

# La formetría aplicada a las deformidades de la columna

J. A. DE PEDRO<sup>1</sup>, J. DOMINGUEZ<sup>1</sup>, J. BLANCO<sup>1</sup>, F. PEREZ OCHAGAVIA<sup>1</sup>,  
F. SANCHEZ YA. GONZALEZ ORUS<sup>1</sup>

1. Servicio de Traumatología, Hospital Universitario de Salamanca  
2. Departamento de Anatomía, Hospital Universitario de Salamanca

## Resumen

La forma de la espalda es un factor importante en la evaluación clínica de varias afecciones de la columna, en particular de la escoliosis. Se describe un método de análisis de la forma de la superficie de la espalda que fue ideado para conocer la mayoría de los parámetros necesarios para evaluar el progreso de la enfermedad en tanto afecte a la forma del cuerpo. La medición de la forma de la superficie de la espalda y de las marcas anatómicas manuales se analizan a través de un sistema de ordenador monitor en el que se escanea el plano de luz incidente sobre la espalda y desde topografía moiré. Las marcas anatómicas se llevan a cabo para definir los planos de referencia desde los cuales se comparan sucesivos análisis. Este método se emplea para estimar los ángulos de las vértebras límites y los ángulos de Cobb. Las secciones laterales muestran la cifosis y lordosis. Para los resultados se han llevado a cabo correlaciones de la asimetría lateral de la forma de la superficie con el ángulo de Cobb medido mediante radiografía. Las mediciones se llevaron a cabo en tres grupos de pacientes (47 pacientes en total). El rango osciló entre  $r=0.66$  a  $r=0.88$ , para una  $p<0.001$ . El análisis de los resultados podría reducir en un futuro los exámenes con rayos X en el evolutivo, por lo evidenciado cuantitativamente y con inocuidad total tanto en la asimetría lateral como en la deformidad en el plano transversal.

**Palabras clave:** Escoliosis. Forma de la superficie de la espalda. Formetría.

## Summary

The shape of the back is an important factor in the clinical assessment of various spinal disorders, in particular scoliosis. A method of analysis of back surface shape is described which was designed to present most of the numerical parameters needed to assess the progress of the disease as it affects body shape. Measurement of back surface shape and manually marked anatomical landmarks were taken from a television/computer surface measurement system in which a plane of light was scanned over the back and from moiré topographs. The anatomical landmarks were used to define reference planes from which successive analyses were matched. This model was used to estimate vertebral end-plate angles and Cobb angles. Lateral sections showed kyphosis and lordosis. Correlation of lateral asymmetry from the surface shape analysis with Cobb angle from X-ray measurement in three groups of patients (totalling 47 subjects) were in the range  $r=0.66$  to  $r=0.88$ ,  $p<0.001$ . The analysis could reduce follow-up X-ray examinations because it indicates quantitatively and with complete safety both lateral asymmetry and deformity in the transverse plane.

**Keywords:** Scoliosis. Back surface shape. Formetry.

## Correspondencia:

Jose A De Pedro Moro  
Departamento de Cirugía-Traumatología  
Facultad de Medicina  
Avda Alfonso X El Sabio  
37007-Salamanca, Spain  
Tel: 923 29 44 00 (Ext 1965)  
Fax: 923 29 45 58  
E-Mail: jpedrom@gugu.usal.es

## Introducción

A pesar de la gran variedad de escoliosis, en la clínica humana el método de evaluación más utilizado es la medición del ángulo de Cobb. A partir de una radiografía estándar ántero-posterior se pueden obtener datos tales como la desviación lateral, la inclinación lateral y la rotación axial de la vértebra respecto a su posición normal.

La deformidad de la columna se acompaña de una deformación característica de la espalda. Esto es de gran relevancia clínica debido a los efectos estéticos así como por permitir una información complementaria a la hora de medir el esqueleto. Así pues, el examen de una escoliosis requiere una medición tridimensional de la columna y de la superficie de la espalda.

