



FACULTAD DE MEDICINA Y ODONTOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA

**VALORACIÓN DE TÉCNICAS DE LUZ
ESTRUCTURADA EN LA DETERMINACIÓN DE
DEFORMIDADES DEL RAQUIS**

Memoria presentada por:
D^a. MARI FE MÍNGUEZ REY
para la obtención del
GRADO de DOCTOR
Valencia, 2002



D. MANUEL LAGUÍA GARZARÁN, Profesor Titular de Traumatología del Departamento de Cirugía de la Facultad de Medicina y Odontología, **D. MATEO BUENDÍA GÓMEZ**, Profesor Titular de Fisiología de la Facultad de Medicina y Odontología y **D. ANTONIO MARTÍN BENLLOCH**, Profesor Asociado de Traumatología del Departamento de Cirugía de la Facultad de Medicina y Odontología de la Universitat de València,

CERTIFICAN: Que D^a. MARI FE MÍNGUEZ REY ha realizado, bajo nuestra dirección, en el Departamento de Cirugía de la Facultad de Medicina y Odontología de la Universitat de València, la tesis titulada: "VALORACIÓN DE TÉCNICAS DE LUZ ESTRUCTURADA EN LA DETERMINACIÓN DE DEFORMIDADES DEL RAQUIS".

Y para que conste, y a los efectos oportunos, firman el presente documento en Valencia, a diecinueve de febrero de dos mil dos.

Fdo.: Prof. M. Laguía Garzarán

Fdo.: Prof. M. Buendía Gómez

Fdo.: Prof. A. Martín Benlloch

A Gerardo.

A mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Al **Profesor Dr. D. Manuel Laguía Garzarán**, mi sincero agradecimiento por la formación recibida bajo su tutela, así como por la dirección y apoyo que me ha ofrecido.

Al **Profesor Dr. D. Mateo Buendía Gómez** por su dedicación y apoyo en la realización de esta tesis, así como por su amistad.

A la **Profesora Dra. Dña. Rosa M^a Cibrián Ortiz de Anda** de quien en todo momento he recibido su ayuda inestimable y una amistad incondicional.

A la **Unidad de Biofísica del Departamento de Fisiología** de la Universidad de Valencia por su colaboración y valiosa ayuda.

A todos mis **compañeros del Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología** y del **Servicio de Rehabilitación** del Hospital Clínico Universitario de Valencia, por los años de trabajo y amistad compartidos, por sus consejos, estímulo y ayuda.

A todas aquellas personas que directa o indirectamente han colaborado en la realización de este trabajo.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

ESCOLIOSIS

La escoliosis como afección es conocida desde la Prehistoria. Ya en la Edad de Piedra el hombre reconoció esta deformidad como lo demuestra la presencia de pinturas rupestres que reproducen la citada patología¹. Hipócrates fue el primero en usar el término “skoliosis” (torcido) para cualquier curvatura de la columna vertebral, empleando métodos rudimentarios de tratamiento. En 1575, Ambroise Paré mandó a los armeros forjar corazas de hierro que eran moldeadas para ajustarse al torso de los enfermos de escoliosis. A partir de entonces no se produjeron progresos importantes hasta finales del siglo XIX, coincidiendo con el desarrollo de las ciencias morfológicas. En 1911, Russell Hibs realizó la primera fusión vertebral de una escoliosis, lo que significó un claro avance en el tratamiento de la misma. En 1954 Bount y Schmidt diseñaron el corsé de Milwaukee que sigue siendo, en muchos casos, la base del tratamiento conservador².

En la actualidad, la escoliosis es una deformidad vertebral muy común y de gran importancia social. Afecta con más frecuencia a adolescentes, del sexo femenino, produciendo una deformidad del tronco que puede originar verdaderos problemas psicológicos y, en los casos graves, también cardiorrespiratorios. Es una enfermedad potencialmente progresiva que afecta a los niños durante los periodos de crecimiento rápido y, en la mayoría de los casos, se estabiliza con la madurez esquelética, dejando al paciente con una deformidad permanente. Esta deformidad, presente en la edad adulta, puede ser sintomática, debido a la evolución degenerativa que tiene lugar en los segmentos móviles del raquis. A pesar de los esfuerzos de investigación realizados, la etiología de la escoliosis sigue siendo desconocida en la mayoría de los casos, por lo que no es posible prevenir su aparición. De ahí la importancia del diagnóstico precoz de esta patología, ya que esto nos permite iniciar el tratamiento lo más rápida y

eficazmente posible con el objetivo de evitar las complicaciones asociadas a la evolución de la escoliosis.

1. DEFINICIÓN

La escoliosis consiste en una desviación lateral estructurada del raquis. En realidad se trata de una deformidad más compleja, en la que se asocia una curvatura o flexión lateral (en el plano frontal), con una rotación vertebral (en el plano transversal). Ambos componentes de la deformidad, la flexión lateral y la rotación axial, están ligados de forma inseparable en la escoliosis estructural. Además suele asociarse con desviaciones en el plano sagital (cifosis o lordosis).

En un número considerable de individuos el raquis no es completamente recto, por esta razón, la escoliosis se define como una curvatura lateral de la columna superior a 10°, medida por el método de Cobb en radiografías en bipedestación. La curvatura de la columna por debajo de este umbral se denomina asimetría o inclinación.

2. EPIDEMIOLOGÍA

En cuanto a la prevalencia de la escoliosis no existe unanimidad en los datos publicados. Los estudios realizados provienen de dos fuentes diferentes: del análisis de radiografías de tórax practicadas para la comprobación de algún otro tipo de patología o de exámenes realizados a la población escolar.

Entre los primeros estudios podemos citar el realizado por Shands y Eisenberg en 1955³. Investigaron la incidencia de escoliosis en el estado de Delaware analizando 50.000 radiografías de tórax, encontrando ángulos de Cobb iguales o mayores a 10° en un 1.9% de los sujetos de más de 14 años. En cambio, si consideraban ángulos de Cobb de 20° o mayores, la prevalencia era de un 0.5%. Los inconvenientes de este tipo de

estudios son el reducido tamaño de las radiografías de tórax, que no incluyen el raquis completo, y que la técnica radiográfica no es la específica para estudiar la densidad ósea de la columna vertebral, sino la utilizada habitualmente para ver las partes blandas que corresponden al parénquima pulmonar.

Por el contrario, los estudios basados en revisiones escolares son más recientes. Cronis y Russell los iniciaron en el año 1960 en Estados Unidos⁴. Tienen la ventaja de permitir un análisis más completo, al obtenerse radiografías adecuadas del raquis, pero siguen mostrando una gran variabilidad en los datos. Esta dispersión en los resultados está en relación con el tamaño de la muestra, el sexo y la edad de la población estudiada, y el método de valoración utilizado. Entre este grupo de estudios cabe destacar el realizado por Morais y colaboradores⁵ en 1985 quienes, tomando como límite inferior para el diagnóstico de escoliosis un ángulo de Cobb de 10°, establecieron una prevalencia de un 2-4%.

Cuando el estudio se realiza en la población adulta (entre 20 y 90 años) la prevalencia aumenta considerablemente alcanzando el 8-12%, ya que en este periodo se incluyen las escoliosis que comenzaron antes de la maduración esquelética, así como también las que se iniciaron en la edad adulta y senil⁶.

Por lo tanto, podemos considerar que se trata de una patología de pocos casos nuevos al año, pero durante muchos años, lo que finalmente constituye un importante volumen de pacientes.

3. ETIOPATOGENIA

En la obra de Nicolás André, *L'Orthopédie* (1741), considerada como una pieza fundamental de la ortopedia ya que en ella apareció por primera vez impresa esta palabra, su autor refiere que las deformidades vertebrales “no proceden siempre de

alteraciones espinales, sino que son debidas a que los músculos de la parte anterior del cuerpo son demasiado cortos, con lo que la columna vertebral se deforma, de la misma manera que aumenta el arco de la ballesta cuando la cuerda se acorta”. Esta es una de las más precoces teorías de la etiopatología de la escoliosis, si bien ya desde tiempos remotos era conocido que existían deformidades vertebrales no destructivas atribuidas a defectos posturales. Ambrosio Paré fue un enérgico defensor de la teoría postural, pero precisa llegar a Percival Pott con su obra sobre la “caries” vertebral para encontrar el inicio de los estudios modernos de la escoliosis. Fue el “error” de Pott de incluir entre los afectados por la “caries” a pacientes cuyas lesiones no evolucionaban hacia la paraplejia lo que hizo de la escoliosis una entidad definida. El análisis de los resultados conseguidos con métodos conservadores permitió pasar de la sospecha a la convicción de que existían, cubiertos bajo el mismo diagnóstico de “caries” vertebral, pacientes cuya deformidad era debida a causas ajenas al proceso destructivo conocido hoy por mal de Pott⁷.

En la mayoría de los casos, el mecanismo por el cual tiene lugar la alineación ondulante de la columna vertebral, sigue siendo desconocido, y como dice Trueta en su trabajo publicado en 1965, “nuestra ignorancia se halla cubierta pudorosamente por un manto verbal, al llamar idiopática, es decir, ignorada, a la escoliosis”⁷.

Recientemente, la búsqueda de la causa de la escoliosis idiopática se ha centrado en los elementos estructurales del raquis^{8,9,10}, la musculatura espinal^{11,12}, el colágeno¹³, el sistema endocrino¹⁴, el sistema nervioso central¹⁵ y los factores genéticos^{16,17}. Ninguno de estos estudios han explicado convincentemente las causas de la escoliosis idiopática. El resultado de estos experimentos realizados en modelos animales y los estudios clínicos llevados a cabo, han indicado una posible influencia anatómica o funcional en

la causa de la escoliosis idiopática, pero en realidad parecen epifenómenos, más que verdaderas causas de la deformidad.

Más recientemente, Kindsfater y colaboradores¹⁸ han llegado a la conclusión de que el nivel de calmodulina en pacientes esqueléticamente inmaduros con una curva progresiva es significativamente mayor que en aquellos con curvas estables. Machida y colaboradores¹⁹ observaron una disminución de los niveles nocturnos de melatonina en adolescentes con curvas progresivas, mientras que aquellos con curvas estables presentaban unos niveles de melatonina dentro de los límites normales. Otros estudios realizados en los últimos años²⁰, se han centrado en la búsqueda de un factor genético que determine la presencia de la curva escoliótica. En resumen, podríamos decir, que la escoliosis idiopática es debida a un posible defecto en la maduración del sistema nervioso central, incluyendo sus neurotransmisores y neuromoduladores, secundario a un defecto genético.

Junto a este gran grupo de escoliosis idiopáticas, existen otras, en las que puede ser identificado un factor etiológico (traumático, infeccioso...).

4. CLASIFICACIÓN

4.1. ESTRUCTURAL

4.1.1. LATEROFLEXIONES NO ESTRUCTURADAS

Se caracterizan fundamentalmente porque son curvas no progresivas y flexibles, que desaparecen con los movimientos de inclinación lateral del tronco y con el decúbito supino. En la exploración radiológica se observa simetría en los cuerpos vertebrales, no objetivándose rotación de estos. Generalmente, un

pequeño acortamiento de una de las extremidades inferiores, o disimetría, puede ser la causa de la lateroflexión, situándose la convexidad en el lado del miembro acortado. En estos casos la curva desaparece con la sedestación o al compensar la disimetría con un alza. Se incluyen también dentro de este grupo, a las lateroflexiones posturales del adolescente, caracterizadas por tratarse de curvas ligeras y que desaparecen con el decúbito.

Este tipo de deformidad puede evolucionar excepcionalmente hacia una escoliosis estructurada y progresiva, que será subsidiaria de tratamiento específico. Por lo tanto, se debe seguir la evolución de cualquier lateroflexión del raquis hasta el fin del crecimiento.

4.1.2. LATEROFLEXIONES TRANSITORIAS

Dentro de este grupo se pueden citar, la **lateroflexión ciática**, producida por la irritación nerviosa debida a la presión del núcleo pulposo prominente sobre la raíz nerviosa, la **histérica**, poco frecuente y de tratamiento psiquiátrico, y la **inflamatoria**, por abscesos perirrenales, apendicitis u otros procesos infecciosos.

4.1.3. ESCOLIOSIS ESTRUCTURADAS

Está caracterizada por la presencia de una prominencia rotacional y fija que no se corrige totalmente al inclinarse hacia el lado de la convexidad, ni con el decúbito supino. Por definición pues, se va a observar en este tipo de escoliosis una pérdida total de la flexibilidad normal. Presenta características radiográficas importantes que evidencian alteraciones morfológicas y estructurales de los cuerpos vertebrales (rotación, inclinación lateral y acunamiento vertebral secundario).

4.2. CLASIFICACIÓN ETIOLÓGICA

Esta clasificación^{21,22} tiene la ventaja de que las escoliosis incluidas en cada grupo, presentan características similares desde el punto de vista de la evolución y el pronóstico de la deformidad. (Tabla 1.1).

I. Idiopática	A. Infantil (0 a 3 años) – Resolutiva – Progresiva B. Juvenil (3 a 10 años) C. Adolescente (más de 10 años)
II. Neuromuscular	A. Neuropática 1. Neurona Motora Superior a) Parálisis cerebral b) Degeneración espinocerebelosa – Enfermedad de Friedrich – Enfermedad de Charcot-Marie-Tooth – Enfermedad de Roussy-Lèvy c) Siringomielia d) Tumor de la médula espinal e) Traumatismo de la médula espinal f) Otras 2. Neurona Motora Inferior a) Poliomiélitis b) Otras mielitis viriásicas c) Traumática d) Atrofia muscular espinal – Werding-Hoffman – Kubelberg-Welander e) Mielomeningocele 3. Disautonomía (Síndrome de Riley-Day) 4. Otras B. Miopática 1. Artrogriposis 2. Distrofia Muscular a) Duchenne (seudohipertrofia) b) Cinturón de los miembros c) Fascioescapulohumeral 3. Desproporción del tipo de fibras 4. Hipotonía congénita 5. Miotonía distrófica 6. Otras
III. Congénita	A. Insuficiencia de formación 1. Vértebra en cuña 2. Hemivértebra B. Falta de segmentación 1. Unilateral (bloque no segmentado) 2. Bilateral C. Mixta
IV. Neurofibromatosis	
V. Mesenquimatosas	A. Síndrome de Marfan B. Síndrome de Ehlers-Danlos C. Otros

VI. Enfermedad reumatoidea	
VII. Traumatismo	A. Fractura B. Quirúrgico 1. Tras laminectomía 2. Tras toracoplastia C. Irradiación
VIII. Contracturas extravertebrales	A. Después de empiema B. Después de quemaduras
IX. Osteocondrodistrofias	A. Enanismo diastrófico B. Mucopolisacaridosis C. Displasia espondilometafisaria D. Displasia epifisaria múltiple E. Otras
X. Infección ósea	A. Aguda B. Crónica
XI. Trastornos metabólicos	A. Raquitismo B. Osteogénesis imperfecta C. Homocistinuria D. Otros
XII. Relacionada con la articulación lumbosacra	A. Espondilólisis y espondilolistesis B. Anomalías congénitas de la región lumbosacra
XIII. Tumores	A. Columna vertebral 1. Osteoma osteoide 2. Histiocitosis X 3. Otras B. Médula espinal

Tabla 1.1: Clasificación etiológica de las escoliosis

4.3. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL ÁREA ANATÓMICA

Las curvaturas se describen según la localización del área del raquis en donde está situado el vértice de la curva²³ (Tabla 1.2).

Curva	Localización del vértice
Cervical	C1-C6
Cervicotorácica	C7-T1
Torácica	T2-T11
Tóracolumbar	T12-L1
Lumbar	L2-L4
Lumbosacra	L5-S1

Tabla 1.2: Clasificación según el área anatómica

ESCOLIOSIS IDIOPÁTICA

1. INTRODUCCIÓN

La escoliosis idiopática es, de todos los tipos de escoliosis, la más frecuente.

Por definición, su etiología real es hasta el momento desconocida, presentándose, de forma característica, durante la fase de crecimiento en individuos previamente sanos.

2. CLASIFICACIÓN

2.1. CRONOLÓGICA

Se basa en la edad a la que tiene lugar el diagnóstico de la deformidad. Divide a las escoliosis idiopáticas en tres grupos, que además de diferenciarse en la edad de detección, lo hacen en el sexo predominante, la localización más frecuente de la curva, la evolución y los factores pronósticos.

Esta clasificación de la escoliosis idiopática ha recibido críticas²⁴ porque no tiene en cuenta la edad real a la cual aparece la deformidad, lo que sería difícil de establecer, sino la edad en la que se detecta la enfermedad por primera vez.

Divide a las escoliosis idiopáticas en **infantil**, **juvenil** y del **adolescente**. La escoliosis infantil aparece entre el nacimiento y los tres años, la juvenil entre los 4 y los 10 años y la del adolescente desde los 10 años hasta la madurez. Aunque ésta es la definición clásica, se ha propuesto una “reclasificación” de la escoliosis infantil y juvenil; de aparición *temprana*, entre el nacimiento y los 5 años, y de aparición *tardía*, entre los 5 y los 10 años de edad. Se ha establecido esta distinción porque la gran deformidad torácica que se observa normalmente en curvas que comienzan antes de los 5 años de edad, puede provocar cierto compromiso cardiopulmonar. La función pulmonar disminuye en las curvas superiores a 60° y se produce un cor

pulmonale en las curvas pronunciadas. El inicio de la escoliosis después de los 5 años de edad se asocia con un riesgo menor de afectación cardiopulmonar.

A. INFANTIL

Aparece entre el nacimiento y los tres años de edad, es más frecuente en varones y habitualmente se trata de una curva torácica y convexa a la izquierda.

Wynne-Davies²⁵ observó plagiocefalia en 97 niños en quienes se desarrollaron curvas en los seis primeros meses de vida. El lado aplanado de la cabeza estaba localizado en el lado convexo de la curva. Ello le llevó a creer que los factores etiológicos en la escoliosis idiopática infantil son probablemente múltiples, con una tendencia genética que se “dispara” o se previene por factores externos.

Hay dos tipos de escoliosis idiopática infantil: uno progresivo que aumenta generalmente con rapidez y otro que, al menos en cuanto a su estructura, se resuelve espontáneamente en unos pocos años, con o sin tratamiento. Este tipo de resolución sucede en un porcentaje comprendido entre el 70 y el 90% de los pacientes con escoliosis idiopática infantil. Desgraciadamente, cuando la curva es de mediana intensidad no existen criterios absolutos para diferenciar los dos tipos. Mehta²⁶ ideó un método, basado en los ángulos formados entre las costillas y la vértebra, con el objetivo de distinguir las curvas resolutivas de las progresivas. Este método será explicado más detalladamente en el apartado correspondiente a los parámetros radiográficos.

B. JUVENIL

Como hemos visto antes, se detecta en individuos entre los 4 y los 10 años. Afecta por igual a ambos sexos y las curvas que se diagnostican con mayor frecuencia son torácicas derechas.

En general, tienen poca tendencia a progresar en los primeros años, pero cuando se acercan a la adolescencia pueden presentar un cambio brusco en su evolución, por lo que durante esta época, se deben controlar estrechamente.

C. ADOLESCENTE

Es el tipo más frecuente de escoliosis idiopática y se diagnostica en pacientes desde los diez años (pubertad) hasta la madurez.

Afecta con mayor frecuencia y severidad al sexo femenino (el 80% de los casos), siendo la localización más habitual de la curva la torácica derecha.

Desde el punto de vista del pronóstico, la deformidad suele progresar hasta la madurez esquelética, pero puede seguir aumentado después de ésta si se ha alcanzado los 50° o más.

Es importante realizar un seguimiento del paciente durante el brote de crecimiento rápido de la adolescencia, pues es entonces cuando las curvas presentan un mayor riesgo de progresión.

2.2 PATRÓN DE CURVAS

En cuanto a los patrones topográficos de escoliosis idiopáticas, Friedman y Ponseti²⁷ los agruparon en cinco tipos principales: **curva lumbar**, **curva torácica**, **doble curva**, **curva toracolumbar**, **curva cervicotorácica** y **curva torácica doble**. (Tabla 1.3)

	Curva Lumbar	Curva Torácica	Doble Curva	Curva Toracolumbar	Curva Cervicotorácica	Curva Torácica Doble
Vértebras límite	L1-L5	T4 ó T6 a T11 ó L2	T5 ó T6 a T10 ó T11 T10 ó T11 a L3 ó L4	T6 ó T8 a L3	C5 a T4 ó T5	T1 a T5 ó T6 y T6 a T12 ó L1
Vértebras ápex	L2	T8 ó T9	T7 ó T8 y L1 ó L2	T11 ó T12	C7 ó T1	
Convexidad	65% Izquierda	Derecha	Torácica Derecha y Lumbar Izquierda	Derecha	Izquierda	
Capacidad deformante	En la línea de la cintura	Es la más deformante. Se puede asociar con hipocifosis torácica Prominencia costal no siempre relacionada con el tamaño de la curva o el grado de rotación	Tronco bien alineado pero acortado	En la línea de la cintura	En el cuello	No suele ser tan deformante como la torácica pero produce asimetría en el cuello

Tabla 1.3: Patrón de curvas (Ponseti y Friedman,1950²⁷)

De los patrones de curva en la escoliosis idiopática descritos por Ponseti y Friedman, la torácica derecha es la más frecuente en el **adolescente**, siendo la **lumbar** y **toracolumbar** las escoliosis más frecuentemente diagnosticadas en los programas de revisión escolar.

En cuanto al curso evolutivo, las curvas torácicas son las que presentan un peor pronóstico. Las **lumbares** y **toracolumbares** suelen asociar sintomatología en la edad adulta y las **dobles curvas**, además de que suelen progresar en la adolescencia, si son importantes, pueden presentar serias complicaciones.

2.3 PATRÓN DE ESCOLIOSIS TORÁICAS: CLASIFICACIÓN DE KING

A pesar de las críticas recibidas^{28,29}, el sistema descrito por King y colaboradores³⁰ es un método de clasificación de las escoliosis torácicas del adolescente útil en la planificación preoperatoria de la corrección de la escoliosis.

King describió cinco tipos de curvas (Figura 1.1):

- **Tipo I:** Curva lumbar mayor y menos flexible que la torácica.
- **Tipo II:** Curva torácica mayor y menos flexible que la lumbar.
- **Tipo III:** Curva torácica pura, en la cual, la curva lumbar compensadora no cruza la línea media.
- **Tipo IV:** Curva toracolumbar larga.
- **Tipo V:** Doble curva torácica.

