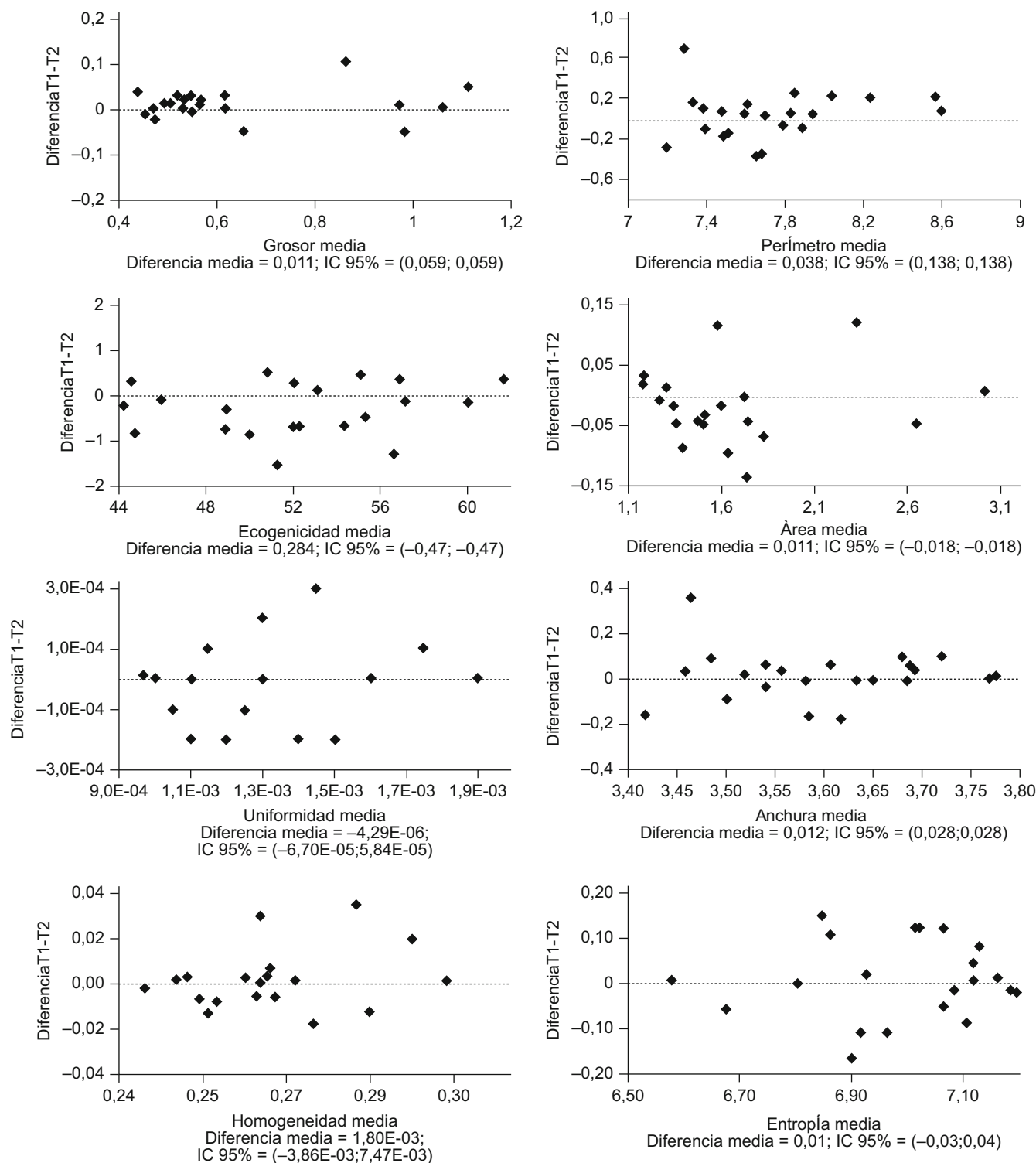
En el estudio de fiabilidad que hemos denominado interecografía y que nos ha servido para controlar la fiabilidad de la fase del método relacionada con la toma de la ecografía, tanto las variables morfométricas como las texturales mostraron unos CCI similares al estudio intraecografía (tabla 2). Es importante resaltar que esta fase del método puede ser decisiva en el «aspecto» final de la ecografía y por tanto deben extremarse las precauciones en cuanto a la posición del sujeto, del ecografista y las referencias anatómicas para colocar correctamente la sonda<sup>23</sup>.

**Tabla 2**

Fiabilidad y fuerza de la concordancia para las variables morfotexturales en el análisis interecografía

Variables	CCI	I.C 95%		Fuerza concordancia
		Promedio	Inferior	
Perímetro	0,91	0,78	0,96	Muy buena
Área	1,00	0,99	1,00	Muy buena
Anchura	0,70	0,27	0,88	Buena
Grosor	0,99	0,98	1,00	Muy buena
Ecogenicidad	1,00	0,99	1,00	Muy buena
Uniformidad	0,91	0,79	0,97	Muy buena
Homogeneidad	0,86	0,65	0,94	Buena
Entropía	0,94	0,84	0,97	Muy buena

CCI: coeficiente de correlación intraclass calculado mediante un modelo alfa de dos factores y efectos mixtos y acuerdo absoluto con un intervalo de confianza del 95%.