La importancia de la rotación vertebral en la etiología y el tratamiento de la escoliosis es bien conocida. Varios métodos están siendo usados para medir la rotación vertebral empleando radiografías. El método más común para medir la rotación vertebral está basado en la proyección de los pedículos en la radiografía ántero-posterior<sup>1</sup>.

La reconstrucción tridimensional de la columna es el método más preciso de medir la escoliosis. Esto es posible mediante imágenes de resonancia magnética pero a un precio poco razonable. Otra posibilidad es la medición mediante técnicas ópticas de la superficie de la espalda. Sus beneficios son: Medición de gran número de puntos, gran precisión y sistemas de medida sencillos. Otras técnicas como las imágenes por ultrasonidos, medición táctil, goniometría, etc., generalmente proveen un número limitado de datos no suficientes para la reconstrucción tridimensional<sup>2</sup>.

Todas las técnicas ópticas se basan en general en el principio de triangulación espacial (tanto para la medida como la reconstrucción 3-D). Se distinguen dos conceptos: 1.- La triangulación pasiva que es en general usada en la fotogrametría topográfica, donde el objeto es observado desde dos ángulos. Su uso en bioestereometría fue descrito en primer lugar por Herron en 1972<sup>3</sup>. En la triangulación activa, se emplea luz estructurada para iluminar y tras escanear se analiza la textura del objeto. El registro de la imagen se hace desde un ángulo diferente.

En los últimos tiempos, las técnicas basadas en la triangulación activa han llevado a cabo grandes progresos debido a la introducción de la medición automatizada y los sistemas de evaluación. Entre estas técnicas especiales están: -La topografía

Moiré, -La proyección lineal, -Proyección de puntos, -Reconstrucción 3-D y -Análisis de superficie. La reconstrucción tridimensional del esqueleto se puede llevar a cabo a su vez mediante: -CT y RNM, -Radiografía biplanar y -Radiografía en un solo plano<sup>4-6</sup>.

## Material y métodos

### Descripción del equipo

El sistema formetric® (Jenoptik Jena) tiene como misión la determinación de la geometría de la columna vertebral en humanos con el principio de la medición sin contacto de la superficie de la espalda del paciente. La medición de superficies está basada en principios fotogramétricos empleando triangulación activa. La adquisición de datos y su evaluación está controlada por un paquete informático VRSâ.

Los componentes principales del sistema Formetric son: Sistema óptico, ordenador, impresora, unidad de control, monitor, transformador aislado y luz auxiliar, Figura 1.

El paciente se coloca de frente a una pantalla a una distancia de 2 metros de la columna óptica (más exactamente del centro de la lente del proyector). Empleando el botón *up/down* de la unidad de control se centra hasta que el área relevante de la espalda del paciente se centra en el monitor, Figura 2.

### Parámetros anatómicos

Los parámetros anatómicos se calculan a partir de unas marcas designadas como sigue:

VP = Vértebra limitante superior (C7); SP = Punto sacro; DL = Depresión Sacra izquierda; DR = Depresión Sacra derecha y DM = Punto medio entre Depresiones

A continuación se obtienen los cálculos de los siguientes parámetros: Longitud del tronco (VP-DM o VP-SP); Distancia de las Depresiones (DL-DR); Disbalance del Tronco (VP-DM); Inclinación pélvica (DL-DR); Torsión pélvica (DL-DR); Error de ejes (VPDM/DLDR); Curvas vertebrales; Proyección frontal y Proyección lateral.