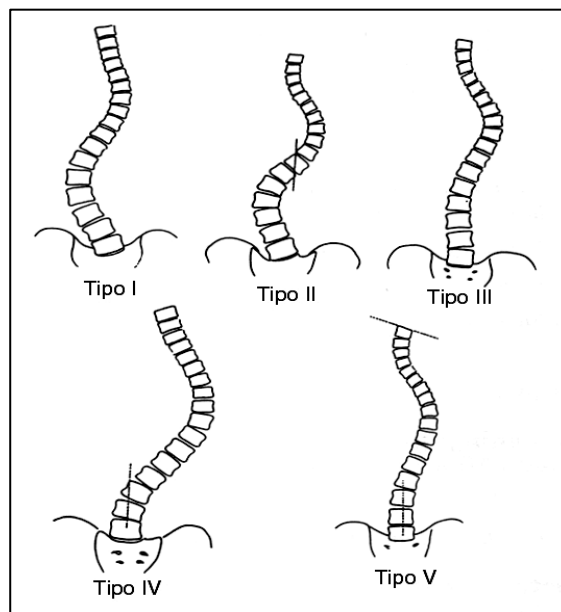


Figura 1.1: Clasificación de King de la escoliosis idiopática. De King y cols²⁸, modificada.

3. HISTORIA NATURAL

En el presente apartado se realiza una revisión de la evolución y factores pronósticos de la escoliosis idiopática del adolescente, ya que, como vimos en la clasificación cronológica de las escoliosis idiopáticas, las de aparición temprana (infantil y juvenil) presentan una evolución y pronóstico diferentes al grupo que nos ocupa.

La valoración de toda enfermedad se debe basar en la eficacia del tratamiento aplicado, en relación con la evolución natural de la misma sin éste. Sin embargo, el conocimiento de la historia natural de la escoliosis sigue siendo un tema controvertido en la literatura. El principal problema, es la falta de información sobre la evolución de la enfermedad. Además, los estudios de seguimiento a largo plazo son, en su mayoría, retrospectivos y presentan los inconvenientes propios de este tipo de trabajos, especialmente los referidos al abandono de pacientes. Las conclusiones de algunos de estas revisiones no pueden considerarse significativas debido a problemas en la selección y el número de pacientes³¹. Dada la multiplicidad de variables que se deben considerar en el estudio de la evolución de la escoliosis idiopática, es de suma importancia, para que los resultados sean válidos, el tipo de formulario, así como el sistema utilizado en la recogida de datos (entrevista personal, telefónica...). Debido a todo lo comentado anteriormente, las conclusiones de los trabajos realizados sobre la evolución de la escoliosis idiopática del adolescente deben ser evaluadas con precaución.

Según Weinstein³² los conocimientos actuales a cerca de la historia natural de la escoliosis idiopática del adolescente se encuentran sintetizados en el artículo publicado por Dickson y colaboradores en 1995³³. En este trabajo, los autores realizaron el seguimiento de un grupo de adultos con escoliosis idiopática del adolescente, durante una media de 5 años después del tratamiento quirúrgico, incluyendo también un total de

30 pacientes que habían rechazado la intervención. A los 5 años, los pacientes tratados quirúrgicamente presentaban una mejor percepción de su aspecto físico, así como de las actividades físicas y funcionales que realizaban. Lo cuestionable del citado estudio es, si este pequeño grupo de pacientes adultos que solicitaron la valoración por un especialista y que rechazaron el tratamiento quirúrgico (indicaciones para cirugía: deformidad estética, progresión o dolor), pueden ser tomados como referencia para conocer la historia natural de la escoliosis idiopática del adolescente. A continuación se analizarán los factores relacionados con la evolución de la enfermedad en el paciente escoliótico: progresión de la curva, repercusión psicosocial, función pulmonar, dolor de espalda, embarazo y mortalidad.

3.1 PROGRESIÓN DE LA CURVA

El punto de mayor interés en el paciente esqueléticamente inmaduro es la progresión de la curva. Muchas decisiones terapéuticas se realizan sobre la base de un aumento de la curva escoliótica, objetivado o probable.

La mayor parte de la información disponible procede de estudios realizados en mujeres con curvas torácicas. En estos trabajos se han descrito seis factores implicados en la progresión de la escoliosis en el paciente esqueléticamente inmaduro. Cuatro de estos factores dependen del potencial de crecimiento y los otros dos restantes están relacionados con características propias de la curva (tipo y magnitud).

3.1.1 FACTORES RELACIONADOS CON EL POTENCIAL DE CRECIMIENTO

- **Edad en el momento del diagnóstico:** cuanto más joven es el paciente mayor es la probabilidad de progresión. Se ha pensado durante mucho tiempo que, cuando el paciente alcanzaba la madurez esquelética, no se producía una posterior progresión de la curva. Sin embargo, algunos estudios entre los que destaca el realizado por Duriez³⁴, han demostrado que las curvas pueden continuar progresando durante toda la vida. En general, las curvas menores de 30° tienen pocas probabilidades de aumentar independientemente del tipo. Algunas curvas mayores de 30°, y especialmente las torácicas de más de 50°, continúan progresando después de la madurez esquelética.
- **Estadio de madurez sexual:** en el caso de las mujeres, la aparición de la menstruación indica un menor riesgo de progresión de la curva.
- **El método de Risser³⁵:** Este método de valoración de la madurez ósea, se comentará con detalle en el apartado dedicado a la valoración radiográfica de la escoliosis. Se trata de una gradación en la maduración de la epífisis de la cresta iliaca (0-5), siendo peor el pronóstico evolutivo cuanto menor es en el momento del diagnóstico.
- **Cartílago trirradiado de la cadera³⁶:** la fusión del cartílago trirradiado indica un menor riesgo de progresión de la deformidad.
- **Talla en sedestación durante un año y medio:** la ausencia de incremento de la talla en sedestación durante el periodo de un año y medio indica un bajo riesgo de progresión.

- **Cifosis torácica:** otro factor relacionado con la posibilidad de progresión de la curva escoliótica es la pérdida de la cifosis torácica³⁷. Además, este hecho es la causa también de una disminución de la función pulmonar y puede influir en la decisión terapéutica.
- **Sexo:** Este es uno de los factores pronósticos más controvertido, a pesar de que, clásicamente, se ha considerado al sexo femenino como un factor de riesgo negativo³⁸.

3.1.2 FACTORES DEPENDIENTES DE LA CURVA

- **Tipo o patrón:** Las escoliosis dobles curvas tienen una mayor tendencia a progresar.
- **Severidad:** Cuanto mayor es la curva en el momento del diagnóstico, mayor es el riesgo de progresión.

3.2 EMBARAZO

Aunque se ha implicado a la gestación como un factor de riesgo para la progresión durante la edad adulta, la mayoría de los estudios muestran que las curvas que aumentan durante el embarazo lo habían hecho ya anteriormente.

3.3 REPERCUSIÓN PSICOSOCIAL

La escoliosis produce grados variables de alteración estética secundaria a la deformidad espinal. Los efectos psicosociales de la escoliosis no parecen manifestarse en la infancia, a menos que la magnitud de la curva sea severa. Sin embargo, la prominencia costal es a menudo un motivo de inquietud en los pacientes jóvenes con rotación vertebral importante y prominencia costal de más

de 3 cm. Esta misma inquietud la presentan los pacientes intervenidos quirúrgicamente con una prominencia costal residual.

El impacto psicosocial ha sido ampliamente estudiado, sobre todo en relación con la actitud terapéutica (tratamiento quirúrgico o conservador). Los efectos psicosociales de la escoliosis parecen tolerarlos mejor los pacientes de mediana edad que los “quinceañeros”, aunque algunos adultos con deformidad moderada o severa pueden sentirse mentalmente discapitados por la deformidad.

No hay correlación entre la localización, grado y extensión de la curva y los efectos psicosociales. Algunos pacientes con curvas pequeñas tienen una repercusión psicológica importante que se manifiesta sobre todo a la hora de comprar ropa. Sin embargo, es posible encontrar otros pacientes escolióticos con curvas más severas que han asumido perfectamente su situación.

El incremento de la prominencia costal y de la musculatura paraespinal, puede asociarse a una ausencia de cambios significativos en el ángulo de Cobb radiográfico, por lo que este sistema de cuantificación de la escoliosis deja de valorar la deformidad externa producida por la misma.

Es importante recalcar que la principal preocupación de los adultos con escoliosis idiopática del adolescente es a menudo estética, siendo ésta la razón por la que solicitan una consulta quirúrgica. Por lo tanto, los aspectos cosméticos de la enfermedad constituyen una parte importante del problema para el paciente.

3.4 RAQUIALGIA

La incidencia de raquialgia en los pacientes con escoliosis es comparable a la de la población general. SL Weinstein y colaboradores³² realizaron el seguimiento de 161 pacientes afectos de escoliosis idiopática del adolescente y

de 100 individuos, equiparables en edad y sexo, que no presentaban esta deformidad, durante una media de 40 años. Los pacientes con escoliosis idiopática del adolescente presentaron raquialgia en un 80% de los casos, mientras que en el grupo control la frecuencia fue del 86%. La incidencia de dolor de espalda frecuente o diario fue ligeramente mayor en el grupo con escoliosis que en el control. Los pacientes con curvas lumbares o toracolumbares, especialmente aquellos con listesis lateral o translación en el extremo inferior de la curva, tienden a tener mayor incidencia de dolor de espalda que aquellos pacientes con otros patrones de curva.

3.5 FUNCIÓN PULMONAR

Los resultados de estudios sobre la función pulmonar³⁹ en pacientes con escoliosis idiopática del adolescente no tratada han mostrado que sólo en pacientes con curvas torácicas existe una relación directa entre el descenso de la función pulmonar y el incremento de la severidad de la curva. La capacidad vital y el volumen de espiración forzada por minuto decrecen con el incremento de la severidad de la curva. La misma correlación se aplica a la presión parcial de oxígeno. En los otros tipos de curvas no se ha observado esta relación entre la función pulmonar y la severidad de la curva.

El patrón de afectación pulmonar que presentan estos pacientes es restrictivo. La presencia de una hipocifosis torácica empeora la pérdida de la función pulmonar con el incremento de la curva. Por lo tanto, curvas de menor magnitud pero con una hipocifosis significativa pueden causar una disminución de la función pulmonar mayor de lo que cabría esperar por la magnitud de la curva.

3.6 MORTALIDAD

La tasa de mortalidad de los pacientes con escoliosis idiopática del adolescente es comparable a la de la población general⁴⁰. En la escoliosis idiopática del adolescente únicamente los pacientes con curvas torácicas de más de 100° tienen riesgo de muerte por cor pulmonale y fallo ventricular derecho.

4. TRATAMIENTO

Como hemos podido ver en el apartado anterior, la escoliosis idiopática evolucionada puede ocasionar importantes problemas físicos y psicológicos. Por lo tanto, el objetivo del tratamiento, tanto conservador como quirúrgico, va a ser el evitar que las deformidades leves o moderadas se conviertan en severas.

Debido a que el propósito de esta tesis es el estudio de una nueva técnica diagnóstica no invasiva aplicada a la escoliosis idiopática, con una potencial utilidad en el seguimiento de la deformidad y la valoración del tratamiento, nos vamos a centrar en las indicaciones terapéuticas de la escoliosis idiopática.

4.1 ESCOLIOSIS IDIOPÁTICA DEL ADOLESCENTE

Se han empleado numerosos métodos en el tratamiento no quirúrgico de la escoliosis (ejercicios, estimulación eléctrica, ortesis..). La utilización de corsés ha demostrado su utilidad en pacientes seleccionados adecuadamente. En la actualidad se puede afirmar que no está indicado el uso de corsés en curvas iguales o menores de 20° . Los pacientes con curvas entre 20° y 29° pueden precisar el uso de corsé cuando presentan un grado de Risser de 0-1 y antes de la menarquia. En los pacientes con Risser de 2-4 y una curva de 20-29° sólo se debe indicar el uso de corsé cuando se haya comprobado una progresión de la curva de 5° o más. Para los

pacientes con curvas entre 30 y 39° se debe indicar el corsé desde la primera visita, si todavía presentan potencial de crecimiento. Si el sujeto tiene un índice de Risser de 4 ó 5, no está indicado el uso de corsé.

La ortesis debe diseñarse para que se ajuste a la curva específica del paciente. Para los sujetos con el ápice de la curva en T8 o en un nivel inferior, puede ser apropiado un corsé de Boston, por debajo del brazo. Los pacientes con el ápice de la curva en T7 o más arriba necesitan un corsé de Milwaukee o de Boston por debajo del brazo, con una superestructura de Milwaukee para controlar la parte superior de la curva. El corsé se debe mantener hasta que se haya alcanzado la madurez esquelética. A partir de este momento se puede ir retirando progresivamente en los siguientes 6 meses.

El tratamiento quirúrgico de la escoliosis idiopática del adolescente comprende múltiples opciones, de las cuales la más aceptada es la instrumentación vertebral posterior con artrodesis. En determinados casos, tras la corrección quirúrgica, puede persistir la prominencia de las costillas y se requiere una toracoplastia parcial para corregir la deformidad.

4.2 ESCOLIOSIS IDIOPÁTICA JUVENIL O DE INICIO TARDÍO

El grupo de pacientes con este tipo de escoliosis lo constituyen fundamentalmente niñas con curvas torácicas derechas. El 70% de las curvas en pacientes con escoliosis juvenil de inicio tardío precisan algún tipo de tratamiento. La mitad requiere tratamiento quirúrgico y el otro 50% tratamiento ortésico. En este último caso la ortesis vertebral toracolumbar de Milwaukee es la más utilizada. Con este tratamiento, se obtienen buenos resultados en curvas menores de 35° y diferencias del ángulo costovertebral inferiores a 20°. Los pacientes con curvas

superiores a los 45° o una diferencia en el ángulo costovertebral mayor de 20° tienen un pronóstico peor. La progresión de la curva con el corsé no significa que se requiera una corrección quirúrgica inmediata. El mantenimiento de una ortesis bien ajustada puede detener la progresión de la curva y favorecer el crecimiento adicional de la columna antes de llevar a cabo la artrodesis. La cirugía se puede retrasar hasta que la curva alcance una magnitud de 55-60°.

4.3 ESCOLIOSIS IDIOPÁTICA DE INICIO TEMPRANO

El tratamiento de este tipo de escoliosis puede comenzar con un corsé / yeso corrector. Cuanto más joven sea el niño al iniciar el tratamiento, mejor será el pronóstico. En los pacientes en los que la curva progresa de manera continua, a pesar del tratamiento conservador está justificada la indicación quirúrgica temprana, con varillas distractoras progresivas de la concavidad y sin artrodesis.

EVALUACIÓN DEL PACIENTE CON ESCOLIOSIS

1. ENTREVISTA CLÍNICA

Es esencial una anamnesis completa que debe incluir la información concerniente a la deformidad vertebral, el estado general, la salud, la historia familiar, la edad y madurez del paciente.

2. EXPLORACIÓN FÍSICA

En primer lugar se realiza una exploración física general incluyendo una medición de la talla, en bipedestación y sedestación, y un registro del peso, además de una exploración neurológica exhaustiva. Después del análisis físico general, se examina detenidamente la columna y se registran las características de la deformidad. Se usa la plomada para medir el desequilibrio del tronco con relación a la pelvis. La plomada está formada por un peso atado a una cuerda. La cuerda se mantiene sobre C7 o sobre la protuberancia occipital cayendo la plomada sobre el surco interglúteo. La distancia desde la línea vertical hasta el surco interglúteo se puede medir y expresa una descompensación lateral de la deformidad, indicativa de pronóstico grave (Figura 1.2).

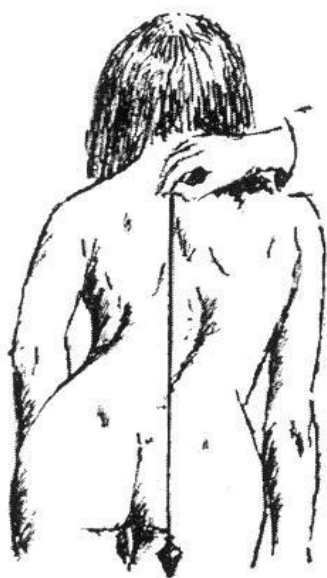


Figura 1.2: Valoración del desequilibrio del tronco con la plomada

Se debe observar también la posible presencia de diferencia de altura de los hombros, asimetría de escápulas y desequilibrio pélvico. La amplitud de movimiento de la columna se observa en flexión, extensión e inclinación lateral. Esta última nos da además una idea de la flexibilidad de la curva.

Una de las pruebas más importantes en la exploración física es el test de Adams² o prueba de la inclinación hacia delante, que consiste en observar las prominencias que aparecen sobre la superficie de la espalda al inclinarse el paciente hacia delante, con el observador situado detrás. Además de detectar la presencia y localización de las gibas, es posible cuantificarlas mediante el uso del inclinómetro (Figura 1.3)

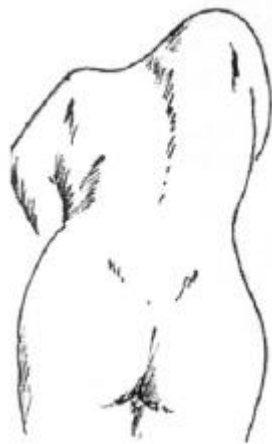


Figura 1.3: Test de Adams

En la exploración clínica se debe incluir una valoración de las extremidades inferiores, prestando especial atención a la existencia de posibles disimetrías.

3. MÉTODOS DE VALORACIÓN DE LA DEFORMIDAD

En la tesis presente se estudia un nuevo método no invasivo para el análisis de la deformidad de la espalda, por lo que este apartado es de suma importancia para comprender los esfuerzos realizados por los investigadores con el objetivo de valorar la deformidad escoliótica.

El test de la inclinación hacia delante descrito por William Adams en 1864, era considerado en aquella época el método básico de diagnóstico precoz y valoración de las curvas intermedias.

La representación y valoración de la deformidad de la superficie de la espalda es un objetivo tradicional de la práctica médica. En 1885 Wilhelm Schulthess² construyó un instrumento que encabezó los sistemas de medición hasta que aparecieron los rayos X. Consistía en la modificación de una herramienta que usaban los escultores para transferir el diseño en arcilla al bloque de mármol. Mediante este sistema conseguía representar la deformidad en las tres dimensiones del espacio (Figura 1.4).

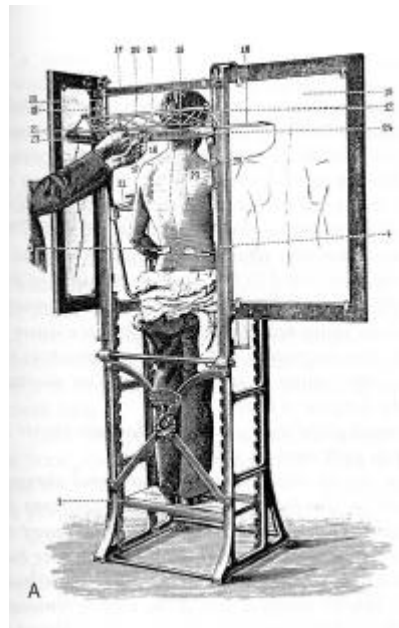


Figura 1.4: Representación gráfica de la deformidad con el sistema diseñado por Wilhelm Schulthess en 1885. De Rang M², modificada.

Hacia 1920 las técnicas radiográficas permitieron mostrar con claridad imágenes del raquis, convirtiéndose en el procedimiento rey para la valoración de la deformidad escoliótica. Sin embargo, como refiere Rang en su libro “The Story of Orthopaedics”², con las técnicas radiográficas la visión tridimensional de la escoliosis dejó paso a la bidimensional aportada por los rayos X, produciéndose una pérdida conceptual con el cambio.

En 1935, Lippman describió el método de Cobb que usó en un estudio multicéntrico realizado en 1941. Sin embargo, fue Cobb quien popularizó la técnica durante un celebrado en 1948. El método de Ferguson, algo más precoz, data de 1920².

Posteriormente, se desarrollaron diferentes sistemas con el objetivo de cuantificar la deformidad del tronco, y más concretamente su asimetría, en un intento de caracterizar mejor la deformidad utilizando técnicas no invasivas. Entre estos sistemas, los más populares son la topografía de Moiré y el sistema ISIS (Integrated Shape Investigation System)

Después de esta breve introducción histórica, se referirán las principales técnicas que sirven para obtener información sobre la deformidad escoliótica. Para ello, se va a seguir la clasificación, en métodos directos e indirectos, utilizada por el Instituto de Biomecánica de Valencia en su libro sobre Biomecánica del raquis y sistemas de reparación⁴¹.

3.1 MÉTODOS DIRECTOS

Se consideran métodos directos a todas aquellas técnicas que suponen una interacción directa entre el equipamiento (radiación o captadores) y el sujeto.

3.1.1 RADIOGRAFÍA

Con la ayuda de las radiografías se consigue el diagnóstico de la etiología y tipo de deformidad vertebral. Esta documentación comporta la evaluación de las curvaturas en términos de localización, magnitud y flexibilidad, así como una valoración de la madurez del sujeto.

En la evaluación inicial del paciente escoliótico, se debe realizar una radiografía de la columna en proyección posteroanterior, con el individuo en

bipedestación, y radiografías laterales si se sospecha la presencia de anomalías. Las radiografías con inclinación del tronco hacia la derecha y la izquierda valoran la flexibilidad de la curva.

Los pacientes con riesgo de progresión de la escoliosis precisan estudios de seguimiento radiográfico. Debido a que la dosis de radiación absorbida por el organismo se acumula durante la vida del paciente, se deben tomar medidas para minimizar la exposición a las radiaciones ionizantes⁴². Estas medidas incluyen:

- Exposiciones posteroanteriores en lugar de anteroposteriores
- Mejoras en las técnicas radiográficas con la utilización de películas de gran sensibilidad y colimación del haz de rayos.
- Diseño de nuevas técnicas no invasivas para el diagnóstico, valoración y seguimiento de la escoliosis que nos permitan disminuir el número de exploraciones radiográficas.

A continuación se describirán las principales mediciones radiográficas utilizadas para la valoración del paciente escoliótico, agrupándolas según su utilidad clínica.

A. MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DEL VALOR ANGULAR DE LA FLEXIÓN LATERAL

Los métodos más habituales para la medición de curvas son los descritos por Cobb y Ferguson. Ambos métodos utilizan una metodología diferente y, por lo tanto, sus medidas no son comparables.