**Figura 5.** Gráficos de Bland para las variables morfo-texturales en el análisis inter-ecografía. En eje de ordenadas se representan las diferencias entre la primera (T1) y la segunda medición (T2). En el eje de abscisas se representa el promedio de la primera y segunda medición. Los puntos representan a cada una de las ecografías de la muestra analizadas en dos momentos temporales diferentes. Cada gráfico se completa con el valor de la diferencia media y el intervalo de confianza de dicha diferencia.

En la fase de análisis de imagen se han llevado a cabo diferentes intentos por automatizar el contorno del perímetro mediante la implementación de contornos activos o *snakes* que, a partir de un iniciador marcado por el técnico, son capaces de localizar los límites de la estructura de interés. Bastida<sup>24</sup> y Morales et al<sup>25</sup> realizaron sendos estudios con este tipo de algoritmos sobre ecografías transversales del tendón de Aquiles

con resultados prometedores pero insuficientes por el momento por las limitaciones de la propia imagen ecográfica. Por tanto, también son necesarios los estudios de fiabilidad en el caso de que se vayan a manipular las imágenes para extraer de las mismas información cuantitativa.

Mediante el análisis morfotextural de imagen ecográfica tendinosa se han conseguido discriminar tendones de sujetos

sedentarios y deportistas<sup>26</sup>, y se han cuantificado cambios en los patrones ecográficos de sujetos sometidos a entrenamiento<sup>27</sup> y en jugadores de voleibol profesionales a lo largo de la temporada<sup>28</sup> por lo que potencialmente podrían utilizarse para la detección y cuantificación de patrones ecográficos compatibles con patología, incluso antes de la aparición de sintomatología.

A la vista de los resultados obtenidos en este estudio se puede afirmar que el método usado posee una buena fiabilidad y reproducibilidad. En este sentido, resultará de interés extender el estudio con el objetivo de conocer la fiabilidad interobservadores e incluso entre distintos equipos ecográficos con lo que podría aumentar la fortaleza del método<sup>29,30</sup>.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