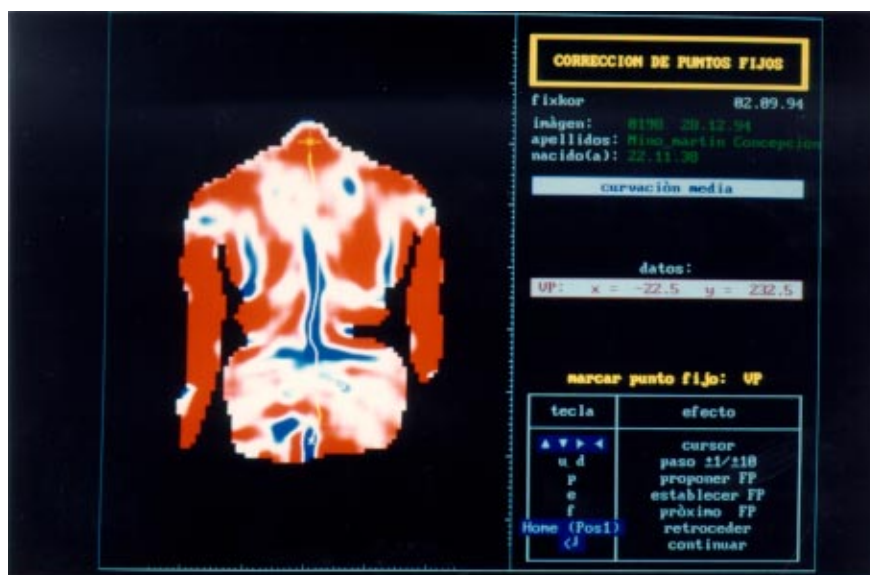
47 pacientes con escoliosis idiopática torácica y tóracolumbar y lumbar (ángulo de Cobb medio de 57.2°) han sido examinados mediante estéreoografía de superficie. Los datos fueron comparados con radiografía estándar.



**Figura 1.-** Equipo de formetría consistente en columna con emisor de luz (parte superior) y cámara de vídeo. Esta columna se regula en altura en función de la del paciente. El registro gráfico se analiza mediante ordenador y se imprime utilizando el programa formetric.



**Figura 2A.-** Visión posterior de paciente con escoliosis tóraco-lumbar apreciándose la asimetría de pliegues cutáneos.



**Figura 2B.-** Imagen tras transformación colorimétrica de la asimetría de pliegues de la misma paciente.

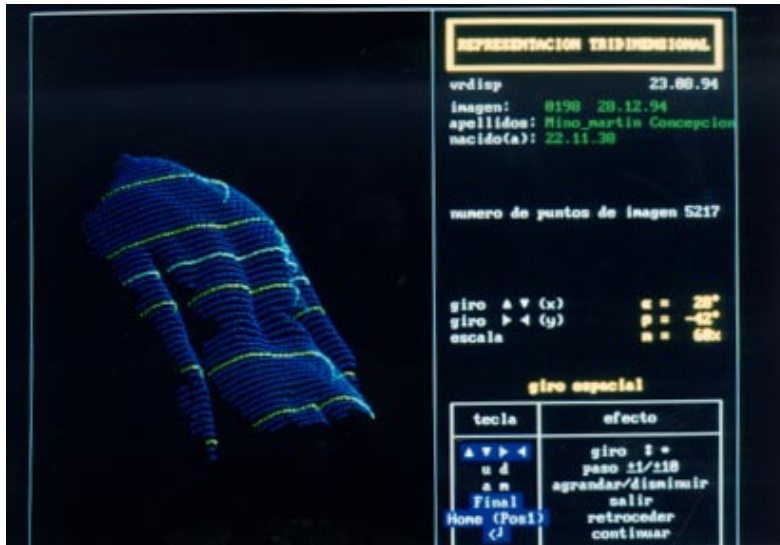


Figura 2C.- Giro tras reconstrucción tridimensional de la imagen.