- a) **Método de Fergusson:** este método descrito por Fergusson en 1936², consiste en trazar líneas desde el centro de las vértebras límite superior e inferior, de la curva, al centro de la vértebra apical, midiendo el ángulo de intersección de las líneas (Figura 1.5).



Figura 1.5: Método de Fergusson.

- b) **Método de Cobb-Lippman**⁴³: es el método recomendado por el Comité de Terminología de la Sociedad para la Investigación de la Escoliosis (*Scoliosis Research Society*). Su reproductibilidad depende de la correcta determinación de las vértebras que marcan los extremos superior o inferior de la curva. Las últimas vértebras de los límites superior e inferior, son aquellas que se inclinan más hacia la concavidad. En otras palabras, la vértebra que marca el extremo superior es la última vértebra cuyo borde superior se inclina hacia la concavidad de la curva que se va medir. La vértebra que marca el extremo inferior es la última cuyo borde inferior se inclina hacia la concavidad de la curva. Primero, se trazan líneas horizontales en el

borde superior de la vértebra del extremo superior y en el borde inferior de la vértebra del extremo inferior. Luego se trazan líneas perpendiculares desde cada una de las líneas horizontales y se miden los ángulos de intersección (Figura 1.6).



Figura 1.6: Método de Cobb-Lippman.

Según el valor del ángulo de Cobb resultante la *Scoliosis Research Society* establece 7 grupos formados por intervalos de ángulos de Cobb (Tabla 1.5).

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7
0°-20°	21°-30°	31°-50°	51°-75°	76°-100	101°-125°	>125°

Tabla 1.5: Clasificación en grupos según el ángulo de Cobb de la *Scoliosis Research Society*

A pesar de que el ángulo de Cobb es el más ampliamente utilizado para caracterizar la curva escoliótica, el método citado no está exento de inconvenientes:

- El ángulo de Cobb, de forma aislada no proporciona una idea completa de la deformidad, por lo que es necesario registrar otros datos como el número de vértebras implicadas, localización de las vértebras apicales, rotación vertebral de las mismas.
- Como hemos visto antes, un incremento en el ángulo de Cobb de 5° se considera indicativo de progresión de la curva. Esto es así porque este valor se considera suficiente para eliminar el error, tanto intrínseco, como extrínseco, en la medición del citado ángulo. Sin embargo Kehl y Morrissy⁴⁴ obtienen un error intraobservadores de 5° a 6° y de 7° a 8° en el error interobservadores. El error extrínseco producido por la técnica radiográfica, la posición del paciente y la hora del día, alcanza valores de 2° a 11° ⁴⁵ . Por lo tanto, aunque algunos de estos factores pueden ser controlados, nos obligan a cuestionar la utilidad del valor de 5° como indicador de progresión.
- Otra limitación del ángulo de Cobb viene dada por la proyección radiográfica. En las grandes curvas cifoescolioticas la radiografía anteroposterior estándar no representa la verdadera magnitud de la curva, ya que la rotación vertebral que la acompaña impone un

error de medida. Para evitar este efecto, se recurre a una proyección en desrotación de la columna vertebral (o plano de elección de Stagnara)⁴⁶ (Figura 1.7).

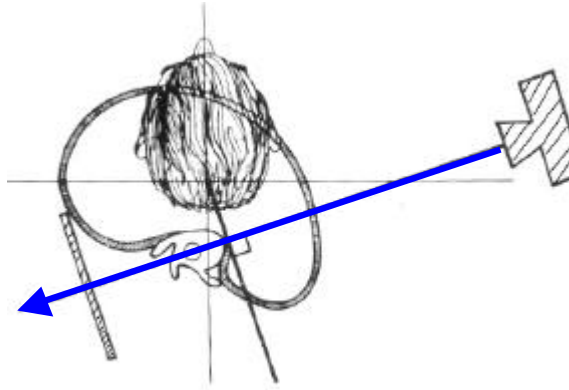


Figura 1.7: Proyección para las grandes curvas cifoescolióticas. De Lonstein⁴⁶, modificada

B. MÉTODOS PARA EVALUAR EL GRADO DE ROTACIÓN VERTEBRAL

Existen numerosos métodos diseñados con el objetivo de medir la rotación vertebral en el paciente escoliótico, sin embargo no se ha establecido ninguno de ellos como universal.

Cobb en 1948 describió el primer método consistente en la localización relativa del extremo de las apófisis espinosas respecto al cuerpo vertebral. Se trata de un método bastante simple pero muy impreciso, por lo que carece de utilidad en la práctica médica. A continuación vamos a ver los métodos de uso más extendido:

a) **Método de Nash y Moe⁴⁷:**

Este método utiliza la sombra de los pedículos para medir la rotación vertebral clasificándola en cuatro grados (Figura 1.8):

- Grado 0: Las sombras del pedículo son simétricas y equidistantes de los lados de los cuerpos vertebrales.
- Grado I: La sombra del pedículo se separa del lado del cuerpo vertebral.
- Grado II: El pedículo se encuentra desplazado hacia la línea media, localizándose en el segundo tercio.
- Grado III: La sombra del pedículo se encuentra en la línea media del cuerpo vertebral.
- Grado IV: La sombra del pedículo está más allá del centro del cuerpo vertebral.

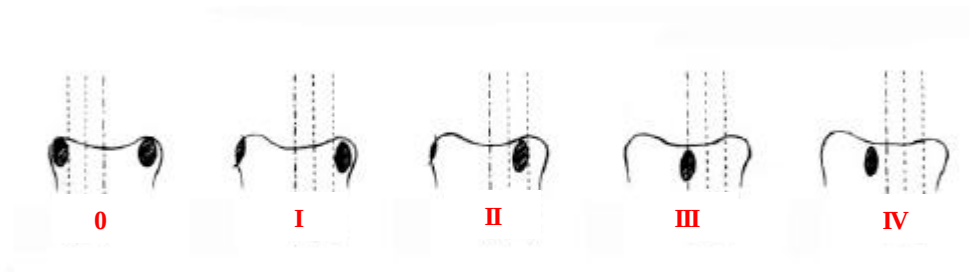


Figura 1.8: Evaluación de la rotación vertebral según el método de Nash y Moe. De Lonstein⁴⁶, modificada.

b) **Método de Pedriolle-Vidal⁴⁶**

Los autores de este método diseñaron un torsiómetro (Figura 1.9) con el objetivo de cuantificar el ángulo de torsión de la vértebra apical.

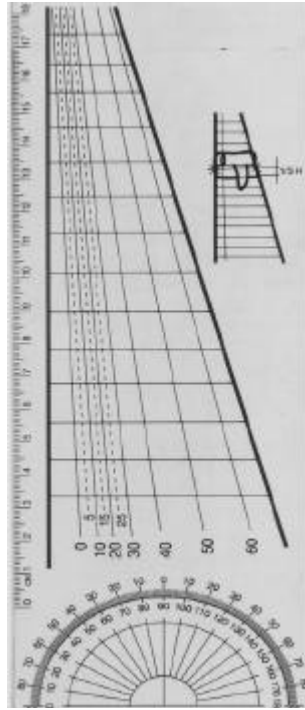


Figura 1.9: Torsiómetro según Pedriolle

Este instrumento es una regla que permite medir los grados de rotación vertebral considerando el desplazamiento del pedículo del lado convexo de la curva, tal como se observa en la radiografía anteroposterior en bipedestación.

Para realizar la medición (Figura 1.10), se marca en la radiografía el eje mayor del pedículo de la convexidad y los bordes laterales del cuerpo vertebral. Posteriormente se coloca el torsiómetro sobre la placa, haciendo coincidir los bordes laterales de la vértebra con los márgenes externos del mismo. El ángulo de rotación se corresponde con la medida indicada por la línea del torsiómetro que coincida con el eje mayor del pedículo, trazado sobre la radiografía. El ángulo de torsión es el ángulo de rotación de la vértebra apical.

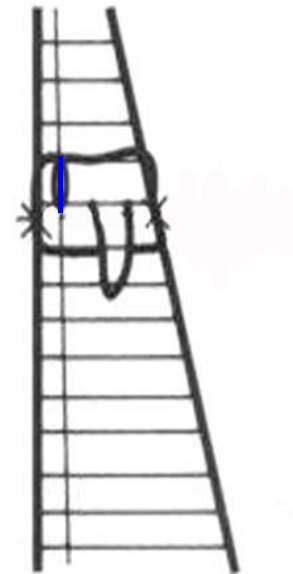


Figura 1.10: Método de Pedriolle de medición de la rotación vertebral

La medición de la rotación vertebral a partir de la radiografía estándar continúa suponiendo un problema en la actualidad por las siguientes razones:

- La exactitud de las medidas de la rotación vertebral a partir de la radiografía posteroanterior depende también de la geometría vertebral.
- La estimación de la rotación vertebral es muy sensible a errores en la localización de los pedículos y el centro del cuerpo vertebral.

C. MEDICIÓN DEL ÁNGULO COSTOVERTEBRAL O ÁNGULO DE MEHTA²⁶

El ángulo costo-vertebral (ACV) se mide trazando una línea perpendicular al centro del cuerpo vertebral y otra por el centro del cuello y la cabeza de la correspondiente costilla. El ángulo formado por la intersección de estas líneas es el ACV. La diferencia de ángulo costovertebral (DACV) es la diferencia entre los valores de los ACV de los lados cóncavo y convexo de la curva (Figura 1.11).

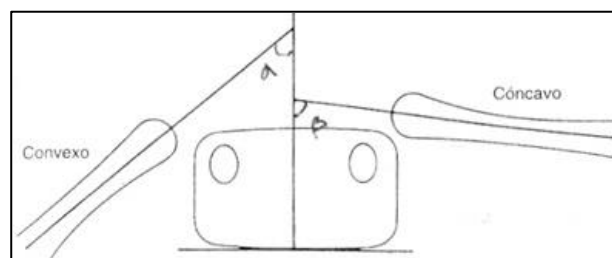


Figura 1.11: Medición del ángulo costovertebral o ángulo de Mehta. De Lonstein⁴⁶, modificada

Mehta observó que la DACV era constantemente mayor en las escoliosis idiopáticas infantiles progresivas, estableciendo que una DACV inicial de 20° o más es indicativo de progresión mientras no se demuestre lo contrario.

D. VALORACIÓN DEL POTENCIAL DE CRECIMIENTO

Se presenta el método de Risser³⁵ porque por su sencillez, es el que ha sido más ampliamente utilizado.

El citado método se basa en la osificación progresiva de la epífisis de la cresta iliaca que comienza lateralmente en la espina iliaca antero-superior y se desarrolla en dirección postero-medial hacia la espina iliaca postero-inferior.

Si dividimos la cresta iliaca en 4 partes iguales, podemos distinguir 6 fases de madurez (Figura 1.12)

Risser 0: El desarrollo de la epífisis iliaca todavía no ha comenzado.

Risser 1: Desarrollo del 25%.

Risser 2: Desarrollo del 50%.

Risser 3: Desarrollo del 75%.

Risser 4: Desarrollo completo

Risser 5: Fusión del iliaco.

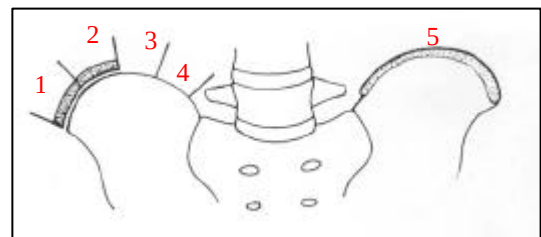


Figura 1.12: Método de Risser. De Lonstein⁴⁶, modificada

Se considerará una curva como adulta cuando el Risser es de 4, en el caso de las mujeres, y de 5, en los hombres.

3.1.2 TAC

En la tomografía axial computerizada son escaneadas con rayos X, superficies de pequeño espesor, transversales al eje longitudinal del segmento. Se ha utilizado para el estudio de malformaciones vertebrales, y también para la determinación de la rotación vertebral y las deformidades de la caja torácica. Es una técnica muy precisa, cara y en estudios evolutivos de la escoliosis, representaría una irradiación excesiva para los pacientes.

3.1.3 RMN

Esta técnica presenta una serie de ventajas e inconvenientes que la hacen útil solamente en determinados casos.

I. Ventajas:

- El paciente no es expuesto a radiaciones ionizantes
- Se trata de una técnica no invasiva.
- Ofrece una excelente identificación de las partes blandas

II. Inconvenientes:

- Supone un coste elevado
- La presencia de metales dificulta la realización de la técnica
- No se visualizan netamente las estructuras óseas.

III. Indicaciones: El uso de la RMN estaría indicado en pacientes en los que se detectan anomalías estructurales en la radiografía simple, escoliosis de inicio temprano, progresión rápida de la magnitud de la curva, signos y síntomas neurológicos, síndromes asociados y curvas torácica o toracolumbar con ápice izquierdo.

3.2 MÉTODOS INDIRECTOS

Dentro de este apartado se introducen un conjunto de técnicas cuya característica fundamental es la inocuidad, haciendo hincapié únicamente en aquellas que utilizan una imagen, en este caso, de la morfología de la espalda para obtener la información deseada (técnicas ópticas)

En los últimos 20 años se ha observado un desarrollo de los métodos indirectos, sobre todo en el ámbito del diagnóstico precoz, aunque también en la

valoración inicial de la deformidad de la superficie de la espalda y el seguimiento de la misma durante el tratamiento. Este desarrollo se debe fundamentalmente al objetivo de disminuir el número de exploraciones radiográficas que se realizan a los pacientes para el diagnóstico y seguimiento de la escoliosis^{48,49} y al interés por caracterizar correctamente una deformidad que tiene lugar en los tres planos del espacio y que clásicamente viene definida por el ángulo de Cobb, medido en la radiografía posteroanterior⁵⁰. Además de esto, no se debe olvidar que la escoliosis es una deformidad del raquis que se manifiesta externamente en la forma de la espalda y que, precisamente esta deformidad estética, es una de las mayores preocupaciones del paciente escoliótico. Debido a que la deformidad externa no depende exclusivamente del ángulo de Cobb, y por lo tanto, éste no es un buen calibrador de la misma, se intenta, mediante la búsqueda de parámetros superficiales, encontrar un sistema para valorar la deformidad estética y su evolución con el tratamiento.

3.2.1 TOPOGRAFÍA DE MOIRÉ

Esta técnica de visualización de formas superficiales se basa en un fenómeno de interferencia producido por las sombras que una malla proyecta sobre la superficie del objeto estudiado, cuando son vistas a través de esa misma malla. Si ésta es lo suficientemente tenue, pasa inadvertida al observador y lo que se hace evidente son unas franjas que tienen un aspecto similar al muaré.

Esta técnica no es novedosa, ya que constituye una modificación de un método utilizado en industria para registrar deformaciones de una pieza sometida a diversas cargas mecánicas.

En 1970, Takasaki⁵¹ utilizó las sombras de Moiré para estudiar la forma del cuerpo humano.

Esta técnica topográfica presenta la ventaja de ser inocua, pero carece prácticamente de utilidad clínica debido a una serie de problemas:

- Dificultad para conseguir una sombra nítida.
- Imposibilidad de distinguir la altura absoluta de dos curvas de nivel si estas no están continuas.
- El posicionamiento del paciente constituye una fuente de error.
- Dificultad de desarrollo de procedimientos automáticos de adquisición de datos a partir de los topogramas.

3.2.2 SISTEMAS DE VÍDEO (FOTOGRAMETRÍA)

En los procesos escolióticos se puede observar una relación entre la asimetría postural que adopta el paciente en estado relajado y el grado de deformidad de la columna. Se utiliza para ello un número variable de marcadores a fin de identificar puntos anatómicos, a partir de los cuales se pretende conocer distancias o ver su variación ante el movimiento. El tipo de marcadores depende del sistema utilizado: reflectantes (sistema de fotogrametría vídeo IBV; ExpertVisión; Peak Video Motion Measurement systems; VICON (Elite Motion Analyser), cromáticos (Videomex X), campos magnéticos (Dao et al, 97), y activos mediante emisores de luz infrarroja (Selspot II Cameras y MULTILab; WATSMART).

La utilidad de estas técnicas se encuentra fundamentalmente en el análisis bidimensional y tridimensional del movimiento del tronco.

3.2.3 SISTEMA ISIS (*INTEGRATED SHAPE INVESTIGATION SYSTEM*)

En este sistema se combinan la técnica de videofotogrametría (sistema VICON) y la digitalización de imágenes de Moiré. Un escáner, compuesto por un proyector giratorio que produce un plano de luz, es deflectado por un espejo y una cámara de televisión que se mueve solidariamente con el proyector, de forma que el sistema, va recorriendo la espalda del paciente. La línea que se forma al ir avanzando el haz de luz sobre la superficie de la piel es registrada en el ordenador. El paciente permanece en bipedestación con marcadores sobre las diferentes apófisis espinosas de las vértebras de la columna. El análisis de la superficie se hace a partir de las curvas transversales de la superficie de la espalda que pasan por esos marcadores.

Uno de los principales objetivos en el desarrollo del sistema ISIS fue encontrar algún parámetro derivado de la técnica que fuese directamente comparable con las medidas clínicas convencionales. El ángulo de Cobb es la medida más utilizada en la práctica clínica para la valoración de la escoliosis con radiografías y la asimetría lateral es el parámetro que el sistema ISIS utiliza para aproximarse al Cobb lo más posible. Turner-Smith y colaboradores⁵² idearon un sistema para localizar el centro de la vértebra a partir de la palpación de la apófisis espinosa y la rotación en la superficie de la piel con el objetivo de localizar la línea de la columna a partir de la superficie de la espalda. Esta presunción presenta los siguientes inconvenientes:

- Se trata de una simplificación de la realidad, ya que la relación entre la rotación vertebral y la producida en la superficie de la piel no ha sido

establecida y además, los cuerpos vertebrales en un raquis escoliótico están a menudo deformados.

- Depende de la buena colocación del marcador por el especialista, lo cual no es tarea fácil en el paciente escoliótico y constituye una fuente de error.

3.2.4 LUZ ESTRUCTURADA (*RASTER-STEREOPHOTOGRAPHY*)

Esta técnica se basa en la proyección sobre la espalda del paciente, de un sistema de luz codificada, con el objeto de conocer las posiciones en 3D de un conjunto de puntos de la superficie a estudio y realizar su reconstrucción por interpolación.

Muchos problemas de robótica⁵³ y medicina⁵⁴ se han resuelto satisfactoriamente, desde el punto de vista de la iluminación, mediante patrones estructurados.

El primer planteamiento propuesto de esta técnica fue el de iluminar la escena con un haz de luz, de forma que a partir del aspecto de la proyección del haz sobre los objetos de la escena se pudiera inferir la forma de su superficie. Así, Agin y colaboradores⁵⁵ describen el uso de un proyector de haz plano sobre la escena. La imagen de la proyección del haz sobre los objetos presentes en ella es registrada y analizada. El haz va siendo desplazado mediante el uso de un espejo giratorio, de modo que va barriendo la escena. No obstante, el proceso es tedioso y sujeto a las imprecisiones mecánicas del movimiento del espejo. Para acelerarlo, se propuso la proyección simultánea de múltiples franjas luminosas, aunque esto dificultaba la identificación de la correspondencia entre la franja detectada en la imagen y su posición en la trama proyectada (indexado). Si por el contrario, el patrón proyectado es una cuadrícula, la indexación recae sobre

los nodos de la red buscando su correspondencia en coordenadas sobre la cuadrícula proyectada. Cuando el problema de la indexación se resuelve, la profundidad en los puntos de la escena iluminada puede calcularse por triangulación.

El objetivo fundamental de esta tesis es la aplicación de la luz estructurada al estudio de las deformidades del raquis y, en concreto, de la escoliosis idiopática. Por esta razón el dispositivo experimental se explicará en el capítulo de material y métodos.

DETECCIÓN PRECOZ

1. INTRODUCCIÓN

Los programas de detección precoz en la escoliosis han sido practicados en Estados Unidos durante más de 30 años. Sin embargo, al igual que otros programas de screening no han escapado a la controversia a cerca de su validez. Numerosos artículos han llegado a la conclusión de que tales programas son dignos de consideración, al mismo tiempo que otros afirman lo contrario. Esto se puede explicar por la aplicación de metodologías diferentes en la realización de los artículos por parte de los autores.

La “*British Orthopaedic Association*” y la “*British Scoliosis Society*”, en 1983, no recomendaron la detección precoz de la escoliosis. Sin embargo, en 1984 la “*American Academy of Orthopaedic Surgeons*” implantó la detección precoz de la escoliosis en cada colegio de Estados Unidos. En 1992 publicaron un documento confirmando su postura. Los “*Preventive Services Task Force*” han revisado las técnicas de screening y han llegado a la conclusión de que no existe evidencia para recomendar el programa de detección precoz de la escoliosis en los controles periódicos, pero tampoco existen razones para excluirlo y por lo tanto, no puede desaconsejarse la inspección de la espalda en los controles de salud⁵⁶.

2. DEFINICIÓN DE SCREENING O DETECCIÓN PRECOZ

El screening se define como la presunta identificación de una enfermedad o defecto por la aplicación de exámenes o pruebas que pueden ser realizados rápidamente. Por lo tanto, los tests de screening tienen como objetivo diferenciar los individuos sanos de los que probablemente tienen la enfermedad. No intentan ser pruebas diagnósticas, ya que los casos con hallazgos sospechosos serán remitidos a su médico para confirmar el diagnóstico e iniciar el tratamiento. Un grupo de los pacientes testados como

patológicos se remitirá para estudio y posteriormente se determinará que son individuos sanos (falsos positivos), y otro grupo, más o menos importante, será detectado como no patológico cuando realmente presenta la enfermedad (falso negativo). Esta última situación es la menos deseable y los programas de screening tienen en general más falsos positivos que negativos.

3. ANÁLISIS DEL *SCREENING* EN LA ESCOLIOSIS

En el análisis de un programa de detección precoz es necesario considerar cinco elementos: conocimientos acerca de la enfermedad estudiada, validez y aceptación del programa de screening, diagnóstico y tratamiento, coste y ética.

3.1 CONOCIMIENTOS SOBRE LA ENFERMEDAD

A cerca de la enfermedad a estudiar, en este caso la escoliosis, es necesario plantearse si se conocen las respuestas a las siguientes cuestiones:

a) ¿En qué momento una curva escoliótica puede considerarse como un problema de salud?