### Bibliografía

- Martínez-Payá JJ, Ríos-Díaz J, Palomino MA, Martínez LM, Calvo MC, Tenas MJ, et al. Análisis cuantitativo de la ecogenicidad del sistema musculoesquelético. En: Esparza F, Fernández T, Martínez JL, Guillén P, editores. Prevención de las lesiones deportivas. Murcia: Quaderna Editorial; 2006. p. 245-7.
- Schmidt G. Ecografía. De la imagen al diagnóstico. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2008.
- Martínez-Payá JJ, Ríos-Díaz J, Martínez F, Martínez-Almagro A. Procesos degenerativos asintomáticos del tendón largo del bíceps braquial. Análisis ecogénico como medida de prevención. En: Bielsa R, Rivero A, Molina JJ, Manzano A, editores. Actividad física y deporte en la sociedad del siglo XXI. Madrid: Gymnos Editorial Deportiva; 2005. p. 1039-47.
- Haralick RM, Shanmugam K, Dinstein I. Textural features for image classification. IEEE Trans Syst Man Cybern. 1973;SMC-3:610-21.
- Sheppard MA, Shih L. Efficient image texture analysis and classification for prostate ultrasound diagnosis. IEEE. 2005;8:7-8.
- Bader W, Bohmer S, van Leeuwen P, Hackmann J, Westhof G, Hatzmann W. Does texture analysis improve breast ultrasound precision? Ultrasound Obstet Gynecol. 2000;15:311-6.
- Michail G, Karahaliou A, Skiadopoulos S, Kalogeropoulou C, Terzis G, Boniatis I, et al. Texture analysis of perimenopausal and post-menopausal endometrial tissue in grayscale transvaginal ultrasonography. Br J Radiol. 2007;80:609-16.
- Cao GT, Shi P, Hu B. Liver fibrosis identification based on ultrasound images. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2005;6:6317-20.
- Nishiura T, Watanabe H, Ito M, Matsuoka Y, Yano K, Daikoku M, et al. Ultrasound evaluation of the fibrosis stage in chronic liver disease by the simultaneous use of low and high frequency probes. Br J Radiol. 2005;78:189-97.
- Argimón JM, Jiménez J. Métodos de investigación clínica y epidemiológica. Madrid: Elsevier; 2006.
- Rasband WS. Image J [homepage on the Internet] Bethesda, Maryland, USA: US National Institutes of Health. [consultado 29/4/2009]. Disponible en: <http://rsbweb.nih.gov/ij/>.
- Cabrera JA. Texture analyzer plugin for Image J [homepage on the Internet] [consultado 29/4/2009]. Disponible en: <http://rsbweb.nih.gov/ij/plugins/texture.html>.
- Latour J, Abreira V, Cabello JB, López J. Las mediciones clínicas en cardiología: Validez y errores de medición. Rev Esp Cardiol. 1997;50:117-28.
- Prieto L, Lamarca R, Casado A. La evaluación de la fiabilidad en las observaciones clínicas: El coeficiente de correlación intraclass. Med Clin (Barc). 1998;110:142-5.
- Lomas R. Reproducibilidad de una medida. ¿Cómo analizar los datos? Cuest Fisioter. 2008;37:131-2.
- McGraw KO, Wong SP. Forming inferences about some intraclass correlation coefficients. Psychol Methods. 1996;1:30-46.
- Pardo A, Ruiz MA. Análisis estadístico de datos con SPSS 13 base. Madrid: McGraw Hill; 2005.
- Trop I, Stolberg HO, Nahmias C. Estimates of diagnostic accuracy efficacy: How well can this test perform the classification task? Can Assoc Radiol J. 2003;54:80-6.
- Pita S, Pértegas S. La fiabilidad de las mediciones clínicas: El análisis de concordancia para las variables numéricas. Atención Primaria en la Red. 2004. 11 páginas. Disponible en: [http://www.fisterra.com/mbe/investiga/conc\\_numero2.pdf](http://www.fisterra.com/mbe/investiga/conc_numero2.pdf).
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet. 1986;1:307-10.
- Del-Baño-Aledo ME, Martínez-Payá JJ, Ríos-Díaz J, Palomino M. Aplicación en fisioterapia de la valoración cuantitativa de las características morfoecogénicas del tendón de Aquiles. Fisioterapia. 2008;30:61-8.
- Ríos-Díaz J, Martínez-Payá JJ, de-Groot-Ferrando A, del-Baño-Aledo ME. Fiabilidad y validez interna del método de análisis textural y morfométrico de imágenes ecográficas tendinosas. Rev Fisioter (Guadalupe). 2009;8.
- Martínez-Payá JJ, Ríos-Díaz J, Martínez LM, Montaña JA, Peña O. Bases físicas y morfológicas para la interpretación de la imagen ecográfica musculoesquelética. En: Martínez-Payá JJ, editor. Anatomía ecográfica del hombro. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2008. p. 3-38.
- Bastida MC. Automatization of morphologic and echogenic measures of human locomotor apparatus structures by means of ultrasonographic images processing [dissertation]. Cartagena, Murcia: Superior Technical School of Telecommunication Engineering, Polytechnic University of Cartagena; 2008.
- Morales J, Verdú R, Larrey J, Sancho JL, Bastida MC. Morphological and echogenic measurements of structures of locomotor system by means of echographic images processing. In: Las TIC y la gestión del conocimiento en el desarrollo de la Salud: Proceedings of the VII Congreso Internacional de Informática en Salud; 2009 Feb 9-13; La Habana, Cuba. [Cited 2009 Jul 17]; [7 pages]. Disponible en: <http://informatica2009.sld.cu/Members/jmorales/medidas-morfologicas-y-ecogenicas-de-estructuras-del-aparato-locomotor-mediante-procesado-de-imagenes-ecograficas/>.
- Ríos-Díaz J, Martínez-Payá JJ, de-Groot-Ferrando A, del-Baño-Aledo ME. Nuevo método de análisis textural mediante matrices de co-ocurrencia del nivel de gris sobre imagen ecográfica del tendón de Aquiles: diferencias entre deportistas y sedentarios. Cuest Fisioter. 2009;38:68-79.
- Ríos-Díaz J, Martínez-Payá JJ, del-Baño-Aledo ME. El análisis textural mediante las matrices de co-ocurrencia (GLCM) sobre imagen ecográfica del tendón rotuliano se muestra útil para detectar cambios histológicos tras un entrenamiento con plataforma de vibración. Cult cienc deporte. 2009;4:91-102.
- de-Groot-Ferrando A, Ríos-Díaz J, Martínez-Payá JJ, del-Baño-Aledo ME. Comportamiento morfo-ecogénico y textural del tendón rotuliano frente a estímulos de estrés. Libro de Actas. XI Jornadas Nacionales y I Congreso Internacional de Fisioterapia de la Actividad Física y el Deporte. Madrid, 22-24 octubre 2009. Madrid: Asociación Española de Fisioterapeutas; 2009. p. 201-202.
- Bourantas CV, Plissiti ME, Fotiadis DI, Protopoulos VC, Mpozios GV, Katsouras CS, et al. In vivo validation of a novel semi-automated method for border detection in intravascular ultrasound images. Br J Radiol. 2005;78:122-9.
- Lujan ME, Chizen DR, Peppin AK, Krieger S, Leswick DA, Bloski TG, et al. Improving inter-observer variability in the evaluation of ultrasonographic features of polycystic ovaries. Reprod Biol Endocrinol. 2008;6:30-40.