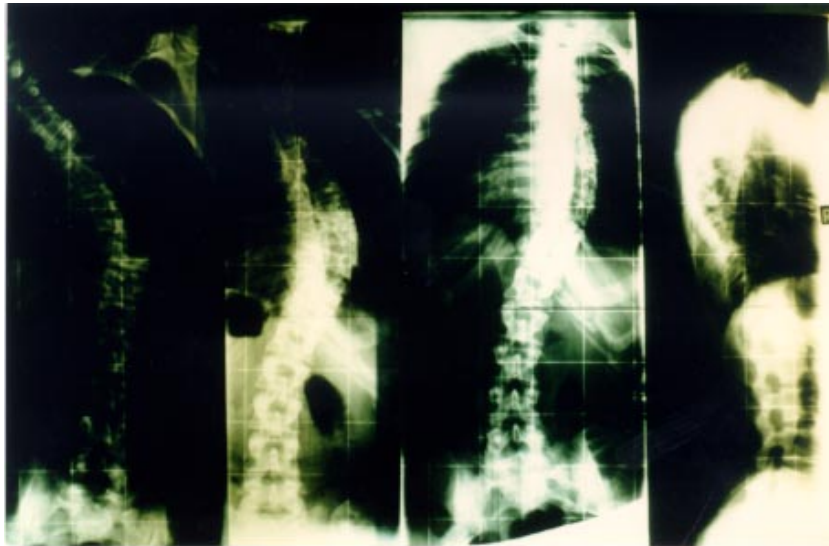


Figura 2D.- Imágenes de telerradiografías de la misma paciente evidenciando una escoliosis

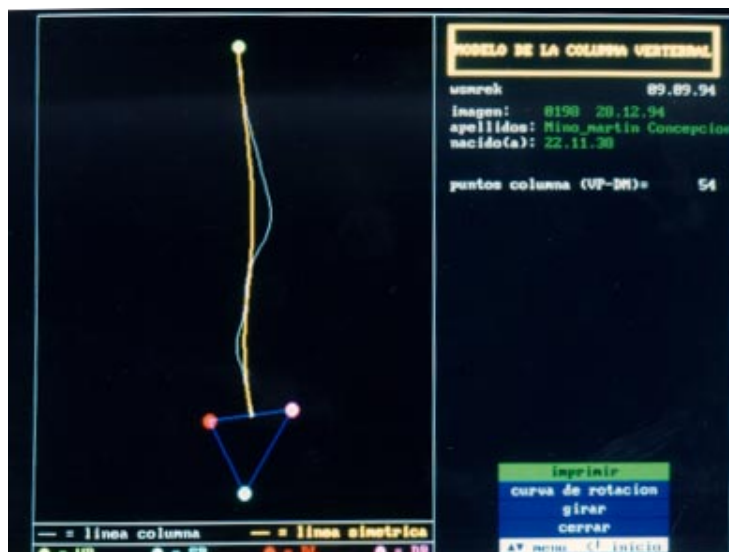
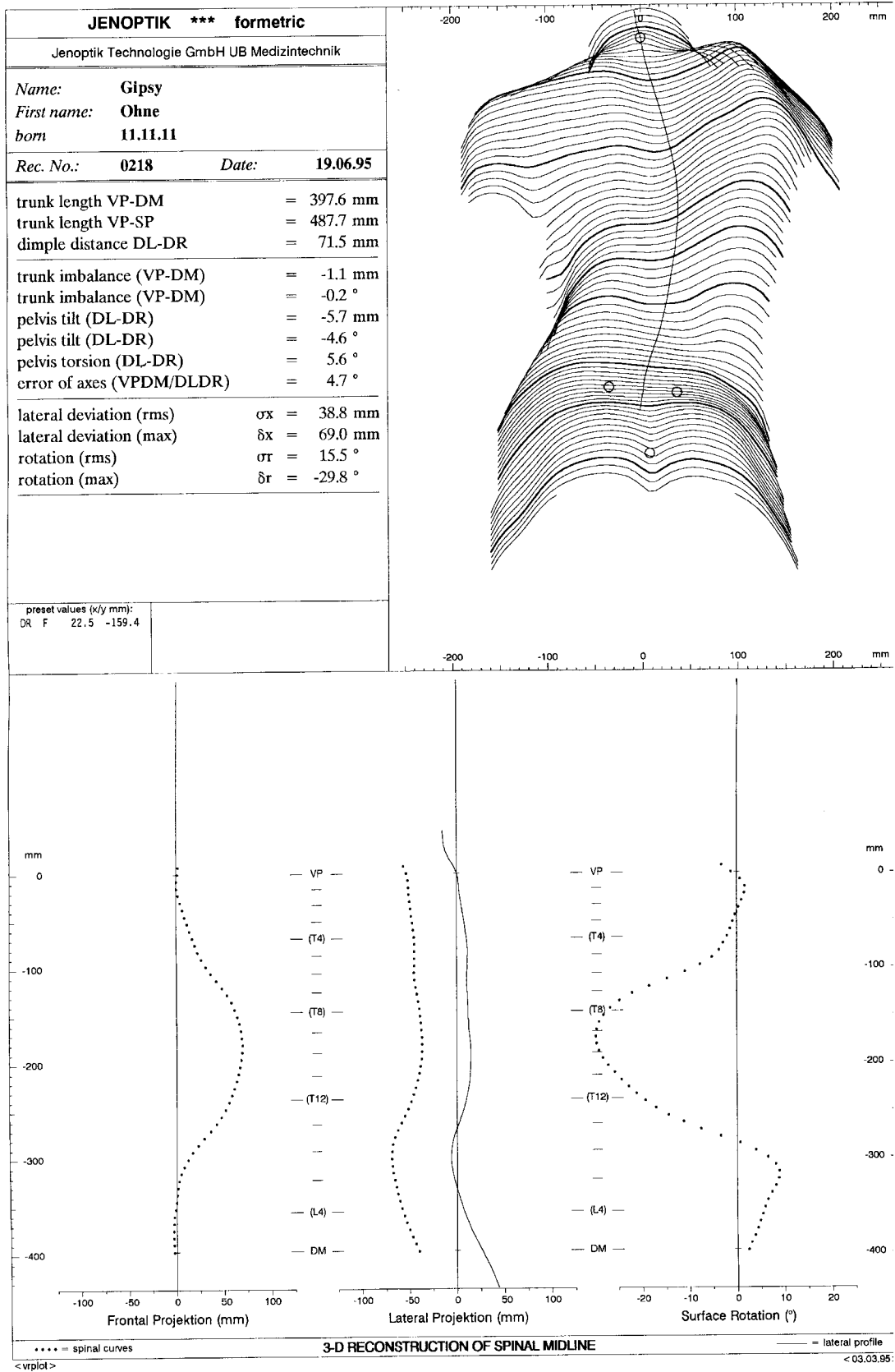