En la actualidad, esta pregunta es de difícil respuesta. Por consenso, se define esta patología como la presencia de una curva mayor de 10° en la radiografía posteroanterior. Sin embargo, esto es muy cuestionable como definición de enfermedad grave, puesto que en muchos casos curvas pequeñas, con ángulo de Cobb entre 10° y 30°, no progresan, permanecen asintomáticas y no requieren tratamiento. Por lo tanto, con un parámetro perfectamente estudiado como es el ángulo de Cobb, es difícil determinar qué pacientes van a presentar una evolución desfavorable de su enfermedad, debido a una falta de conocimientos a cerca de la historia natural de escoliosis.

b) ¿Ha sido determinado cuál es el “valor límite” para considerar un test de screening como positivo?

En el momento actual, se está utilizando el test de Adams en los programas de detección precoz de la escoliosis y se está considerando positivo a todo paciente con asimetría de espalda, dando lugar a un elevado número de falsos positivos.

El escoliómetro introducido por Bunnell es utilizado con el propósito de perfeccionar el test de Adams. El objetivo de este instrumento es cuantificar el ángulo de rotación del tronco. Su efectividad para evaluar la asimetría del tronco ha sido objeto de muchos artículos. Grossman y col.⁵⁷ observaron que el escoliómetro detecta rotación en niños en los que el test de Adams había sido negativo. Sin embargo esta detección de la mínima asimetría es más un problema que un objetivo del screening. Bunnell cambió su recomendación inicial, de valor de referencia de 5° a 7°, en un esfuerzo por disminuir el número de falsos positivos. El precio por realizar este cambio fue un aumento en el número de falsos negativos.

3.2.ACEPTACIÓN Y VALIDEZ DE LOS TESTS DE DETECCIÓN PRECOZ

3.2.1. ACEPTACIÓN

Es evidente que para que un programa de screening sea aplicable, debe ser aceptado por la población a estudio, para lo cual es fundamental que las pruebas utilizadas sean técnicas no invasivas.

3.2.2. VALIDEZ

Otro requisito importante de un test de screening es que debe ser válido. Es decir, que debe diferenciar razonablemente bien los casos sanos de los patológicos. Para determinar la validez de un test se utilizan tres parámetros:

- Sensibilidad: Capacidad para detectar los casos patológicos.
- Especificidad: Facultad para identificar correctamente los individuos sanos.
- Valor predictivo

I. Test de Adams

En el momento actual, es el test más ampliamente utilizado en los programas de detección precoz. El resultado de esta prueba depende de la asimetría de la espalda cuando ésta es observada desde atrás, mientras el paciente flexiona el tronco hacia delante. Sin embargo, y a pesar de su popularidad, no está exento de inconvenientes. Entre otros, se ha demostrado que el grado de rotación costal que produce la asimetría no siempre está correlacionado con el grado de escoliosis. Además, es frecuente observar asimetrías en la espalda de niños en edades escolares sin escoliosis. Estas observaciones nos orientan a cerca del problema que representa el uso del test de Adams en los programas de screening.

a. Sensibilidad y especificidad

Viviani y colaboradores⁵⁸ estudiaron la sensibilidad, especificidad y el valor predictivo del test de Adams. Estos autores encontraron una sensibilidad del 73,9% y una especificidad del 77,8% para curvas mayores de 10°, siendo la sensibilidad del 100% y la especificidad del 91% en las curvas de más de 20°.

b. Valor predictivo positivo.

Sin embargo, no es suficiente conocer la sensibilidad y la especificidad de un test para conocer su utilidad, lo realmente importante es el valor predictivo positivo, es decir, la frecuencia con

la cual un resultado positivo significa enfermedad. Este concepto está estrechamente relacionado con la prevalencia de la patología en la población estudiada, ya que cuanto menor sea ésta, mayor será el número de falsos positivos. La prevalencia de la escoliosis en la población testada es del 2-4% para curvas de 10° o más y es todavía menor si tenemos en cuenta curvas de 20°,30° ó 40°. Williams calculó que si la especificidad y la sensibilidad de un test de detección precoz de la escoliosis fuera del 90%, objetivo no alcanzado con los actuales, por cada niño que tuviera escoliosis serían remitidos para estudio 6 sin enfermedad.

Viviani y colaboradores⁵⁸ llegaron a la conclusión de que si consideramos la prevalencia de la escoliosis como 4%, el 12,4% del total de casos referidos para estudio presentaría una escoliosis de 10° o más. El resultado de este bajo valor predictivo positivo es el elevado número de niños remitidos para valoración sin escoliosis. Lonstein⁵⁹ afirma que del 3,4% de los niños examinados con el test de Adams y remitidos para confirmar el diagnóstico de sospecha, únicamente el 1,2% presentan curvas de 5° o más. En su revisión Morais³ halló que, del total de casos testados como patológicos en el test de Adams, el 42,8% presentaban una escoliosis idiopática, el 37% eran individuos sanos y el resto sufrían otras patologías. Además, el 58,2% de las curvas detectadas fueron menores de 10°.

II. Escoliómetro

El escoliómetro introducido por Bunnell es un instrumento desarrollado para perfeccionar el test de Adams. Su objetivo es identificar y cuantificar, mediante el “ángulo de rotación del tronco”, la asimetría observada en el test de Adams.

a. Sensibilidad, especificidad y valor predictivo positivo.

Cote y colaboradores⁶⁰ estudian estos tres parámetros, comparando el escoliómetros con el test de Adams. Concluyen que el test de Adams es más sensible que el escoliómetro. Sin embargo, éste es más específico, dado lugar a una baja proporción de falsos positivos. Por lo tanto, el valor predictivo positivo del escoliómetro es superior al del test de Adams.

3.3.DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO

3.3.1. DIAGNÓSTICO

En el momento actual el test de Adams y el escoliómetro no aportan suficiente información y fiabilidad como para prescindir del uso de la radiografía en todos los casos con hallazgos físicos. Por lo tanto, el 89% de los niños detectados como positivos serán sometidos a una exploración radiográfica⁶¹

3.3.2. TRATAMIENTO

Según algunos autores⁶¹, con las técnicas de screening actuales el porcentaje de pacientes remitidos para estudio que precisarán tratamiento es del 0,14% al 0,041%. Es decir, que de los pacientes estudiados tras el screening, un pequeño porcentaje precisará un tratamiento específico y el resto únicamente

requerirá controles periódicos o serán considerados como no patológicos, siendo dados de alta.

3.4.COSTE

El coste del screening, diagnóstico y tratamiento debe ser razonable, cuando se compara con el coste del tratamiento aplicado cuando es diagnosticada la patología de forma habitual. En el momento actual, se carece de datos fiables y los costes varían considerablemente de unos artículos a otros dependiendo de los factores incluidos como gastos.

3.5.ÉTICA

Evidentemente el programa de screening no debe ser perjudicial para el grupo de población estudiada. Sin embargo, este concepto no es tan simple y se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones. En el contrato médico habitual, el paciente acude al médico porque presenta un problema de salud. Sin embargo cuando se trata de un test de screening, el paciente, que en ese momento carece de sintomatología, no es el que acude al médico sino al revés. Tras realizársele el test de detección precoz, se le informa sobre de la probabilidad de padecer o no una determinada enfermedad. Si son verdaderos positivos, recibirán el tratamiento indicado en cada caso. Si son falsos positivos, sufrirán un perjuicio, debido a la ansiedad que les puede haber provocado la sospecha de padecer una enfermedad. Si son falsos negativos, también sufrirán un perjuicio, porque tendrán una falsa sensación de seguridad sobre el buen estado de su salud que puede producir un retraso en el diagnóstico. Por lo tanto, las pruebas de detección precoz deben ser valoradas cuidadosamente, desde el punto de vista ético, antes de ser aplicados.

CAPITULO 2: OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE TRABAJO

Como se ha visto en la introducción, la escoliosis es una deformidad vertebral frecuente y de gran importancia social. Afecta con más frecuencia a adolescentes del sexo femenino, produciendo una deformidad del tronco que puede originar verdaderos problemas psicológicos y, en los casos graves, también cardiorrespiratorios. Es una enfermedad potencialmente progresiva, que afecta a los niños durante la fase de crecimiento rápido y suele estabilizarse con la madurez ósea. A pesar de los esfuerzos realizados, la etiología de la escoliosis sigue siendo desconocida en la mayoría de los casos, por lo que no es posible prevenir su aparición. De ahí la importancia del diagnóstico precoz de esta patología, ya que esto nos permite iniciar el tratamiento lo más rápida y eficazmente posible, con el objetivo de evitar las complicaciones asociadas a la evolución de la escoliosis.

En los últimos años, se ha observado un desarrollo de los métodos indirectos, aplicados al estudio de las deformidades del raquis y, fundamentalmente, de la escoliosis. Esto es debido a varias razones. Por un lado, al interés por disminuir el número de exploraciones radiográficas necesarias para el diagnóstico inicial y la monitorización del tratamiento. Por otro lado, las técnicas basadas en el estudio de la superficie de la espalda están adquiriendo relevancia, por su potencial para caracterizar la deformidad escoliótica que tiene lugar en los tres planos del espacio y que, sin embargo, viene siendo representada de forma habitual por el ángulo de Cobb medido en la radiografía anteroposterior. Además de esto, la escoliosis es una deformidad del raquis que se manifiesta en la forma de la espalda y que, precisamente esta deformidad estética, es una de las mayores preocupaciones del paciente escoliótico, por lo que existe un creciente interés por encontrar sistemas de cuantificación de la misma basados en el estudio de la forma de la espalda.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo fundamental la puesta a punto, para su utilización clínica, de un nuevo método no invasivo, basado en la luz estructurada, aplicado al estudio de la deformidad escoliótica. Con este fin, se han determinado, a partir de la imagen topográfica, parámetros cuantificadores de la deformidad externa y se han elaborado las siguiente hipótesis de trabajo:

- A partir de la imagen topográfica es posible establecer parámetros anatómicos y topográficos correlacionados con la deformidad vertebral.
- La determinación de estos parámetros, según la técnica propuesta, en dos imágenes consecutivas del sujeto en una misma sesión, es lo suficientemente reproducible para su utilización en la práctica médica.
- La variabilidad intraobservador e interobservador de los parámetros elaborados a partir de la imagen topográfica del sujeto no debe ser significativa.
- Con la aplicación de la técnica objeto de este trabajo es posible elaborar unos criterios de normalidad, sospecha y certeza de enfermedad escoliótica.

CAPITULO 3: MATERIAL Y MÉTODO

El estudio se llevó a cabo en el Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Clínico Universitario de Valencia y en la Unidad de Biofísica del Departamento de Fisiología de la citada Universidad

Todos los sujetos incluidos en el presente trabajo de investigación fueron informados sobre el mismo y dieron el consentimiento para su participación.

1. POBLACIÓN ESTUDIADA

1.1. SUJETOS PATOLÓGICOS

Se incluyeron un total de 28 pacientes de edades comprendidas entre los 7 y los 40 años. 7 fueron hombres y 21 mujeres. El Índice de Masa Corporal (IMC) fue superior a 30 en 5 casos.

1.1.1. PROCEDENCIA, CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

- **Procedencia:** Consultas Externas del Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Clínico Universitario de Valencia.
- **Criterios de inclusión**
 - Escoliosis idiopática juvenil (5 casos)
 - Escoliosis idiopática del adolescente (21 casos)
 - Escoliosis idiopática del adulto (2 casos)
- **Criterios de exclusión**
 - Pacientes postquirúrgicos: se excluyeron los casos con escoliosis idiopática sometida a tratamiento quirúrgico previamente a la realización del estudio.

1.2. SUJETOS SIN ESCOLIOSIS

Se incluyeron 48 individuos con una edad comprendida entre los 8 y los 39 años. 21 hombres y 27 mujeres. El Índice de Masa Corporal (IMC) fue superior a 30 en 2 de los casos.

1.2.1. PROCEDENCIA, CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

- **Procedencia:**

- Consultas Externas del Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología (COT) del Hospital Clínico Universitario de Valencia (HCUV) donde habían sido valorados radiográficamente por diferentes motivos.
- Estudiantes del 2º curso de la Facultad de Medicina y Odontología de Valencia de los cursos 2000-2001 y 2001-2002. Estos casos fueron explorados clínicamente.

- **Criterios de inclusión:**

- En los casos con estudio radiográfico:
 - Ángulo de Cobb entre 0º y 10º.
- En los casos con valoración clínica:
 - Ausencia de hallazgos en la exploración física.

- **Criterios de exclusión:**

- En los casos con estudio radiográfico:
 - Se excluyeron del estudio aquellos pacientes que, aún presentando ángulos de Cobb normales, asociaban otro tipo de patología del raquis (deformidades en el plano axial, espondilolisis..)
- En los casos con valoración clínica:
 - Antecedentes de patología raquídea
 - Giba $>1\text{cm}$ ó $>5^\circ$

2. VALORACIÓN CLÍNICA

La valoración clínica se centró en determinar la presencia de:

- Asimetrías del tronco, por medio del test de Adams y el escoliómetro
- Dismetrías de miembros inferiores

3. VALORACIÓN RADIOGRÁFICA

Sobre la radiografía posteroanterior del raquis, tomada con el paciente en bipedestación, fueron analizados los siguientes factores:

3.1. TIPO DE CURVA

Se utilizaron dos clasificaciones, la clasificación de King para las escoliosis torácicas y la de Ponseti.

3.1.1. CLASIFICACIÓN DE PONSETI

TIPO	Torácica	Lumbar	Doble Curva	Tóraco-Lumbar	Torácica Doble	Cérvico-Torácica
CASOS	7	4	12	4	1	0

Tabla 3.1: Distribución de casos siguiendo la clasificación de Ponseti

3.1.2. CLASIFICACIÓN DE KING

TIPO	I	II	III	IV	V
CASOS	7	6	8	4	1

Tabla 3.2: Distribución de casos siguiendo la clasificación de King

3.2. VALOR ANGULAR DE FLEXIÓN LATERAL

El valor angular de la flexión lateral del raquis se determinó con el ángulo de Cobb. Se aplicó la siguiente clasificación en grupos del ángulo de Cobb basada en el ángulo de Cobb principal, que es una modificación de la utilizada por la *Scoliosis Research Society*.

GRUPO	1 (10° y $<20^\circ$)	2 (20 y 30)	3 (30-50)	4 >50
CASOS	5	6	11	6

Tabla 3.3: Distribución de frecuencias para grupos de ángulo de Cobb según la *Scoliosis Research Society*

3.3. GRADO DE ROTACIÓN VERTEBRAL

El grado de rotación vertebral se cuantificó con el método de Pedriolle-Vidal y se establecieron intervalos con el siguiente número de casos en cada uno:

Rotación vertebral	$<10^\circ$	10° - 20°	20°
CASOS	12	11	5

Tabla 3.4: Distribución de frecuencias para grupos de rotación vertebral

4. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

4.1. UBICACIÓN DEL LABORATORIO

El laboratorio se encuentra en Unidad de Biofísica de la Facultad de Medicina y Odontología de Valencia situada junto al Hospital Clínico Universitario de Valencia.

4.2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS

I. Sistema de adquisición de imágenes

– Cámaras

En esta tesis se experimentó la técnica de luz estructurada realizando reconstrucciones de la superficie de la espalda de individuos sanos y patológicos. Se ha utilizado para ello dos cámaras como sistemas de captura de imágenes a lo largo de todo el trabajo:

- Cámara CCD (Sony SSC_MB70CE) monocroma con resolución de 512x512 píxeles.
- Cámara de vídeo (S-VHS Movie NV-MS1EP) a color con resolución de 576x768 píxeles.

Ambas cámaras utilizaban un sistema de barrido y codificación de señal de vídeo PAL.

- Tarjetas de captura

Se usaron dos tarjetas de captura de imagen pertenecientes ambas a Matrox Systems Ltd. Canada:

- Tarjeta gráfica PIP-1024B que adquiere imágenes monocromas
- Tarjeta gráfica METEOR que adquiere imágenes en color

- Proyector

Se utilizó un proyector de diapositivas KODAK EKTALITE 2000 con una lente de distancia focal variable (12,5-75mm).

II. Sistema de procesamiento

Para el procesamiento de las imágenes se utilizó un ordenador PC PENTIUM II a 300 MHz y 128 MB de RAM.

III. Sistema de visualización

Las imágenes almacenadas se visualizaron a través de un monitor que recogía la señal analógica que codifica el conversor digital analógico de la tarjeta de captura. Los resultados del proceso fueron monitorizados mediante la tarjeta interna del ordenador (Matrox millennium AGP 4 MB)

IV. Software

Todos los programas de análisis han sido desarrollados en lenguaje *Object Pascal*, a través del entorno visual *Delphi 2.0* (Borland internacional Inc, USA).

4.3. DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN SUPERFICIE DE LA ESPALDA MEDIANTE LUZ ESTRUCTURADA^{62, 63}

4.3.1. FUNDAMENTO TEÓRICO

El procedimiento de determinación de la “función superficie” se basa en el análisis del cambio de forma de una red proyectada sobre la espalda del sujeto, debido a la topografía de su superficie (Figura 3.2)

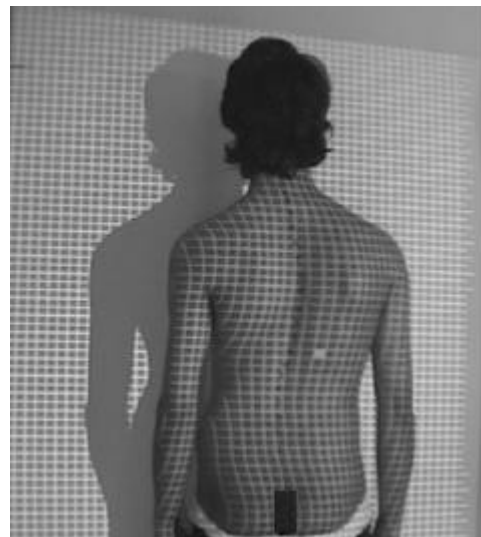


Figura 3.2: Alteración de las líneas sobre la superficie de la espalda

La proyección de la red se analiza en tres situaciones diferentes (Figura 3.2) con dos finalidades distintas:

- **Calibración del sistema:**
 - *Red delantera:* La red se proyecta sobre una pantalla blanca situada por delante de donde se ubicará el sujeto (Figura 3.3A)

- *Red trasera*: La red es proyectada sobre esta misma pantalla, pero desplazada hacia atrás una distancia suficiente para que el sujeto a estudiar pueda situarse entre la red delantera y la nueva posición. A este espacio entre los dos planos se le denomina “espacio de calibrado” (Figura 3.3B)
- **Captura de la imagen objeto para su posterior análisis:**
 - *Red objeto*: La red es proyectada sobre la espalda del paciente que se encuentra apoyado en la pantalla (Figura 3.3C)

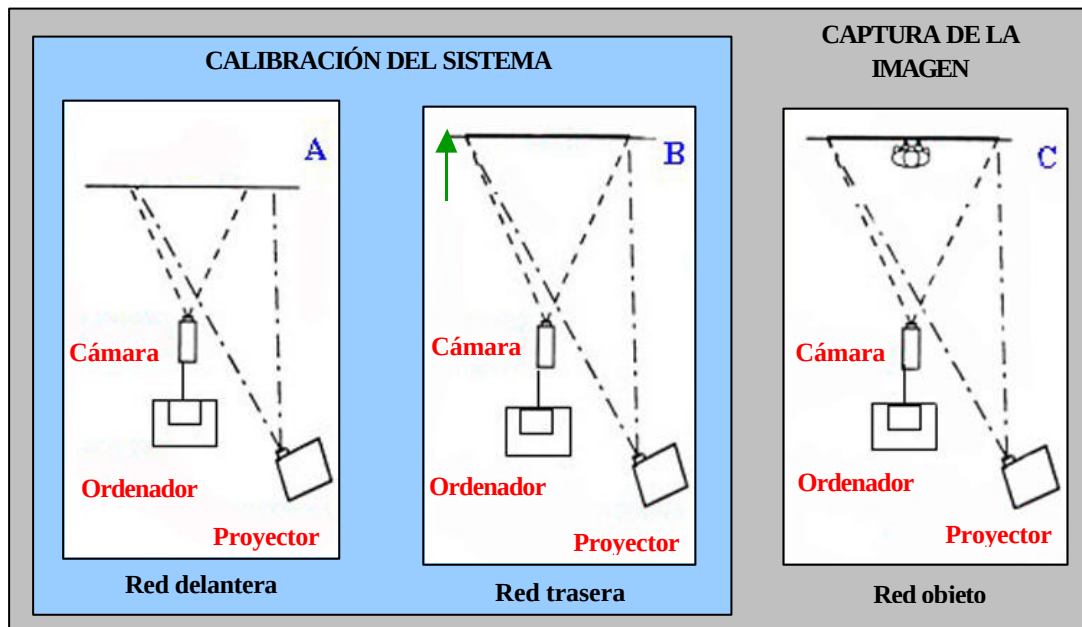


Figura 3.3: Esquema del dispositivo experimental utilizado para la proyección de la red y la correspondiente captación de imágenes

Un dato a tener en cuenta es que, en cada sesión, únicamente es necesario realizar la calibración del sistema al inicio. Adicionalmente, puede utilizarse esta misma calibración en sesiones sucesivas, siempre que no se modifiquen las posiciones de los diferentes elementos (cámara, ordenador y proyector de diapositivas)

Las redes delantera y trasera permiten establecer las rectas de propagación de los rayos luminosos, sobre la base de la distinta ubicación que presentan los nudos (cruce de líneas de la red) en las dos posiciones A y B de la pantalla.