Figura 2E.- Transformación lineal de la escoliosis con curva de rotación respecto a la línea simétrica.



**Figura 3.-** Registro gráfico de la paciente anterior. La primera curva muestra la desviación lateral en grados y mm (Cobb equivalente). La segunda la inclinación lateral en grados y la tercera la rotación axial en grados.

## Resultados

La primera parte del estudio consistió en correlacionar los datos obtenidos tras el examen de las radiografías convencionales de los 47 pacientes (ángulo de Cobb por encima de  $50^\circ$ ) y los datos obtenidos con la formetría. Así se obtuvieron para la desviación lateral, inclinación lateral y rotación axial desviaciones de 2.5 mm,  $3.1^\circ$  y  $2.6^\circ$ , respectivamente, lo que está en el orden de los errores normales de medición, Figura 3.

Cuando se comparó la amplitud de la inclinación lateral con las curvas de desviación lateral e inclinación lateral, la distribución se centró alrededor de los  $90^\circ$ , siendo independiente de la amplitud. Para pequeñas amplitudes de la inclinación lateral apareció una mayor dispersión en la diferencia de fase entre las curvas de desviación lateral e inclinación lateral, Figura 4.

Un diagrama similar se obtuvo cuando se analizó la amplitud de la rotación y se correlacionó con las curvas de desviación lateral e inclinación lateral. Sin embargo se apreció una distribución menos pronunciada alrededor de los  $180^\circ$ , siendo independiente de la amplitud, Figura 5.

Estos resultados confirman que el máximo de rotación vertebral coincide con el máximo de desviación lateral (y viceversa) y es independiente del grado de deformidad (ángulo de Cobb). Matemáticamente, si la desviación lateral está representada por el seno de la curva, entonces la inclinación late-

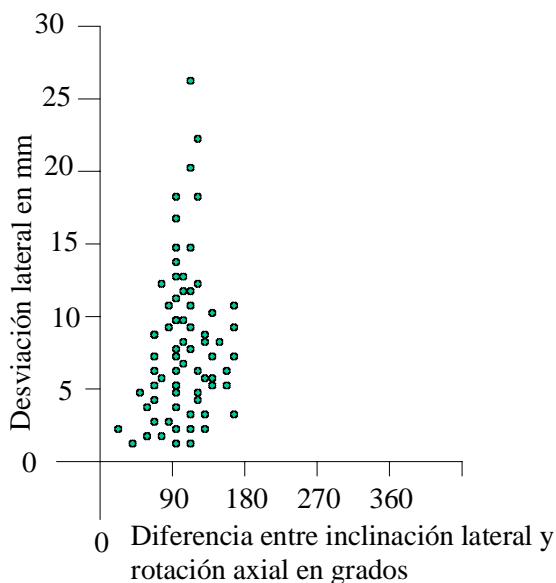
ral se comporta como el coseno de la curva con la misma fase (pero diferente amplitud), y la rotación axial se representa como *minus* seno, además con la misma fase y diferente amplitud.

El análisis de regresión y correlación mostraron (para cada curva) una correlación alta de la desviación lateral de la vértebra apical con respecto a la rotación axial de la superficie de la espalda y con respecto a la rotación axial de la vértebra. La rotación de la superficie de la espalda fue menor que la rotación vertebral en magnitud. La medición de la asimetría de la superficie de la espalda que obtuvo una mayor correlación con la deformidad esquelética fue la rotación axial. Cuando se correlacionó la rotación apical con el ángulo de Cobb, apareció un coeficiente de  $r = 0.66$  ( $d = 3.8^\circ$ ), Fig 6 (correlación entre rotación apical y ángulo Cobb). Cuando se utilizaron valores positivos y negativos de los ángulos el coeficiente de correlación se incrementó a  $r = 0.88$  ( $d = 4.09^\circ$ ), Figura 7.

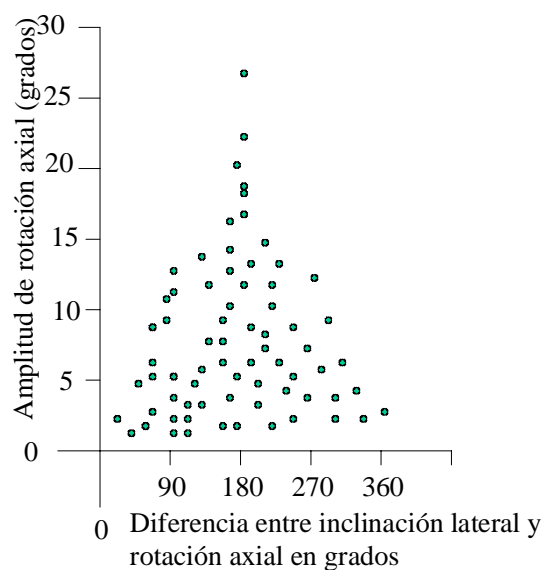
## Discusión

La independencia de los resultados anteriores con respecto al grado de deformidad (ángulo de Cobb) sugieren que la correlación entre la amplitud y la fase, dimanantes de los diagramas, son bastante universales, al menos para las escoliosis idiopáticas<sup>7-9</sup>.

Con el fin de presentar los resultados en una forma útil para la clínica, es necesario un procesa-



**Figura 4.-** Correlación entre la desviación lateral en mm y la diferencia entre inclinación lateral y rotación axial en grados.



**Figura 5.-** Correlación entre la rotación axial en grados y la diferencia entre inclinación lateral y rotación axial en grados.

do de datos de la forma de la columna independiente de la posición de la misma o de las vértebras. Esto se logra utilizando invariables cuánticas, por ejemplo, distancias, volúmenes, ángulos y curvas, que se determinan mediante el análisis de la forma. En este sentido faltan definir más descriptores para la forma 3-D de la columna. Por ejemplo una invariable cuántica analizada es el volumen de torsión, especificando el volumen de un paralelepípedo expandido a los ejes de tres vértebras adyacentes. Esto nos da la medida de la distorsión 3-D. Sin embargo, no se representa en esta cifra la rotación vertebral<sup>10,11</sup>.