Por otra parte, la red objeto contiene, en la posición de sus nudos, la información de la distancia existente entre el plano trasero y los puntos de la superficie del objeto, de acuerdo con el siguiente planteamiento (Figura 3.4):

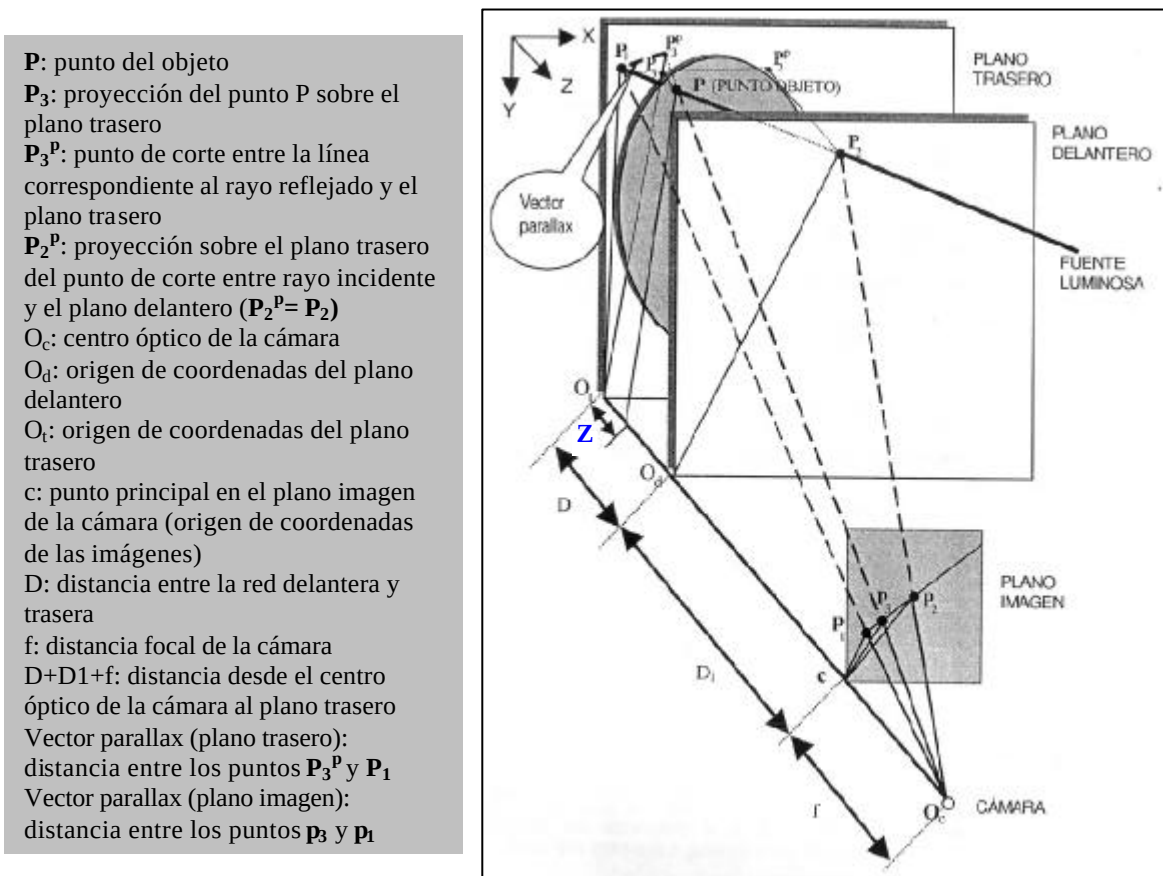


Figura 3.4: Representación de los puntos de corte de un rayo de luz con el plano delantero la superficie del objeto y el plano trasero. Además, aparecen las posiciones de los puntos de corte reflejadas sobre el plano imagen.

Si proyectamos desde la fuente luminosa (objetivo del proyector) una haz de luz, como se observa en la figura 3.4, los puntos de corte de esta línea con el plano delantero, la superficie del objeto y el plano trasero, corresponden respectivamente a

las posiciones $\mathbf{P}_2$, $\mathbf{P}$ y $\mathbf{P}_1$, que la cámara recoge en los puntos alineados sobre el plano imagen $\mathbf{p}_2$, $\mathbf{p}_3$ y $\mathbf{p}_1$.

Por medio de la “semejanza de triángulos”, siguiendo la figura 3.3, es posible despejar “ Z ” (distancia entre el punto en que incide el rayo en el objeto y su proyección sobre el plano trasero) en función de las posiciones en el plano imagen de la cámara ($\mathbf{p}_2$, $\mathbf{p}_3$ y $\mathbf{p}_1$) y de las distancias entre los puntos imagen delantero y trasero ($D+D_1+f$) (Expresión 3.1)

$$Z = \frac{D \cdot k \cdot (\mathbf{p}_3 - \mathbf{p}_1)}{(\mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1) + (k - 1)(\mathbf{p}_3 - \mathbf{p}_1)}$$

Expresión 3.1

Donde, (Expresión 3.2)

$$k = \frac{(D + D_1 + f)}{(D_1 + f)}$$

Expresión 3.2

y, (Expresión 3.3)

$$k - 1 = \frac{D}{(D_1 + f)}$$

Expresión 3.3

El valor de k puede determinarse conociendo los valores reales de una distancia medida sobre el plano trasero y su correspondiente en el plano delantero (en la práctica se realiza la medición de 11 cuadros de la red en los citados planos).

La fórmula permite obtener la coordenada de “Z” de cada punto de la imagen sin necesidad de conocer la geometría de proyección de la luz estructurada. Y con independencia de las unidades en que se midan las distancias sobre el plano imagen (en nuestro caso, al estar las imágenes digitalizadas, se tratará de píxeles).

4.3.2 TRATAMIENTO DIGITAL DE LA IMAGEN

Para la determinación automática de la función superficie, las imágenes fueron tratadas con un software desarrollado para ello y cuyas fases se esquematizan a continuación. Dado que uno de los principales problemas en este proceso es el establecimiento de la correspondencia entre los nudos, hicimos una marca en la red que, por tanto, fue identificable en todas las proyecciones (Figura 3.5: A ; B).

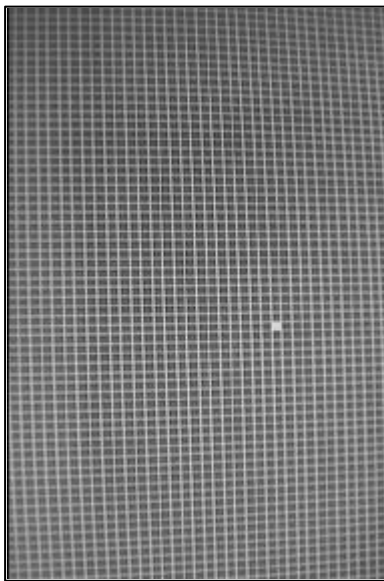


Figura 3.5 A: Red delantera

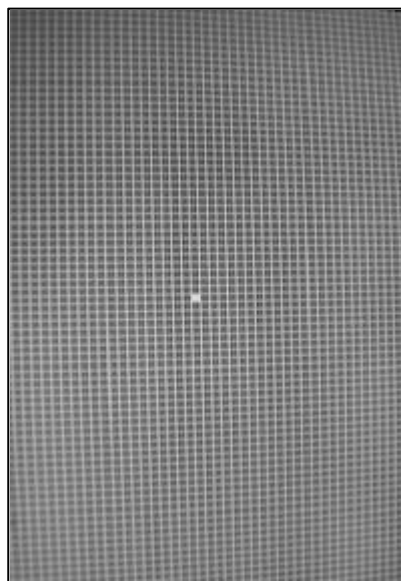


Figura 3.5 B: Red trasera

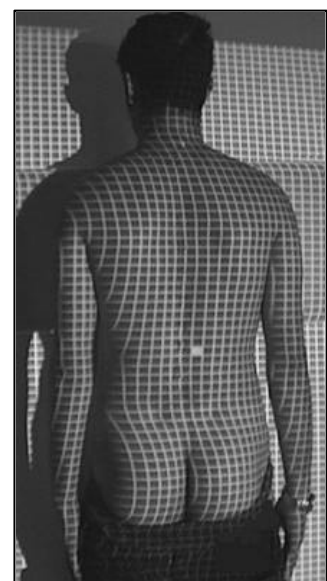


Figura 3.5 C: Imagen capturada

I. Procesado: En primer lugar se realiza la detección de una marca consistente en que uno de los cuadros de la red proyectada está lleno, localizándose en una zona cercana al centro del objeto y que será fundamental en la identificación de los nudos (Figura 3.5 C). Esta detección se debe realizar en las tres

imágenes, las dos correspondientes al plano delantero y trasero y la del objeto, quedándonos con las coordenadas del nudo superior izquierdo de la misma y eliminándola para que no afecte al proceso posterior (Figura 3.6)

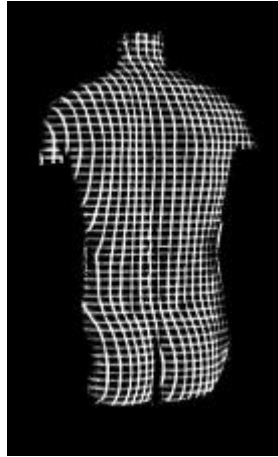


Figura 3.6: Imagen normalizada, sin la marca

Sobre esta imagen (Figura 3.6), que ya ha sufrido un proceso de normalización (blanco/negro) para igualar la iluminación de las distintas zonas, se puede proceder a la esqueletización de las líneas horizontales y verticales, reduciéndolas al espesor de un pixel (Figura 3.7 A y B).



Figura 3.7 A: Esqueletización de las líneas horizontales

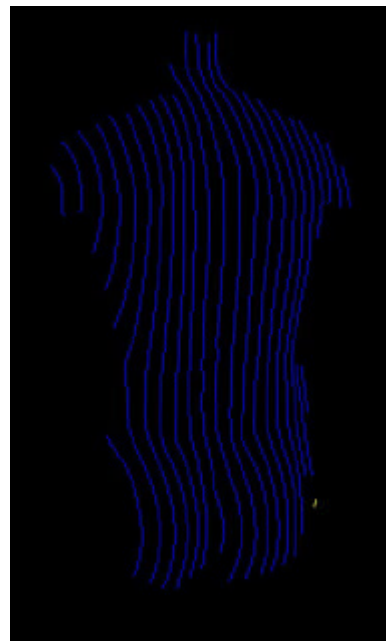


Figura 3.7 B: Esqueletización de las líneas verticales

II. Localización de los nudos: Se diseñó un algoritmo específico para la localización de nudos, basado en que cada nudo debe ser la confluencia de, al menos, tres líneas (Figura 3.8)

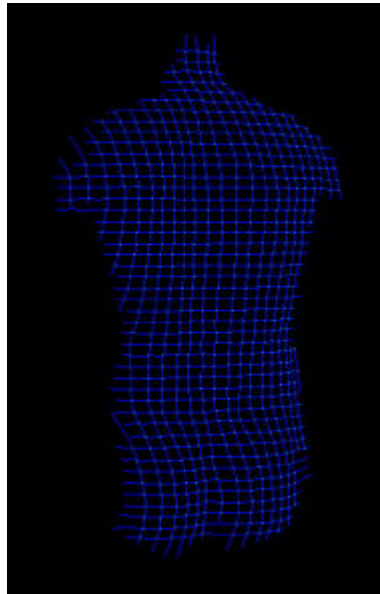


Figura 3.8: Localización de los nudos

III. Correspondencia entre nudos: Como se tiene almacenada la posición del punto superior izquierdo de la marca, se estableció éste como nudo número 1. Seguidamente, simultáneamente en las tres imágenes esqueletizadas, se recorrieron las redes siguiendo las líneas en el mismo sentido, haciendo corresponder los nudos equivalentes.

IV. Cálculo de z : Una vez establecida la correspondencia, se aplicó la expresión 3.1 a cada uno de los tríos de nudos para tener los correspondientes valores de z . Las profundidades de los puntos intermedios a los nudos se obtuvieron por una interpolación entre éstos. Los valores se almacenan en un archivo, que constituyó la función superficie de la espalda del sujeto.

V. Análisis: Los datos almacenados nos permitieron identificar variables de interés médico, obtener un mapa topográfico, bien sea con curvas de nivel o en

seudocolor (Figura 3.9), realizar reconstrucciones en tres dimensiones (Figura 3.10) e incluso visualizaciones desde distintas perspectivas de la espalda (Figura 3.11).

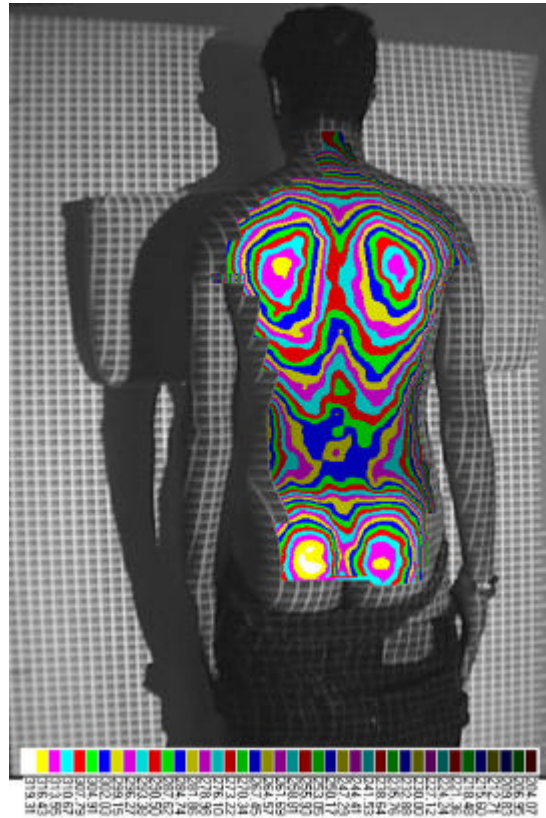


Figura 3.9: Topografía en pseudocolor de un sujeto control

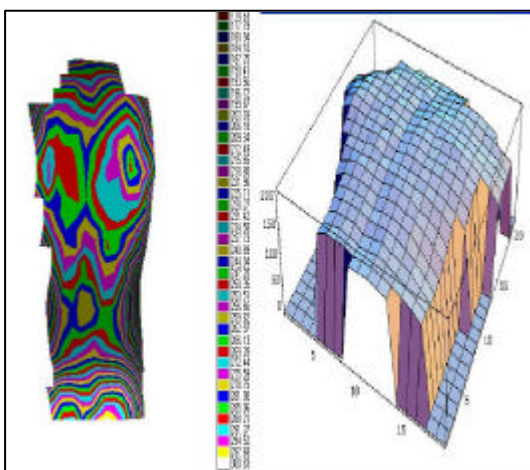


Figura 3.10: Reconstrucción tridimensional



Figura 3.11: Visualización desde distintas perspectivas

4.4 PROTOCOLO DE COLOCACIÓN DEL SUJETO PARA LA CAPTURA DE LA IMAGEN

Como en el resto de métodos ópticos, la colocación del individuo puede ser una fuente de distorsión de los datos obtenidos por medio de la técnica descrita. Con el objetivo de disminuir al máximo la necesidad de corrección a nivel del software, lo cual también es posible como se verá más adelante, se elaboró un estricto protocolo de colocación del sujeto a estudiar. Previamente a la captación de la imagen, se comprobó que se cumplían los siguientes requisitos:

- La espalda es visible desde la altura de la nuca hasta las nalgas (éstas incluidas)
- El individuo se encuentra con las puntas de los pies apoyadas en un tope paralelo a la pantalla
- Los brazos cayendo de una forma natural a lo largo del cuerpo
- El tórax y abdomen del individuo a estudio contactando ligeramente con la pantalla
- La cabeza recta con los ojos mirando al frente.

En esta situación se toma la imagen objeto.

En 20 casos del total se realizó una segunda captación, tras indicarle al sujeto que debía retirarse de la pantalla y recolocarse siguiendo el citado protocolo. Esta segunda toma de la imagen objeto se realizó con el fin de valorar la reproductibilidad del método.

5. VALORACIÓN TOPOGRÁFICA

5.1 INFORMACIÓN VISUAL

A partir de la función superficie obtenida con el método propuesto en el punto 3, fue posible realizar una reconstrucción en seudocolor de la forma de la espalda. Para ello, se estableció un rango de niveles de altura, fijando 40 niveles dentro del rango de los nudos de mayor y menor valor de “Z” encontrados en la malla. Esta representación gráfica aporta información visual acerca de la forma de la espalda del sujeto estudiado (Figura 3.12 ; 3.13 y 3.14).

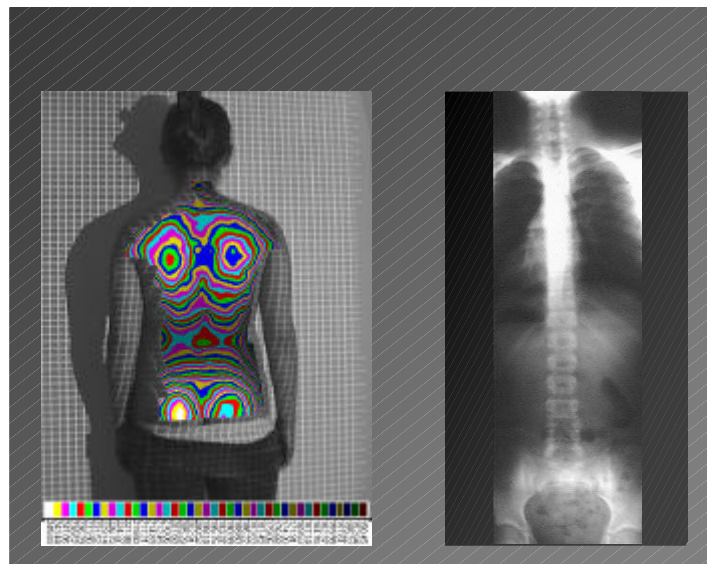


Figura 3.12: Imagen topográfica y radiografía posteroanterior del raquis de un individuo sin escoliosis

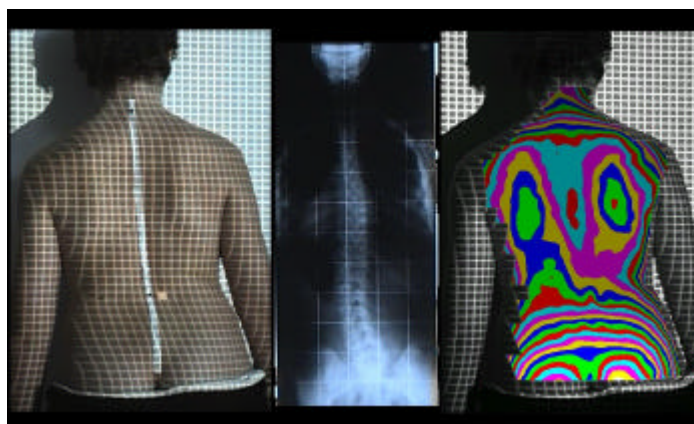


Figura 3.13: Imagen topográfica y radiografía posteroanterior del raquis de un paciente con escoliosis lumbar

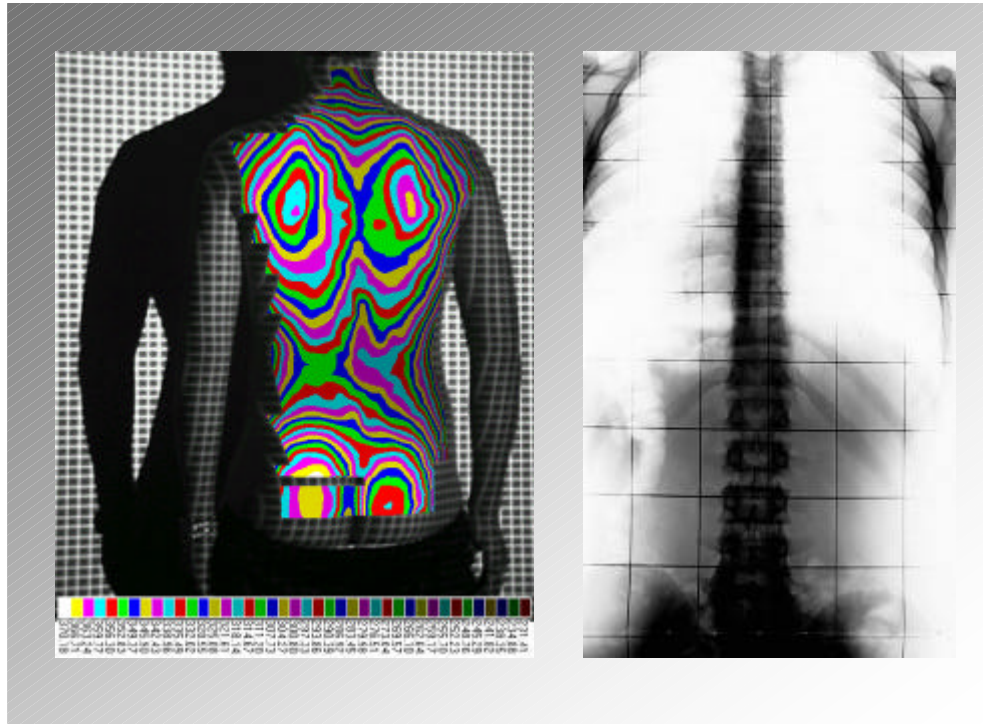


Figura 3.14: Reconstrucción topográfica y radiografía posteroanterior del raquis de un paciente con disimetría de miembros inferiores

Sin embargo, esta valoración “de visu” está sujeta a la subjetividad del observador. Por esta razón, se elaboró, a partir de la imagen topográfica, un sistema de cuantificación automático de diferentes puntos situados sobre la superficie de la espalda.

5.2 VARIABLES TOPOGRÁFICAS

Con el objetivo de caracterizar numéricamente la forma de la espalda, se determinaron dos variables obtenidas a partir de la topografía elaborada mediante la técnica de luz estructurada. Para automatizar este cálculo, se desarrolló un programa informático que simplifica y agiliza la obtención de dichas variables.

5.2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

Las variables utilizadas fueron dos: el Índice de Simetría Posterior del Tronco (*Posterior Trunk Symmetry Index*, POTSI)⁶⁴ y el Índice de Deformidad en el Plano Horizontal (*Deformity in the Horizontal Plane Index*, DHOPI).

A. ÍNDICE DE SIMETRÍA POSTERIOR DEL TRONCO (POTSI)

Esta variable cuantifica las siguientes determinaciones tomadas sobre la topografía de la espalda (Figura 3.14)

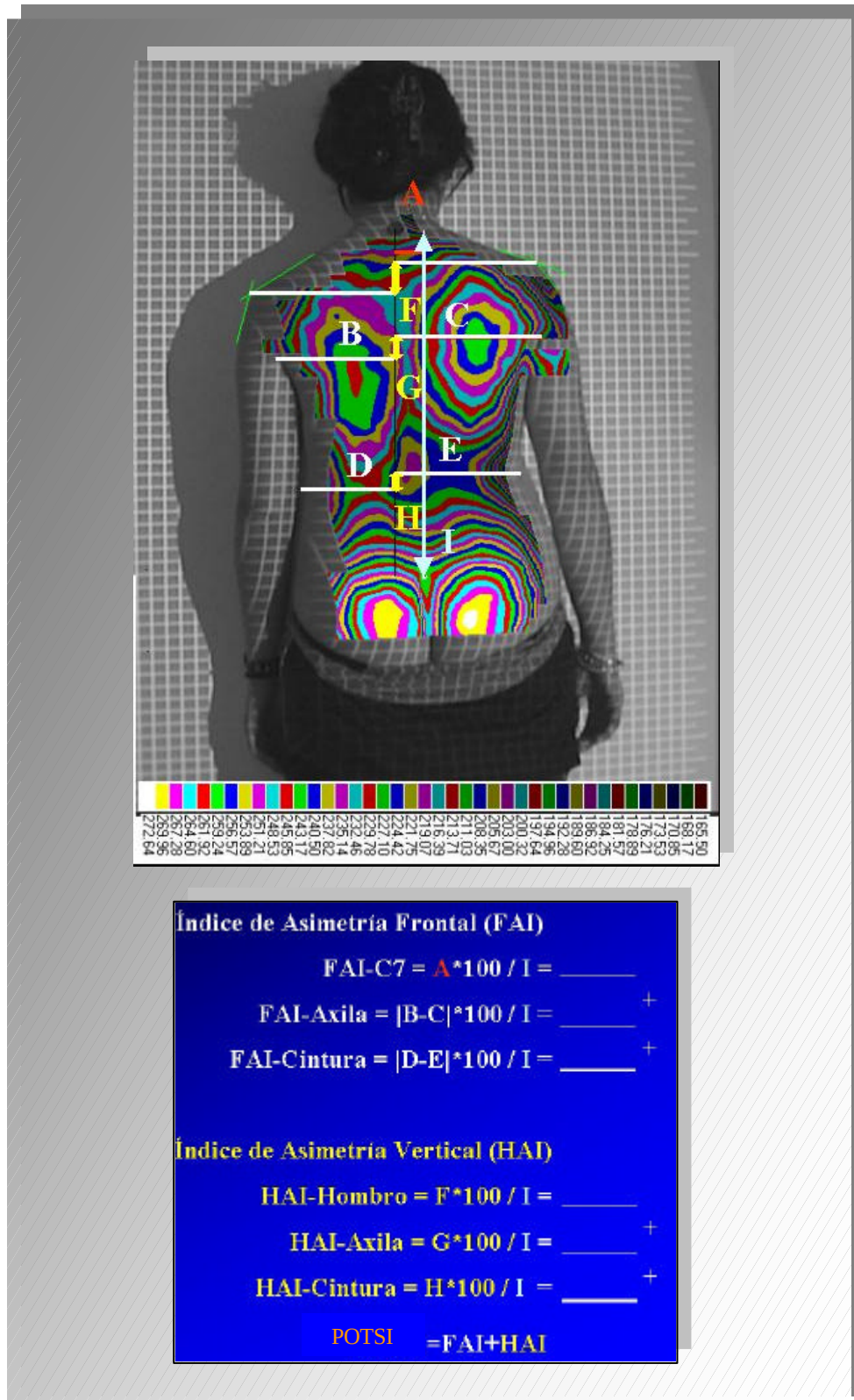


Figura 3.15 : Puntos de interés para la determinación del valor de POTSI y cálculo matemático del mismo

B. ÍNDICE DE DEFORMIDAD EN EL PLANO HORIZONTAL (DHOPI)

La determinación de los puntos de interés y el cálculo de esta variable se realizan de la manera siguiente (figura 3.16):

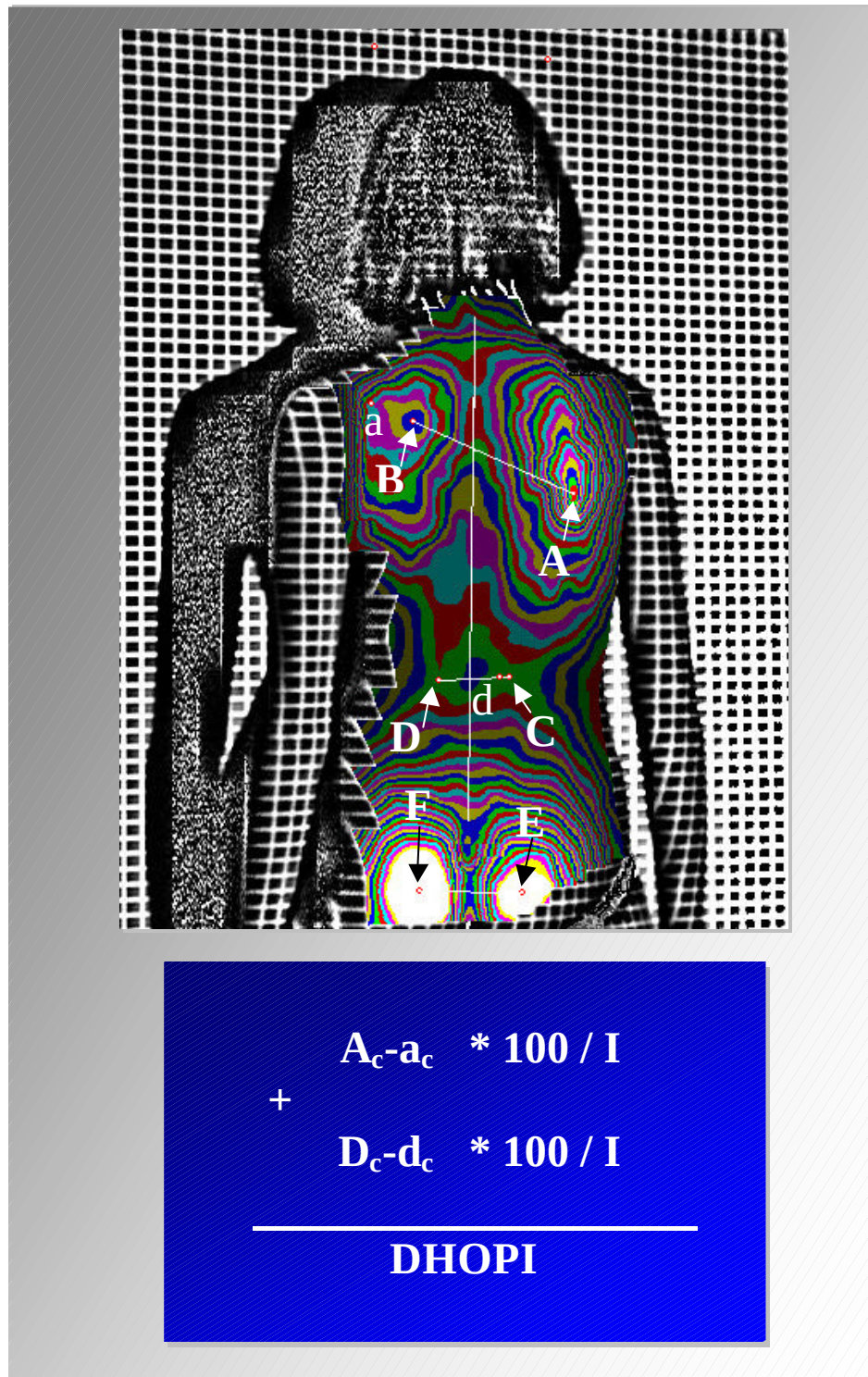


Figura 3.16: Puntos de interés para la determinación del valor de DHOP y cálculo matemático del mismo

- En primer lugar, se trazó la línea que une C7 con el Surco Interglúteo (SI), que puede ser igual o distinta a la vertical dibujada desde C7 hasta la altura del surco interglúteo (denominada I en la figura 3. 15)

La simetría, que se valora mediante esta variable, se calculará a partir de esta línea.

- A continuación, se trazan las líneas sobre las que se va a determinar las simetrías.
 - a. Línea de unión entre los dos puntos más prominentes de las escápulas (A-B)
 - b. Línea de unión entre los dos puntos menos prominentes de la línea de la cintura (C-D)
- Posteriormente, se buscó el punto simétrico del máximo localizado sobre las dos líneas (en la línea interescapular es “a” y en la línea de la cintura es “d”).
- Los dos puntos localizados en el área más prominente de ambos glúteos (F y E) se determinaron con el objetivo de corregir el mal posicionamiento del sujeto. Para ello, se partió de la hipótesis de que un individuo bien posicionado debería tener los máximos de ambos glúteos al mismo nivel. En este sentido, pequeñas discrepancias anatómicas entrarían dentro del error del método. De acuerdo con la hipótesis establecida anteriormente, un individuo mal posicionado tendría una nalga más prominente que la otra. La corrección se realizaría haciendo girar la figura alrededor de una línea vertical hasta que los glúteos quedaran a la misma profundidad (los datos corregidos se expresan en la figura 3. 15 con el subíndice “c”)
- Finalmente se sumaron los valores absolutos corregido y se expresaron en tantos por cien.

5.2.2 DETERMINACIÓN AUTOMÁTICA

Se elaboró un programa informático para la determinación automática de las citadas variables topográficas, con el fin de que su cálculo se realice de una forma rápida y sencilla (Figura 3.17)

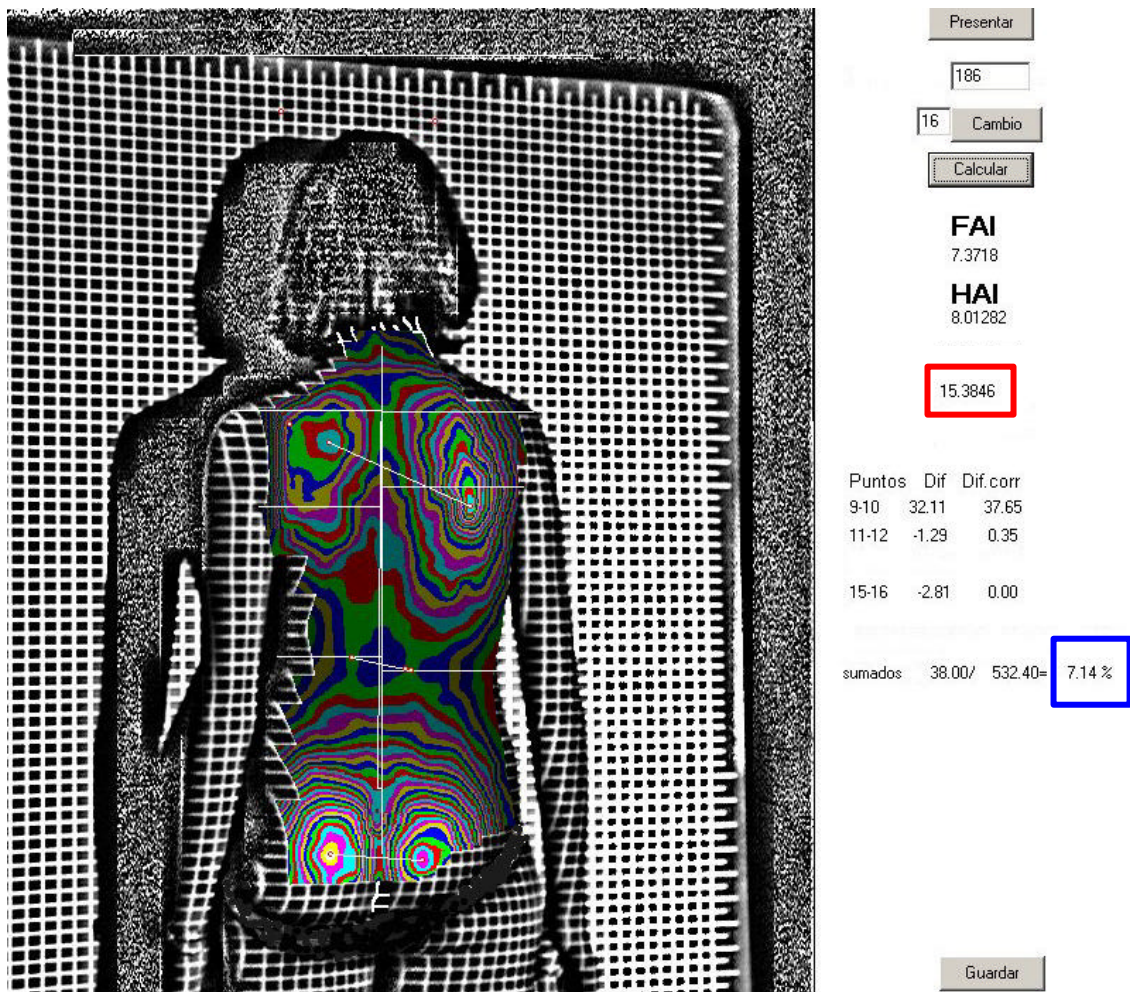


Figura 3.17: En la imagen se muestra la ventana final del programa elaborado para el cálculo automático de las variables topográficas. Valor del POTSI (enmarcado en rojo) y DHOPI (enmarcado en azul) de una paciente con escoliosis idiopática.

6. MÉTODOS ESTADÍSTICOS⁶⁵

6.1. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD DE UNA POBLACIÓN: PRUEBA DE KOLGOMOROV-SMIRNOV

La condición previa para la aplicación de las técnicas estadísticas correspondientes a las variables gaussianas, es que la población muestreada sea normal

El método que se ha aplicado para dicha comprobación es la prueba de Kolgomorov-Smirnov. Éste es un test que nos da la bondad de ajuste a una curva normal. Se utiliza para contrastar la hipótesis nula, en la que se considera que la muestra procede de una población gaussiana. Si la máxima discrepancia de los valores de la muestra respecto a la curva que corresponde a una distribución normal no supera el valor crítico del test (para una cierta confianza), se debe asumir que la distribución es normal para esa misma confianza.

6.2. ESTIMACIÓN DE LA MEDIA Y LA DESVIACIÓN TÍPICA DE UNA POBLACIÓN A PARTIR DE UNA MUESTRA

Una vez comprobada la normalidad de la población, se puede realizar una estimación insesgada de la media poblacional y su desviación típica, a partir de los valores de la media y desviación típica de la muestra.

6.3. ANÁLISIS DE LA VARIANZA

Dadas más de dos poblaciones normales, independientes y con varianza común, el análisis de la varianza consiste en contrastar la hipótesis de igualdad de sus medias con un nivel de significación á prefijado, siendo el estadístico de prueba la *F de Snédecor*.

Si el análisis de la varianza indica que las medias de las distintas poblaciones son diferentes, debe recurrirse a uno de los métodos de comparaciones múltiples para comparar las medias entre cada par de grupos y así decidir cuál o cuáles de ellas son diferentes estadísticamente. Uno de esto métodos es el de *Schffé*, que no precisa que los tamaños muestrales de cada grupo sean iguales. Por tanto, este es el método que se aplicará.

6.4. ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE PARES DE VARIABLES

Dadas dos variables de las que se sospecha que sus valores están relacionados de forma lineal, el coeficiente de correlación lineal simple (r) mide el grado de asociación lineal entre dichas variables. Valores de este coeficiente r próximos a 1 indicarán fuerte asociación lineal positiva y valores de r próximos a -1 indicarán fuerte asociación lineal negativa. Valores de r próximos a 0 indicarán la no asociación lineal entre las variables.

El análisis de regresión da la ecuación que relaciona las variables.

CAPITULO 4: RESULTADOS

TABLA DE RESULTADOS

Resultados obtenidos de la valoración clínica, radiográfica (ángulo de Cobb y rotación vertebral) y topográfica (POTSI y DHOPI) de la población estudiada, constituida por sujetos control, con asimetrías y con escoliosis idiopática.

Caso	Edad	Sexo	Sob	Etiol	Cobb	Rot Ver	Ponseti	King	POTSI	DHOPI
1	30	H	n	Control	.	.			6,30	1,71
2	19	M	n	Control	.	.			20,00	0,51
3	39	H	n	Control	.	.			14,32	0,88
4	19	H	n	Control	0	0	-	-	26,09	0,76
5	19	M	n	Control	.	.			15,98	0,61
6	12	M	n	EIA	60	5	DT	V	81,14	5,40
7	7	M	n	EIJ	15	5	T	III	7,87	1,37
8	8	M	n	EIJ	18	5	T	III	25,57	2,42
9	19	M	n	Control	.	.			15,98	1,35
10	40	M	si	EIAdult	30	5	DC	II	14,17	3,42
11	14	M	n	EIA	50	15	T	III	29,32	6,50
12	14	H	n	Control	0	0	-	-	10,22	1,27
13	8	M	n	Control	0	0	-	-	28,01	1,86
14	13	M	n	Asimetría	8	0	T	III	12,16	2,27
16	14	M	si	EIA	25	20	L	I	37,98	6,56
17	16	M	n	EIA	30	10	DC	I	35,77	3,54
18	10	H	n	Asimetría	10	0	L	-	5,49	2,49
19	14	H	n	EIA	14	5	L	I	14,83	2,47
20	20	M	n	EIAdult	46	5	DC	I	28,91	5,37
23	7	M	n	EIJ	20	5	DC	I	31,66	3,87
24	16	M	n	EIA	41	10	TL	IV	24,00	4,89
25	14	M	si	EIA	72	25	DC	I	34,35	5,47
26	16	H	n	EIA	41	15	TL	IV	20,18	4,39
27	14	M	n	EIA	60	10	DC	II	39,64	3,20
28	17	M	n	EIA	45	15	T	III	18,53	6,63
29	16	H	n	EIA	30	5	L	-	20,46	6,05
30	17	M	si	EIA	48	25	DC	I	21,45	3,91
31	17	M	n	Control	0	0	-	-	5,53	1,70
32	9	M	n	EIJ	14	0	TL	IV	19,04	0,53
33	16	M	n	EIA	20	0	L	-	25,97	6,03
34	17	M	n	EIA	25	5	T	III	21,52	4,78

35	17	M	n	Asimetría	9	0	L	-	14,91	0,71
36	16	H	n	EIA	42	10	T	III	53,84	7,14
37	16	M	n	Asimetría	6	0	T	III	23,05	1,60
38	15	M	n	EIA	25	10	DC	II	23,94	5,23
40	19	H	n	EIA	52	20	TL	IV	36,96	4,33
41	8	M	n	EIJ	14	0	T	III	8,20	2,13
42	15	M	n	EIA	53	10	DC	II	33,52	4,92
43	13	M	n	EIA	30	20	DC	II	40,97	2,45
44	14	M	si	Asimetría	10	0	L	-	17,47	1,20
45	17	H	n	Asimetría	0	0	-	-	15,02	2,39
46	15	H	si	EIA	43	10	DC	II	30,05	2,58
47	19	H	n	Asimetría	.	.			25,23	3,56
48	19	H	n	Control	.	.			14,85	2,41
49	19	H	n	Control	.	.			19,34	0,27
50	19	H	n	EIA	20	10	DC	III	20,13	3,43
51	19	M	n	Control	.	.			14,69	1,81
52	19	H	n	Control	.	.			23,13	1,12
53	19	H	n	Asimetría	.	.			13,00	3,71
54	19	H	n	Control	.	.			12,57	1,21
55	19	H	n	Control	.	.			13,58	1,19
56	19	M	n	Control	.	.			21,17	0,96
57	19	M	n	Asimetría	.	.			18,22	4,04
58	19	H	n	Control	.	.			6,68	1,48
59	19	H	n	Control	.	.			11,00	1,63
60	19	M	n	Control	.	.			12,66	0,84
61	19	M	n	Control	.	.			16,40	0,44
62	19	H	n	Control	.	.			23,96	1,83
63	19	M	n	Asimetría	7	0	L	-	13,87	2,03
64	19	H	n	Control	.	.			15,10	2,32
65	19	H	si	Control	.	.			6,00	0,72
66	19	M	n	Control	.	.			6,48	1,08
67	19	M	n	Control	.	.			19,51	0,43
68	19	M	n	Control	.	.			11,63	1,38
69	19	M	n	Control	.	.			6,12	0,41
70	19	H	n	Control	.	.			8,68	1,90
71	19	M	n	Control	.	.			9,97	0,32
72	19	M	n	Control	.	.			11,48	1,17
73	19	M	n	Asimetría	.	.			10,90	4,02
74	19	H	n	Asimetría	.	.			14,69	2,98

75	19	M	n	Control	.	.			6,00	1,67
76	19	M	n	Control	.	.			34,23	0,93
77	19	M	n	Control	.	.			8,25	0,76
78	19	H	n	Control	.	.			27,76	1,38
80	19	M	n	Control	.	.			11,14	2,14
81	19	M	n	Asimetría	.	.			13,73	3,36

RESULTADOS

1. VARIABLES TOPOGRÁFICAS EN EL DIAGNÓSTICO DE LA ESCOLIOSIS

1.1 GRUPO CONTROL

Para establecer los valores de normalidad de las variables topográficas DHOPI y POTSI, se tomó un grupo control formado por 35 individuos con una exploración física normal (Adams negativo, ausencia de disimetría clínica) y/o ángulo de Cobb igual a 0°.

1.1.1. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE NORMALIDAD

Se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar si los valores de las variables topográficas del grupo control seguían una distribución normal.

Los resultados del test, para cada una de las variables estudiadas, con un nivel de confianza del 95%, se recogen en la tabla 4.1.

VARIABLE	MÁX DIFERENCIA	VALOR CRÍTICO
DHOPI	0'077	0'230
POTSI	0'123	0'230

Tabla 4.1: Test de Kolmogorov-Smirnov para determinar la distribución normal de las variables topográficas DHOPI y POTSI en el grupo control

En la citada tabla, se puede observar que, en los dos casos, el valor de la máxima diferencia obtenida es menor que el valor crítico del test. Por lo que se acepta la hipótesis de normalidad para un nivel de confianza del 95%.

El comportamiento normal o gaussiano de los valores de las variables topográficas en los sujetos control permite utilizar las técnicas estadísticas paramétricas.

1.1.2. LÍMITE SUPERIOR DE NORMALIDAD DE LAS VARIABLES TOPOGRÁFICAS (VALOR DE CORTE)

La posibilidad de utilizar la estadística asociada a las variables gaussianas permite, a la hora de determinar el valor normal de cada variable topográfica, tomar como valor medio, la media aritmética de los valores obtenidos y como error, la desviación típica de la muestra (Tabla 4.2)

<i>VARIABLES</i>	<i>MEDIA</i>	<i>DESVIACIÓN TÍPICA</i>
DHOPI	1,21	0,58
POTSI	14,71	7,33

Tabla 4.2: Media y desviación típica de los valores de las variables DHOPI y POTSI

Para determinar el valor correspondiente al límite superior de normalidad, teniendo en cuenta que se desea evitar la aparición de falsos positivos, se siguió el criterio habitualmente utilizado, de considerar como valor de corte el que corresponda a la media incrementada en dos veces la desviación típica, lo que supone incluir el 95% de las determinaciones de sujetos normales, es decir, el percentil del 95%. (Tabla 4.3)

<i>VARIABLES</i>	<i>DESVIACIÓN TÍPICA</i>	<i>VALOR DE CORTE</i>
DHOPI	0,58	2,33
POTSI	7,33	29,25

Tabla 4.3: Valor de corte de las variables DHOPI y POTSI

Los valores individuales de estas variables para cada caso control, quedan representados en la figura 4.1 A y B con los puntos verdes.