La formetría es un método recomendable para analizar las deformidades vertebrales tridimensionales. La medición de la rotación superficial permite la cuantificación objetiva y puede reducir el número de radiografías en el seguimiento postquirúrgico, monitorización de ortesis y evaluación de los cambios debidos a la progresión de la curva. Por supuesto, una radiografía inicial, es recomendable para el primer diagnóstico de un tipo particular de escoliosis y para la detección de cambios estructurales de la columna como vértebras en cuña, barras óseas de fusión o torsión de apófisis espinosas.

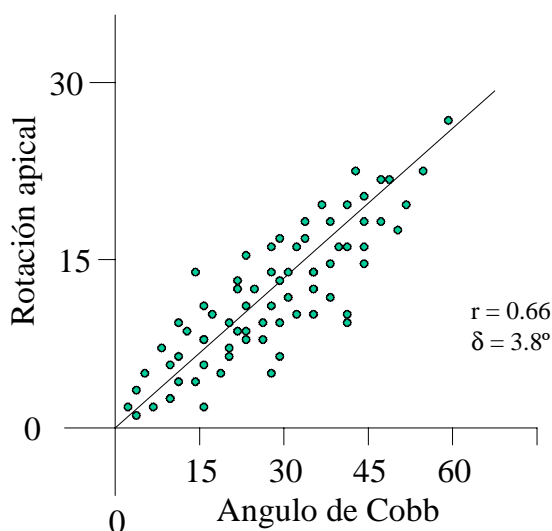
Las relaciones entre la deformidad esquelética y las mediciones de superficie en el presente estudio fueron similares en las curvas en las regiones torácica y lumbar y en los pacientes con curvas simples y dobles<sup>12</sup>.

Turner-Smith et al, en 1988<sup>13</sup>, propusieron un método de cálculo de la proyección frontal de la

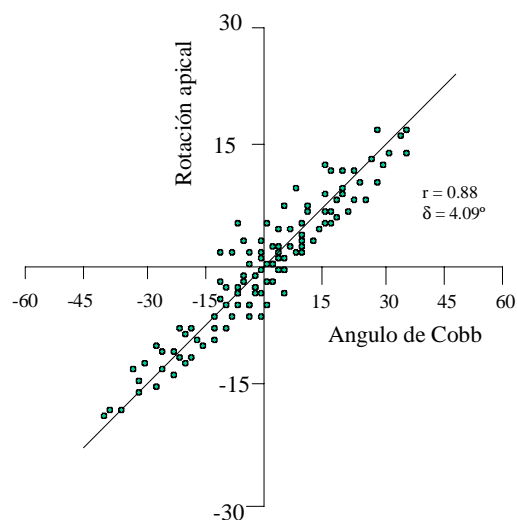
línea media de la columna desde topografía de superficie (ISIS scan). Este modelo puede ser extendido a tres dimensiones usando el aspecto sagital de la línea de las apófisis espinosas, según Hierholzer y Drerup, 1992<sup>14</sup>. Este modelo adolece de falta de precisión en delimitar la línea media. Más frecuentemente, el análisis de la forma, se basa en el estudio de las curvas representando coordenadas y orientación de ángulos como funciones del nivel vertebral. Estas curvas pueden ser aproximadas mediante funciones matemáticas definidas por pocos parámetros. El análisis de la superficie se reduce entonces al análisis y comparación de los parámetros de la curva. El empleo de funciones armónicas planas de los parámetros longitud de onda, fase y amplitud, son suficientes<sup>15,16</sup>.