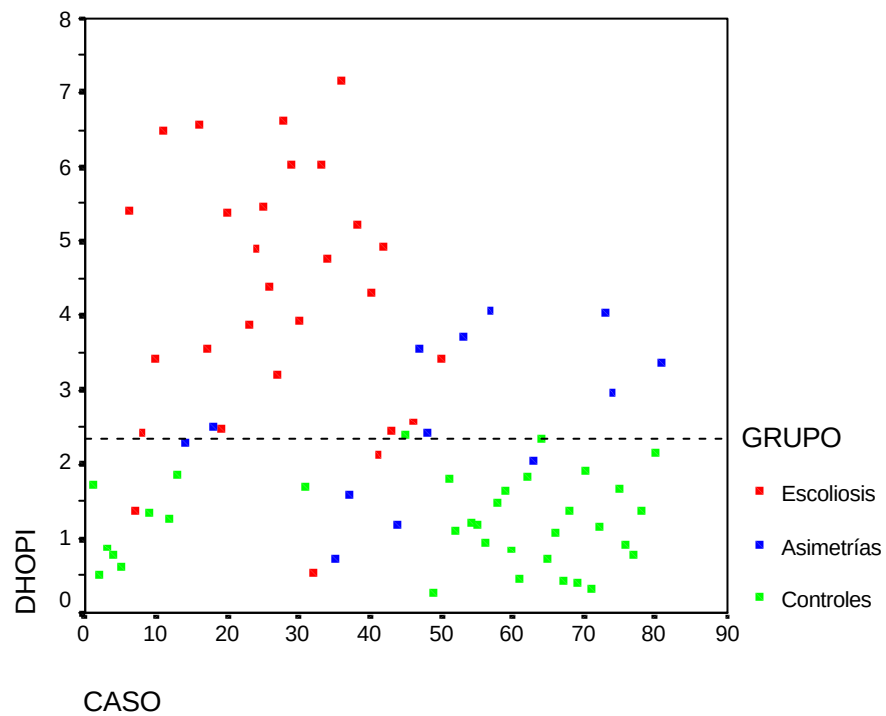


Figura 4.1 A: Representación del valor de la variable DHOPI para cada caso. La línea discontinua indica el valor de corte para esta misma variable.

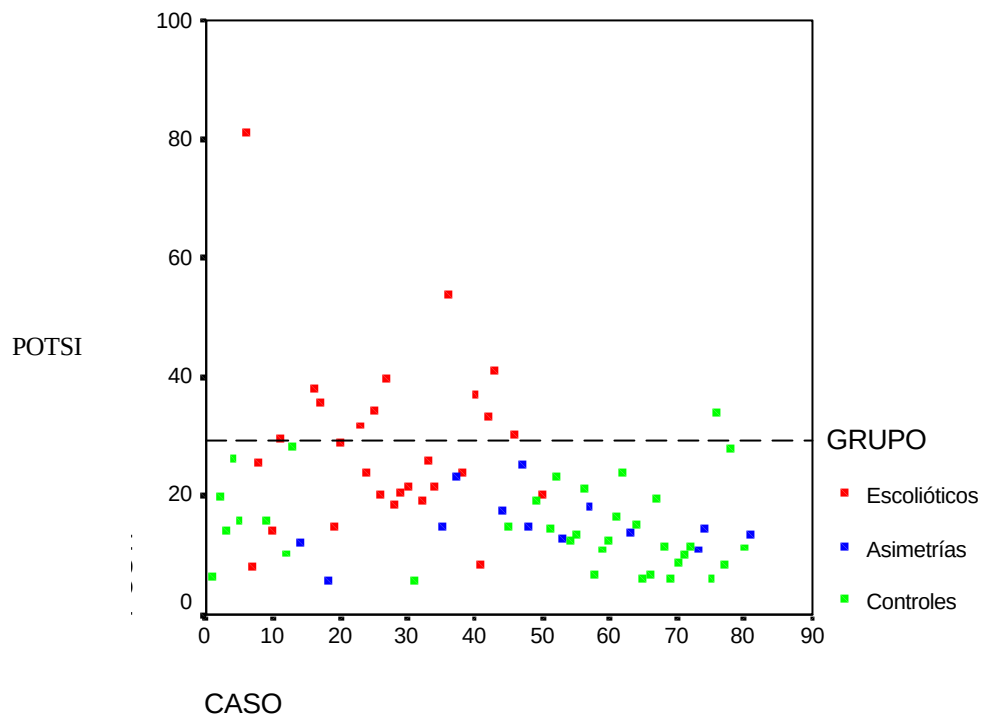


Figura 4.1 B: Representación del valor de la variable POTSI para cada caso. La línea discontinua indica el valor de corte para esta misma variable.

1.2. VARIABLES TOPOGRÁFICAS EN LOS SUJETOS CON ASIMETRÍAS Y ESCOLIOSIS

Como se ha visto, los individuos con asimetrías del tronco pero que no cumplen criterios de escoliosis, no se consideraron al tratar estadísticamente el grupo control, aunque serán incluidas, en el resto del estudio, dentro del conjunto formado por los individuos sin escoliosis.

Por esta razón, se dedica un apartado independiente al conjunto formado por las asimetrías y al conjunto formado por las escoliosis.

1.2.1. ASIMETRÍAS

Se realizaron las topografías correspondientes a 13 individuos con las siguientes características: ángulo de Cobb entre 1° y 10° y/o exploración física con asimetría del tronco no indicativa de escoliosis. Los valores de la media y la desviación típica de las variables se muestran en la tabla 4.4

<i>VARIABLES</i>	<i>MEDIA</i>	<i>DESVIACIÓN TÍPICA</i>
DHOPI	2,64	1,08
POTSI	15,2	5,06

Tabla 4.4: Media y desviación típica de los casos con asimetría.

El valor individual de estas variables para cada caso con asimetría, queda representado en la figura 4.1 A y B con los puntos de color azul.

1.2.2. ESCOLIOSIS

Se determinaron las variables topográficas en un grupo de 28 pacientes escolióticos con las características descritas en los puntos 1.1, 3.1, 3.2 y 3.3 del capítulo dedicado a material y métodos.

<i>VARIABLES</i>	<i>MEDIA</i>	<i>DESVIACIÓN TÍPICA</i>
DHOPI	4,21	1,72
POTSI	28,57	14,60

Tabla 4.5: Media y desviación típica de los pacientes con escoliosis.

El valor individual de estas variables para cada caso con escoliosis, queda representado en la figura 4.1 A y B con los puntos de color rojo.

1.3. VALORACIÓN DIAGNÓSTICA DE LAS VARIABLES TOPOGRÁFICAS DHOPI Y POTSÍ EN LA ESCOLIOSIS, ASIMETRÍAS Y EN LOS CASOS CONTROL

Analizando la distribución de los valores de las variables topográficas para los grupos de estudio (control, asimetrías y escoliosis) en la figura 4.1 A y B, se observó una estratificación, para los valores de cada uno de los grupos, en el caso del DHOPI. Sin embargo, para la variable POTSÍ sólo se produjo ésto entre el grupo normal (control y asimetrías) y el patológico. Para valorar si la media de los valores de las variables topográficas en cada uno de los tres subconjuntos estudiados era realmente diferente, o no, se realizó un análisis de la varianza que mostró los siguientes resultados (Tabla 4.6):

	<i>DHOPI</i>	<i>POTSÍ</i>
CONTROLES	1,21 ^c	14,71 ^b
ASIMETRÍAS	2,64 ^b	15,19 ^b
ESCOLIOSIS	4,21 ^a	28,57 ^a

Tabla 4.6: Donde a>b>c, indica diferencias estadísticamente significativas entre las medias

Los resultados que se muestran, tal y como puede apreciarse a partir de la figura 4.1 A y B, ponen de manifiesto que mientras que la variable DHOPI si distingue entre controles, asimetrías y escoliosis, la variable POSTI únicamente distingue entre los casos normales y los patológicos. Hecho que deberá tenerse en cuenta a la hora de valorar la capacidad diagnóstica de cada variable.

1.4 SENSIBILIDAD, ESPECIFICIDAD Y VALOR PREDICTIVO DEL VALOR DE CORTE ESTABLECIDO A PARTIR DEL GRUPO CONTROL

Los citados parámetros se van a determinar de acuerdo con el siguiente procedimiento⁶¹:

	Enfermedad presente	Enfermedad ausente	
Positivo	A	B	A+B
Negativo	C	D	C+D
	A+C	B+D	A+B+C+D

$$\text{Sensibilidad} = A/(A+C)$$

$$\text{Especificidad} = D/(B+D)$$

$$\text{Valor predictivo} = A/(A+B)$$

1.4.1 SENSIBILIDAD, ESPECIFICIDAD Y VALOR PREDICTIVO PARA LA VARIABLE DHOPI

	Enfermedad presente	Enfermedad ausente	
Positivo	25	9	34
Negativo	3	39	42
	28	48	76

Tabla 4.7: Tabla de verdaderos positivos, falsos positivos, falsos negativos y verdaderos negativos para la variable DHOPI

De acuerdo con los datos de la tabla 4.7, la sensibilidad, especificidad y el valor predictivo son:

- Sensibilidad = 89%
- Especificidad = 81%
- Valor predictivo = 74%

1.4.2 SENSIBILIDAD, ESPECIFICIDAD Y VALOR PREDICTIVO PARA LA VARIABLE POTSI

	Enfermedad presente	Enfermedad ausente	
Positivo	12	1	13
Negativo	16	47	63
	28	48	76

Tabla 4.8 Tabla de verdaderos positivos, falsos positivos, falsos negativos y verdaderos negativos para la variable POTSI

De acuerdo con los datos de la tabla 4.8, la sensibilidad, especificidad y el valor predictivo son:

- Sensibilidad = 43%
- Especificidad = 98%
- Valor predictivo = 92%

1.5 UTILIDAD DIAGNÓSTICA COMBINADA DE LAS DOS VARIABLES

De lo visto hasta este momento se deduce que las dos variables topográficas estudiadas presentan unas características diagnósticas diferentes. En este sentido, el DHOPI presenta una mayor capacidad de discriminación, mientras que el POTSI se caracteriza por el bajo porcentaje de falsos positivos. Por ello se pensó en la utilización conjunta de estas dos variables.

Con este fin se calculó un nuevo nivel de corte para el DHOPI a partir de la consideración de las asimetrías y el grupo control conjuntamente. Utilizando el mismo criterio ya descrito, del percentil del 95%, el nuevo valor de corte estaría situado en:

	<i>Media</i>	<i>Desviación Típica</i>	<i>Valor de corte</i>
DHOPI	1,63	0,98	3,88*

Tabla 4.9: Determinación del nuevo valor de corte para los sujetos no escolióticos (controles y asimetrías). * A efectos prácticos se ha considerado el valor 4.

De esta forma, el DHOPI queda estratificado en tres rangos (Figura 4.2):

- Normal: de 0 a 2,3
- Moderado: de 2,3 a 4
- Alto: >4

Mientras que el POTSI se dividiría en dos rangos (Figura 4.1B):

- Normal: de 0 a 29,3
- Alto: > 29,3

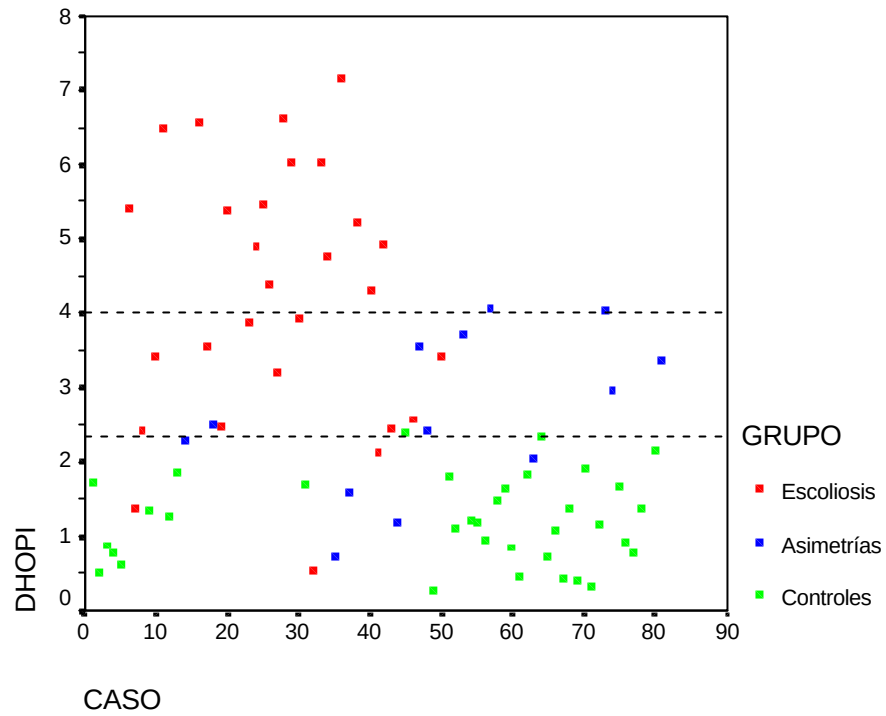


Figura 4.2: Representación del valor de la variable DHOPi para cada caso. Las líneas discontinuas son los niveles de corte.

La distribución de los pacientes de acuerdo con el criterio de estratificación de los valores de las variables, queda representada en la siguiente tabla (Tabla 4.10):

	DHOPi NORMAL		DHOPi MOD		DHOPi ALTO	
	<i>POTSI</i> NR	<i>POTSI</i> ALTO	<i>POTSI</i> NR	<i>POTSI</i> ALTO	<i>POTSI</i> NR	<i>POTSI</i> ALTO
Control	33	1	1			
Asimetría	5		6		2	
Escoliosis	3		4	5	9	7

Tabla 4.10: Distribución de los pacientes de acuerdo con la estratificación de las variables.

Como se puede ver en la tabla 4.10, del total de casos, únicamente 7 pacientes con escoliosis fueron incorrectamente diagnosticados con la técnica propuesta. A continuación se representan los ángulos de Cobb de los citados casos, en donde se puede ver que 6 de los 7 falsos negativos presentaban ángulos de Cobb inferiores a 20° (Figura 4.3).

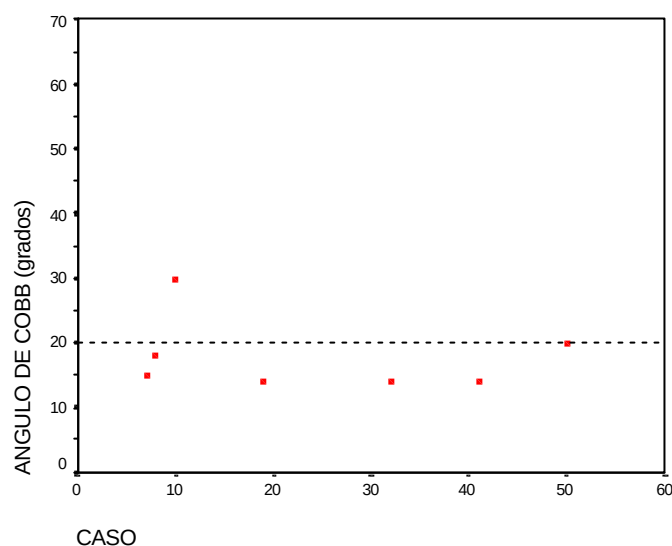


Figura 4.3: Representación gráfica de los ángulos de Cobb de los casos no detectados.

2. RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES TOPOGRÁFICAS Y RADIOGRÁFICAS

En el presente apartado se van a relacionar las variables radiográficas ángulo de Cobb y rotación vertebral, con las variables topográficas DHOPI y POTSI. Las gráficas 4.4 A, B, C y D, muestran la distribución de los valores DHOPI y POTSI separados por grupos. En todos los casos la correlación es aceptable, teniendo en cuenta que se trata de variables clínicas, salvo en el caso del POTSI y la rotación vertebral que, con un coeficiente de correlación de 0,394 no se ha considerado significativo para una correlación lineal.

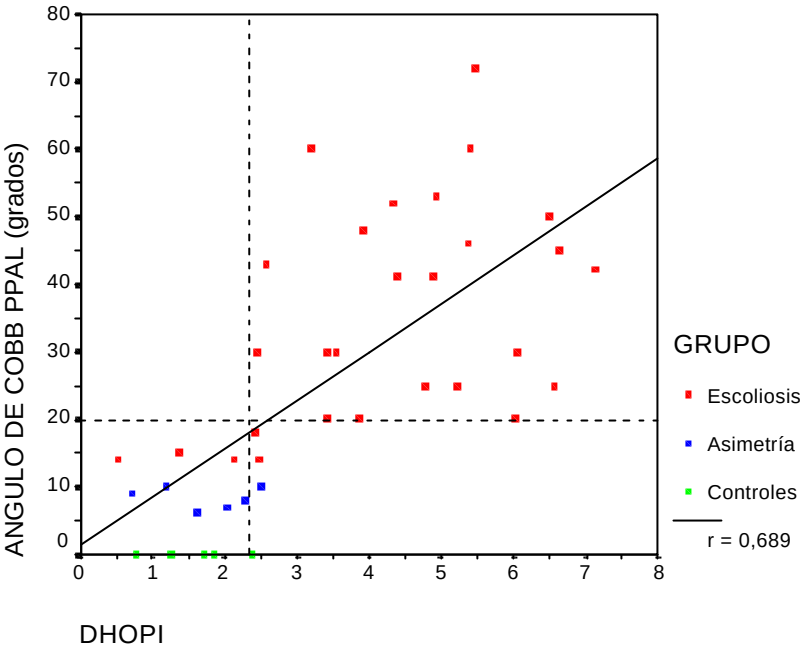


Figura 4.4 A

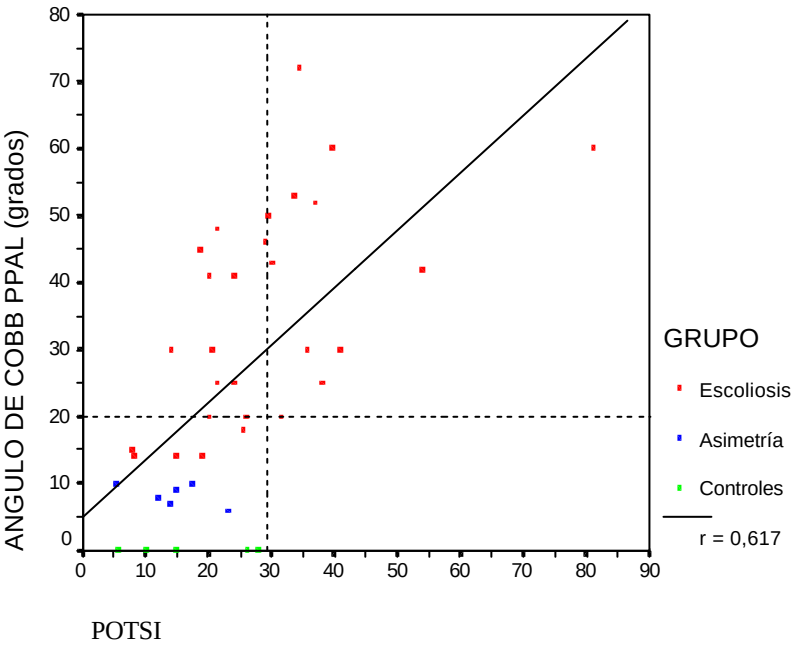


Figura 4.4 B

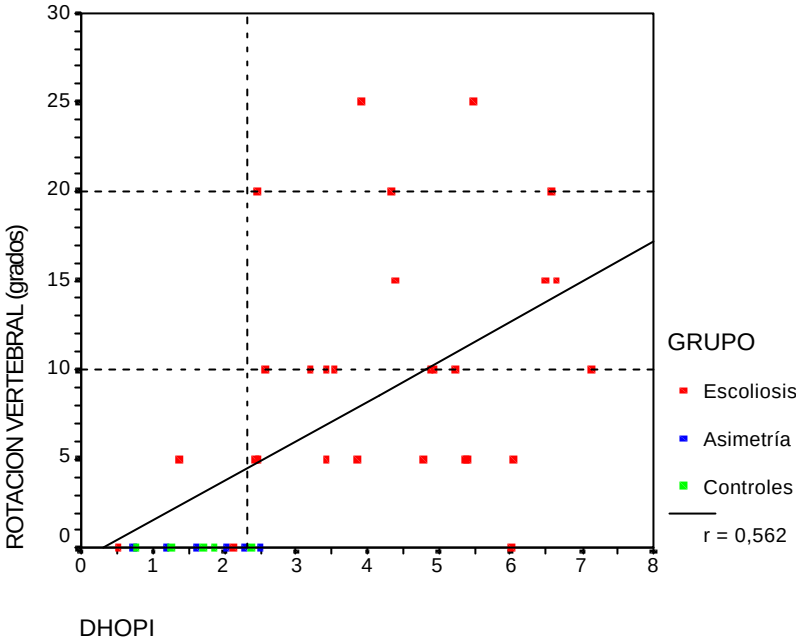


Figura 4.4 C

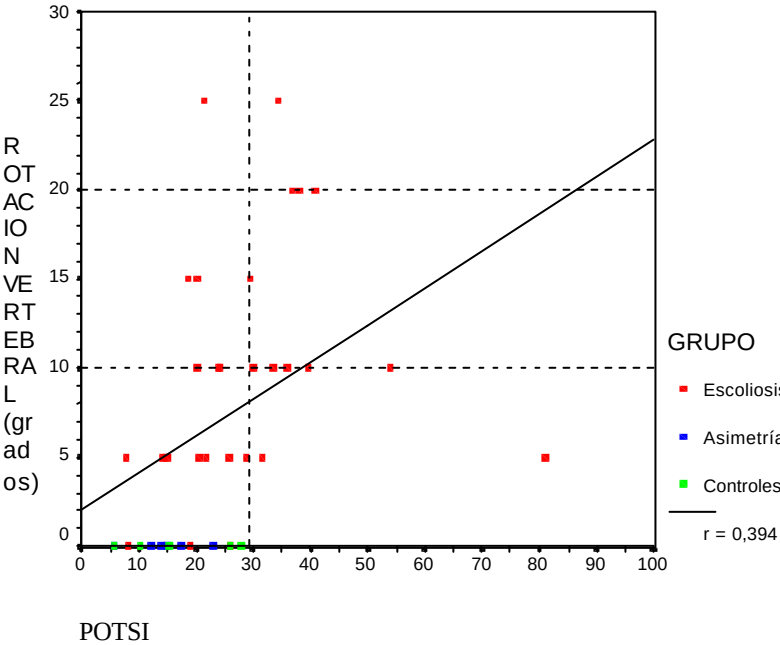


Figura 4.4 D

3. REPRODUCTIBILIDAD DEL MÉTODO

Para que un análisis sea utilizado en la rutina clínica, su reproducibilidad debe ser claramente establecida. Se estudió este parámetro en las dos variables topográficas. Para ello se determinó el DHOPI y el POTSI en 20 topografías elegidas al azar, dos veces, bien por el mismo observador (intraobservador) o bien, por un segundo observador, no especializado, pero si entrenado para la utilización del programa de análisis (interobservador). Así mismo, a 20 sujetos se les realizó dos topografías consecutivamente, pero con reposicionamiento del paciente para valorar la variabilidad interensayo.