## Bibliografía

1. **Scutt ND, Dangerfield PH, Dorgan JC.** The relationship between surface and radiological deformity in adolescent idiopathic scoliosis: effect of change in body position. *Eur Spine J* 1996, 5(2): 85-90.
2. **Theologis TN, Fairbank JC, Turner-Smith AR, Pantazopoulos T.** Early detection of progression in adolescent idiopathic scoliosis by measurement of changes in back shape with the integrated shape imaging system scanner. *Spine* 1997, 22(11): 1223-1227.
3. **Herron RE:** Biostereometric measurement of body form. *Yearbook of Physical Anthropology* 1972, 16:80-121.



**Figura 6.-** Correlación entre la rotación apical en grados y el ángulo de Cobb en grados.



**Figura 7.-** Correlación entre la rotación apical y el ángulo de Cobb en grados positivos y negativos.

4. **Carr AJ, Jefferson RJ, Turner-Smith AR.** Familial back shape in adolescent scoliosis. A photogrammetric population study. *Acta Orthop Scand* 1991, 62(2): 131-135.
5. **Drerup B:** 3-D acquisition, reconstruction and modelling techniques applied on scoliotic deformities. International Symposium on 3D scoliotic Deformities joined with the VII International Symposium on Spinal Deformity and Surface Topography, Montreal. Canada, June 27-30, 1992. Ed. Gustav Fischer Verlag. Ecole Polytechnique de Montréal. pp. 2-9.
6. **Drerup B, Hierholzer E.** Objective determination of anatomical landmarks on the body surface: measurement of the vertebra prominens from surface curvature. *J Biomech* 1985, 18(6): 467-474.
7. **Dawson EG, Kropf MA, Purcell G, Kabo JM, Kanim LE, Burt C.** Optoelectronic evaluation of trunk deformity in scoliosis. *Spine* 1993, 18(3): 326-331.
8. **Drerup B y Hierholzer E:** First experiences with clinical application of video rasterstereography. *Surface Topography and Spinal deformity VI.* Ed. A. Alberti, B Drerup y E Hierholzer. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena New York, 1992, pp. 202-208.
9. **Drerup B y Hierholzer E:** Interrelations between coordinates and orientation angles of vertebrae in the scoliotic spine. International Symposium on 3D scoliotic Deformities joined with the VII International Symposium on Spinal Deformity and Surface Topography, Montreal. Canada, June 27-30, 1992. Ed. Gustav Fischer Verlag. Ecole Polytechnique de Montréal. pp. 250-256.
10. **Hierholzer E y Drerup B:** Three-dimensional reconstruction of the spinal midline from rasterstereographs. *Surface Topography and Spinal deformity V.* Ed. H Neugebauer y G Windischbauer. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena New York, 1992, pp. 53-55.
11. **Karachalios T, Sofianos J, Roidis N, Sapkas G, Korres D, Nikolopoulos K.** Ten-year follow-up evaluation of a school screening program for scoliosis. Is the forward-bending test an accurate diagnostic criterion for the screening of scoliosis? *Spine* 1999, 24(22): 2318-2324.
12. **Hierholzer E y Drerup B:** Validation of scoliosis parameters determined from back shape measurements. *Surface Topography and Spinal deformity VI.* Ed. A. Alberti, B Drerup y E Hierholzer. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena New York, 1992, pp. 177-179.
13. **Turner-Smith, A R, Harris J D, Houghton G R y Jefferson R J:** A method for analysis of back shape in scoliosis. *J Biomechanics*, 21: 497-509, 1988.
14. **Hierholzer E y Drerup B:** Which requirements must be met in order to replace radiography by surface topography? International Symposium on 3D scoliotic Deformities joined with the VII International Symposium on Spinal Deformity and Surface Topography, Montreal. Canada, June 27-30, 1992. Ed. Gustav Fischer Verlag. Ecole Polytechnique de Montréal. pp. 131-138.
15. **Turner-Smith A y Thomas DC:** Some relationships between the spine and skin surface shape. *Surface topography and spinal deformity.* Ed. I A F Stokes, J R Pekelsky y M S Moreland. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena New York, 1987, pp. 3-11.
16. **Stokes IA, Armstrong JG, Moreland MS.** Spinal deformity and back surface asymmetry in idiopathic scoliosis. *J Orthop Res* 1988, 6(1): 129-137.