Para cada uno de las variabilidades analizadas, se estudió la diferencia en valor absoluto entre las dos determinaciones realizadas de cada una de las variables topográficas, obteniéndose la media y la desviación típica (Tabla 4.11). Para determinar el coeficiente de variación inter e intraobservador, e interensayo se ha referenciado la desviación típica obtenida, de la comparación de las dos medidas efectuadas, al valor límite para el diagnóstico en cada una de las variables

	INTRAOBSE		INTEROBSE		INTERENSAYO	
	POTSI	DHOPI	POTSI	DHOPI	POTSI	DHOPI
Media	3,95	0,27	3,981	0,38	4,64	034
Desviación típica	4,15	0,2	4,17	0,3	408	0,31
Coeficiente de variación	4,15/29,25 14,19%	0,2/2,33 8,58%	4,17/29,25 14,26%	0,3/2,33 12,88%	4,08/29,25 13,83%	0,31/2,33 13,3%

Tabla 4.11. Variabilidad para las variables estudiadas

CAPITULO 5: DISCUSIÓN

1. VARIABLES TOPOGRÁFICAS EN EL DIAGNÓSTICO DE LA ESCOLIOSIS IDIOPÁTICA

1.1 GRUPO CONTROL

Para establecer los valores de normalidad diagnóstica se tuvieron en cuenta únicamente a los individuos sanos “tipo”. Es decir, sujetos con un ángulo de Cobb igual a 0° , en los casos que se disponía de radiografías, y/ o una exploración física normal (sin asimetría costal, ni disimetría clínica), en los casos en los que no se disponía del estudio radiográfico. Al igual que otros autores⁶⁶, la razón por la que se realizó esta elección estribó en buscar las mejores condiciones para la determinación de la magnitud a estudio en una muestra representativa de la población normal. Los casos que no cumplían las requisitos para considerarlos controles, pero tampoco los cumplían para considerarlos escoliosis ($\text{Cobb} > 10^\circ$), se estudiaron como un grupo a parte, para comprobar si, con los criterios de diagnóstico del test, podían considerarse como población normal o no.

Sobre el grupo de controles se aplicaron las técnicas descritas en el Capítulo 4, para determinar el valor de corte de las variables topográficas, DHOPI y POTSI, de forma que englobasen al 95% de la población. Los resultados mostraron un valor de corte para el DHOPI de 2,33 y para el POTSI de 29,25. No es posible establecer valores de comparación entre nuestras determinaciones y las existentes en la bibliografía, ya que la variable DHOPI es una aportación realizada a lo largo de este estudio y la variable POTSI, ya propuesta por otros autores⁶⁴, no ha sido utilizada por ellos con fines diagnósticos, sino como criterio de valoración de la evolución de un mismo paciente. No obstante, los valores del POTSI obtenidos por estos autores se corresponden con el orden de magnitud que nosotros determinamos para la normalidad, ya que sitúan una

media de POTSI de 22,5 para una media de ángulo de Cobb de 21,5. Por lo tanto, se ve que se trata de un valor similar al que se ha determinado en el presente trabajo como límite superior de normalidad.

Con estos valores de corte se obtuvieron, para la variable DHOPI, un 11% (3/28) de falsos negativos y para la variable POTSI un 57% (16/28) de falsos negativos. Por lo tanto, mientras que el DHOPI si parece tener capacidad diagnóstica, el POTSI por sí mismo, no parece que pueda aportar este tipo de información. Debe tenerse en cuenta, que esta variable únicamente da información de asimetría en altura y lateralidad en el plano frontal. Por esta razón, cabe suponer que la afectación en el plano transversal de la escoliosis no queda adecuadamente caracterizada por esta variable. Sin embargo, el DHOPI, propuesto en este trabajo, combina la búsqueda de asimetrías en dos planos, el transversal y el frontal, puesto que está basado en la determinación de la diferencia de profundidades en puntos simétricos, a uno y otro lado de la línea imaginaria que uniría C7 con el surco interglúteo.

1.2 VARIABLES TOPOGRÁFICAS EN LOS SUJETOS CON ASIMETRÍAS Y ESCOLIOSIS

Se aplicó a la muestra de estudio, los valores de corte determinados para las variables DHOPI y POTSI, encontrándose que el valor predictivo individual del DHOPI era superior al del POTSI.

Considerando aisladamente la variable DHOPI como base del diagnóstico, se pudo establecer una sensibilidad del 89%, con una especificidad del 81% y un valor predictivo del 74%. Sin embargo, la valoración aislada del POTSI aportó una sensibilidad del 43%, con una especificidad del 98% y un valor predictivo del 92%.

Puede observarse que, si bien el valor predictivo del POTSI es superior al del DHOPI, en un 24 %, la sensibilidad del DHOPI es un 52% mayor.

A partir de los resultados obtenidos para los sujetos con asimetrías y pacientes con escoliosis se ha evidenciado que la variable DHOPI permite, de alguna forma, caracterizar el grado de deformidad. Esto es así porque considerando tres grupos (control, asimetrías y escoliosis) la comparación entre las medias de cada uno de ellos resulta estadísticamente significativa. En el caso de POTSI, el alto porcentaje de falsos negativos que presenta ya resulta indicativo de su incapacidad para discriminar entre el grupo control y el de las asimetrías.

Puesto que no es deseable detectar como patológicas las pequeñas deformidades denominadas asimetrías⁴⁴, se decidió realizar un segundo nivel de corte de la variable DHOPI, considerando, en el conjunto de individuos sanos, tanto los controles como los sujetos con asimetría. Siguiendo el mismo criterio aplicado anteriormente, se determinó un nuevo valor de corte de 4.

Por tanto, el DHOPI queda así categorizado en tres grupos; normal, moderado, y alto. Adoptar el valor del DHOPI moderado como límite de normalidad implicaría el aumentar a un 46% (13/28) el porcentaje de falsos negativos.

1.3 VALORACION DE LA CAPACIDAD DIAGNÓSTICA DE LA COMBINACIÓN DE LAS VARIABLES POTSI Y DHOPI

Teniendo en cuenta que el DHOPI determina pocos falsos negativos y el POTSI pocos falsos positivos, se propone un sistema combinado de las dos variables con fines diagnósticos. Este criterio diagnóstico combinado sería el siguiente:

- Si el valor del DHOPI es bajo, el sujeto se considera normal.
- Si el valor del DHOPI es elevado, el paciente se considera patológico.

- Valores moderados de DHOPI, localizados en la zona de incertidumbre de esta variable, nos llevarían a tener en cuenta el valor del POTSI. De manera que si éste está elevado, el caso sería diagnosticado como escoliosis y si es normal, como asimetría.

Con este nuevo criterio, la sensibilidad, la especificidad y el valor predictivo del método sería:

- Sensibilidad = 75% (21/28)
- Especificidad = 96% (46/48)
- Valor predictivo = 91%(21/23)

Con esta decisión, basada en la combinación de las dos variables, si bien disminuye la sensibilidad del método en un 20%, aumenta en un 16% la especificidad. De esta forma, se evita el diagnosticar como patológicos individuos sanos, con los problemas que esto supone (exploración radiográfica innecesaria, preocupación por el estado de salud del individuo..). En cuanto a los falsos negativos, con la combinación de las variables DHOPI y POTSI, el número queda reducido a 7 que corresponden a 6 casos en los que el ángulo de Cobb era menor de 20° y a un caso con sobrepeso (Tabla 4.3)

2. RELACIÓN ENTRE VARIABLES TOPOGRÁFICAS Y VARIABLES RADIOGRÁFICAS

Se estudió la relación existente entre el valor de las variables topográficas y el valor de las variables radiográficas (ángulo de Cobb y rotación vertebral). Puede observarse en general que el DHOPI muestra una correlación positiva, tanto con el ángulo de Cobb como con la rotación vertebral.

En el caso del POTSI también puede apreciarse esa misma correlación con el ángulo de Cobb, pero no así con la rotación vertebral, en la que la correlación determinada no llegó a tener significación estadística. Este hecho podría estar relacionado con el plano de deformidad que caracteriza cada variable.

La figura 4.4 A muestra que valores de la variable DHOPI por debajo del valor de corte se corresponden con valores del ángulo de Cobb principal menores de 20° y rotaciones vertebrales por debajo de 5°.

3. REPRODUCTIBILIDAD DEL MÉTODO

Como se puede ver por los resultados expuestos en la tabla 4.11, la reproductibilidad es buena, siendo incluso mejor la que corresponde a la determinación de la variable DHOPI. Esto se debe fundamentalmente a la estandarización de la determinación de medidas que se realiza sobre puntos anatómicos fácilmente identificables en la imagen topográfica.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado un nuevo sistema informático de ayuda al diagnóstico, basado en la proyección de luz estructurada, aplicado al diagnóstico clínico de la escoliosis idiopática.

De acuerdo con los objetivos propuestos, los resultados obtenidos referidos a la población analizada llevan a las siguientes conclusiones:

- Se ha puesto a punto un protocolo de posicionamiento del paciente para la captación de imágenes.
- Se ha definido una variable topográfica DHOPI (Índice de Deformidad en el Plano Horizontal) para caracterizar la deformidad, tanto en el plano frontal como transversal y se ha comparado con la variable POTSI (Índice de Simetría Posterior del Tronco) propuesta en la bibliografía.
- Se han determinado los valores de corte de normalidad de dichas variables en un grupo control y ha resultando ser:
 - DHOPI: 2,33
 - POTSI: 29,25
- Se ha determinado la sensibilidad (S), la especificidad (E) y el valor predictivo (VP) para cada una de estas variables resultando ser :

	<i>DHOPI</i>	<i>POTSI</i>
S	89%	43%
E	81%	98%
VP	74%	92%

- La variable DHOPI presenta una mayor capacidad diagnóstica. No obstante, la combinación de las dos variables permite establecer para este procedimiento de diagnóstico la siguiente sensibilidad, especificidad y valor predictivo:

	COMBIACIÓN DE POTSI Y DHOPI
S	75%
E	96%
VP	91%

- Se ha demostrado una correlación lineal positiva entre los valores de DHOPI y las variables radiográficas (ángulo de Cobb y rotación vertebral)
- Se ha encontrado una correlación lineal positiva entre los valores de POTSI y el ángulo de Cobb principal, pero no con la rotación vertebral
- Los coeficientes de variación tanto para el DHOPI (Tabla 4.11) como para el POTSI se encuentran en el intervalo de fiabilidad de las técnicas habitualmente utilizadas en la práctica clínica.

BIBLIOGRAFÍA

¹ Viosca E, Prat J, Cortes A. Deformidades del raquis. En: Comín M, Prat J, editores. Biomecánica del raquis y sistemas de reparación. 1ª ed. Valencia: Martín Impresores SL;1995:131-205.

² Deformity of the Spine. En: Rang M, editores. The Story of Orthopaedics. 1ª ed. Philadelphia: WB Saunders Company;2000:143-93

³ Shands A, Eisenberg HB. The incidence of scoliosis in the state of Delaware. A study of 50.000 minifilms of the chest made during a survey for tuberculosis. J Bone Joint Surg Am 1955;37:1234-41.

⁴ Cronis S, Russell A. Orthopaedic screening of children in Delaware public Schools. Del Med J. 1965;37:89-91.

⁵ Morais T, Bernier M, Turcotte F. Age- and sex-specific prevalence of scoliosis and the value of school screening program. Am J Public Health 1985;75:1377-80.

⁶ Vanderpool D, James J, Wynne-Davies R. Scoliosis in the elderly. J Bone Joint Surg Am. 1969;51:446-55.

⁷ Cañadell J. Comentario realizado por el profesor José Cañadell. Rev Ortop Traumatol 2000;4:342-52.

-
- ⁸ Pedrini VA, Ponseti IV, Dohrman SC. Glycosaminoglycans of intervertebral disc in idiopathic scoliosis. *J Lab Clin Med* 1973;82:938-50.
- ⁹ Zaleske DJ, Ehrlich MG, Hall JE. Association of glycosaminoglycan depletion and degradative enzyme activity in scoliosis. *Clin Orthop* 1980;148:177-81.
- ¹⁰ Enneking WF, Harrington P. Pathological changes in scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 1969;51:165-84.
- ¹¹ Ruiz C, Rodrigo JL, Seligra A, Laguía M, López A. Electromiografía de la musculatura paravertebral en pacientes con escoliosis idiopática. *Rev S And Traum y Ort* 1992;12:103-5.
- ¹² Reuber M, Schultz A, McNeill T, Spencer D. Trunk muscle myoelectric activities in idiopathic scoliosis. *Spine* 1983;8:447-56.
- ¹³ Bradford DS, Oegema TR, Brown DM. Studies on skin fibroblasts of patients with idiopathic scoliosis. *Clin Orthop* 1977;126:111-8.
- ¹⁴ Skogland LB, Miller JAA. Growth related hormones in idiopathic scoliosis. *Acta Orthop Scand* 1980;51:779-89.
- ¹⁵ Yamada K, Yamamoto H, Nakagawa Y. Etiology of idiopathic scoliosis. *Clin Orthop* 1984;184:50-7.

-
- ¹⁶ Wyne-Davies R. Familial (idiopathic) scoliosis. A family survey. *J Bone Joint Surg Br* 1968;50:24-30.
- ¹⁷ Cowel HR, Hall JN, MacEwen GD. Genetic aspects of idiopathic scoliosis. *Clin Orthop* 1072;86:121-31.
- ¹⁸ Kindsfater K, Lowe T, Lawellin D et al. Levels of platelet calmodulin for the prediction of progression and severity of adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 1994;76:1186-92.
- ¹⁹ Machida M, Miyashita Y, Murai I. Role of serotonin of scoliotic deformity in pinealectomized chicken. *Spine* 1997;22:1297-301.
- ²⁰ Inoue M, Minami S; Kitahara H. Idiopathic scoliosis in twin studies by DNA fingerprinting: the incidence and type of scoliosis *J Bone Joint Surg Br* 1998;80:202-7.
- ²¹ Goldstein LA, Waugh TR. Classification and terminology of scoliosis. *Clin Orthop* 1973;93:10-22.
- ²² Mc Alister WH, Shackelford GD. Classification of spinal curvatures. *Radiol Clin North Am* 1975;13:93-112.

²³ Winter RB. Classification and terminology. En: Lonstein JE, Winter RB, Bradford DS, Ogilvie JW. Moe's textbook of scoliosis and other spinal deformities. 3^a ed. Philadelphia: WB Saunders Company;1978:39-43

²⁴ Dickson RA. Conservative treatment for idiopathic scoliosis. J Bone Joint Surg Br 1985;67:176-81.

²⁵ Wynne-Davies R. The etiology of infantile idiopathic scoliosis. J Bone Joint Surg Br 1974;56B:565-72.

²⁶ Mehta MH. Radiographic estimation of vertebral rotation in scoliosis. J Bone Joint Surg Br 1973;55B:513-20.

²⁷ Ponseti IV, Friedman B. Prognosis in idiopathic scoliosis. J Bone Joint Surg 1950;32:381-95.

²⁸ Lenke LG, Betz RR, Bridwell KH et al. Intraobserver and interobserver reliability of the classification of thoracic adolescent idiopathic scoliosis. J Bone of Joint Surg Am 1998;80:1097-106.

²⁹ Cummings RJ, Loveless EA, Campbell J et al. Interobserver reliability and intraobserver reproducibility of the system of King et al. For the classification of adolescent idiopathic scoliosis. J Bone Joint Surg Am 1998;80:1107-11.

³⁰ King HA, Moe JH, Bradford DS. The selection of fusion levels in thoracic idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 1983;65:1302-13.

³¹ Nachemson A. A long-term follow-up study of non treated scoliosis. *Acta Orthop Scand* 1968;39:466-76

³² Weinstein SL. Natural History. *Spine* 1999;24:2592-600

³³ Dickson JH, Mirkovich S, Noble PS, Nalty T, Erwin WD. Results of operative treatment of idiopathic scoliosis in adults. *J Bone Joint Surg Am* 1995;77:513-23

³⁴ Duriez J. Evolution de la scoliose idiopathique chez: adulte. *Acta Orthop Belg* 1969;33:547-50.

³⁵ Risser JC. The iliac apophysis *Clin Orthop* 1977;122:366.

³⁶ Acheson RM, Dupertuis CW. The relation ship between physique and skeletal maturauion in boys. *Biol* 1957;29:167.

³⁷ Deacon P, Flood BM, Dickson RA. Idiopathic scoliosis in three dimensions: A radiographic and morphometric analysis. *J Bone Joint Surg Br* 1984;66:509-12.

³⁸ Karol LA, Browne RH, Johnston CE. Incidence of curve progression in male idiopathic scoliosis. Presented at SRS Annual Meeting 1991; Minneapolis, MN.

-
- ³⁹ Upadhyay SS, Ho EK, Gunawardene WM et al. Changes in residual volume relative to vital capacity and total lung capacity after arthrodesis of the spine in patients who have adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 1995;75:46-52.
- ⁴⁰ Visscher W, Lonstein JE, Hoffman DA. Reproductive outcomes in scoliosis patients *Spine* 1988;13:1096-8.
- ⁴¹ Soler-García C, Prat J, Peris JL. Técnicas de estudio y evaluación. En: Comin M, Prat J, editores. *Biomecánica del raquis y sistemas de reparación*. 1ª ed. Valencia: Martín Impresores SL;1995:537-601.
- ⁴² Levy AR, Goldberg MS, Mayo NE, Hanley AH, Poitras B. Reducing the lifetime risk of cancer from spinal radiographs among people with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 1996; 21:1540-8.
- ⁴³ Cobb J. Outline for the study of scoliosis. *AAOS Instructional course* 1948;5:261-75
- ⁴⁴ Khel D, Morrissy RT. Brace treatment in adolescent idiopathic scoliosis. An update on concepts and technique. *Clin Orthop Rel Res* 1988;229:34-43
- ⁴⁵ Zetterberg C, Hansson T, Lindstrom J, Istram L, Andersson GB. Postural and time-dependent effects on body height and scoliosis angle in adolescent idiopathic scoliosis. *Acta Orthop Scand* 1983;54:836-40.

⁴⁶ Lonstein JE. Patient evaluation. En Lonstein JE, Winter RB, Bradford DS, Ogilvie JW: Moe's textbook of scoliosis and other spinal deformities. 3^a ed. Philadelphia. WB Saunders Company; 1978:45-86

⁴⁷ Nash C, Moe J. A study of vertebral rotation. J Bone Joint Surg Am 1969;51:223-9

⁴⁸ Theologis TN, Fairbank JC; Turner-Smith AR, Pantazouloupoulos T. Early detection of progression in adolescent idiopathic scoliosis by measurement of changes in back with the Integrated Shape Imaging System scanner. Spine 1997;22(11):1223-7

⁴⁹ Golberg CJ, Kaliszer M, Moore DP, Fogarty EE, Dowling FE. Surface topography, Cobb angles, and cosmetic change in scoliosis. Spine 2001;26(4):E55-63

⁵⁰ Kolima T, Kurokawa T. Quantification of three-dimensional deformity of idiopathic scoliosis. Spine 1992;17(3 Supple):S22-9

⁵¹ Takasaki H. Moiré Topography. Applied optics 1973;12:845-50.

⁵² Turner-Smith AR. A television computer · D surface shape measurement system. J Biomech 1988;21:515-29.

⁵³ Will PM, Pennington KS. Grid coding: a preprocessing technique for robot and machine vision. Artificial Intelligence 1971;2:319-29.

⁵⁴ Arffa RC, Wamichi JW, Rehkopf PG. Corneal topography using rasterstereography. *Refractive and Corneal Surgery* 1989;5:414-7

⁵⁵ Agin G, Binford T. Computer description of curved objects. In *Proc 3^d Int Conf Artif Intell* 1973;629-40.

⁵⁶ U.S. Preventive Services Task Force. Screening for adolescent idiopathic scoliosis. Review article. *J Amer Med Assoc* 1993;269:2667-72.

⁵⁷ Grossman TW, Mazur JM, Cummings RJ. An evaluation of the Adams forward bending test and the scoliometer in a scoliosis school screening setting. *J Pediatr Orthop* 1995;15:535-8.

⁵⁸ Viviani GR, Budgell L, Dok C et al. Assessment of accuracy of the scoliosis school screening examination. *Am J Public Health* 1984;74:497-8

⁵⁹ Lonstein JE, Bjorklund S, Wanninger NH et al. Voluntary school screening for scoliosis in Minnesota. *J Bone Joint Surg Am* 1982;64:481-8

⁶⁰ Cote P, Kreitz BG, Cassidy JD, Dzus AK, Martel J. A study of the diagnostic accuracy and reliability of the scoliometer and Adam's forward bend test. *Spine* 1998;23:796-803.

⁶¹ Morrissy R. School screening for scoliosis. *Spine* 1999;24:2584-91

⁶² Buendía M, Salvador R, Cibrian R, Laguía M, Sotoca JM. Determination of the object surface function by structured light: application to the study of spinal deformities. *Medical Physics in Biology* 1999;44:75-86.

⁶³ Martínez J. Reconstrucción de superficies en entornos de luz estructurada: aplicación a espaldas humanas. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. 2001

⁶⁴ Inami K, Suzuki N, Ono T, Yamashita Y, Kohno K, Morisue H. Analysis of Posterior Trunk Symmetry Index (POTSI) in scoliosis. *Research into spinal deformities* 1999;59:58-88.

⁶⁵ Armitage P, Berry G. Estadística para la Investigación Biomédica. 1ª ed. Barcelona. Ed Doyma;1992.

⁶⁶ Thometz JG, Liu XC, Lyon R, Harris GF. Variability in three-dimensional measurements of back contour with raster stereography in normal subjects. *J Pediatr Orthop* 2000;20:54-8.