

Método Computacional para Cálculo de Lordosis Lumbar y Detección de Hernias Discales a Partir de Imágenes de MRI

H. A. Gallardo, C. G. Paredes, A. Delgado, J. M. Magos, *G. Mendizabal-Ruiz

Departamento de Electrónica y Computación, Benemérita Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México

*gerardo.mendizabal@academicos.udg.mx

Resumen—Los problemas de columna son multifactoriales y uno de ellos es el aumento de la lordosis lumbar. En este trabajo se presenta un método computacional el cual a través de las técnicas de segmentación y propiedades de las formas es posible procesar correctamente las imágenes MRI, obtener el ángulo y la detección de hernias de disco, logrando así obtener los resultados de ambas patologías. Procesando las imágenes MRI logramos obtener el ángulo lumbo-sacro y este ángulo fue comparado con el medido por un software de edición de video e imágenes “Kinovea”, obteniendo un error comparado del 1.04% evaluado en 15 imágenes MRI.

Palabras clave—Lordosis, Hernia, Discal, Diagnóstico, Procesamiento de Imágenes, Hiperlordosis.

I. INTRODUCCIÓN

La columna vertebral es la estructura básica del tronco. Consta de 33-34 vértebras y discos intervertebrales. Las vértebras se dividen en:

- 7 vértebras cervicales
- 12 vértebras torácicas
- 5 vértebras lumbares
- 5 vértebras sacras
- 4-5 vertebras coccígeas

Las vértebras cervicales, dorsales y lumbares son libres, independientes unas de otras, separadas entre sí por los discos intervertebrales. Por el contrario las vértebras pélvicas se sueldan formando 2 estructuras óseas el sacro y el cóccix. Tampoco existe una articulación entre sacro y cóccix.

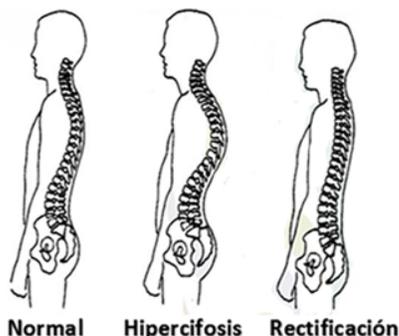


Fig. 1. Descripción de tres tipos de curvatura de la columna.
(Créditos: Jun-lan Prosalud 2013, S.L. HiperCIFOSIS)

Nuestra columna vertebral no es rectilínea, está formada por una serie de curvas (lordosis y cifosis) que desempeñan una

función fundamental para poder soportar de manera eficiente el peso corporal diario. Con la edad, estrés, falta de ejercicio, sedentarismo entre otras razones estas curvas tienden a perderse o incluso a invertirse lo que genera rectificación lumbar o pérdida de curvatura lumbar, hiperlordosis lumbar baja (Fig. 1).

La definición formal de la palabra *lordosis* refiere a una curva del raquis a convexidad anterior. La hiperlordosis o lordosis patológica puede presentarse con un cuadro álgido o no, localizado, generalmente, en la región lumbar; en casos poco frecuentes, en la columna vertebral dorsal.

La conformación ósea del segmento lumbar genera el ángulo lumbosacro que se forma entre el plano horizontal y el plano inclinado de la superficie superior del sacro en el plano lateral. La quinta vértebra lumbar, y por consiguiente el resto de la columna vertebral que se encuentra por superior del plano inclinado, ejerce una fuerza deslizante en sentido antero inferior [1].

Hoy en día existen diferentes métodos y técnicas para lograr determinar el ángulo lumbosacro y así evaluar la posible etiología de síndromes, patologías y dolores a causa del mismo. Para lograr un diagnóstico con rapidez y con un nivel de precisión mayor; se sugieren las técnicas de Cobb, Ferguson y Moe [2].

El ángulo por medio del método de Cobb se valora definiendo las vértebras terminales o finales en cada curva, las cuales se identifican porque son aquéllas que están en cada extremo de la curva más cercana al centro que tiene menos rotación. La vértebra alta de la curva es la más alta, cuya superficie superior gira hacia el lado de la concavidad de la curva, por medir [3].

En el método de Ferguson ortopedista marca un punto en el centro de la sombra del cuerpo en cada una de las tres vértebras (las dos terminales y las dos apicales). La vértebra apical es aquélla más rotada en la cresta de la curva, traza línea desde la parte más alta o vértice de cada extremo y el ángulo de la curva es la divergencia de estas dos líneas en relación con los 180°.

El método de Nash y Moe se observa en la radiografía anteroposterior; la relación que guarda el pedículo con el centro del cuerpo vertebral y la rotación se divide en 5 grados.

Un estudio realizado en 2011 por la Facultad de medicina de la Universidad de Granada analizó los resultados obtenidos

por los diferentes métodos para cuantificar la curvatura de la columna vertebral a partir de los primeros instrumentos de medición hasta el electro-mecánicos computarizado no invasivo conocido como SpinalMouse® [4].

En el 2005 en estudio de la Unidad de Especialidades Médicas de Colima se creó un instrumento que consistía en una cuerda vertical y tres horizontales, y que ha sido utilizado para la evaluación clínica de la postura (Meyer Distributing Co) que fue adaptado para evaluar la lordosis normal, agregando cuerdas horizontales y verticales, con un centímetro de espacio entre ellas, las cuales fueron ancladas a un marco de madera [5].

En 2013 la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez desarrolló un software el cual detecta automáticamente anomalías estructurales como hiperlordosis, cifosis o hipercifosis, dorso plano, rectificación lumbar o escoliosis por medio del análisis postural de perfil de una persona a través de identificadores anatómicos [6].

Como podemos observar, los métodos utilizados en el área médica son antiguos y al día de hoy siguen siendo el estándar en la práctica clínica, por su efectividad, se han utilizado durante muchos años, pero no es perfecto, por lo que se destaca la importancia, en este trabajo, de encontrar maneras de automatizar este método como una herramienta de apoyo al especialista en el proceso de diagnóstico.

La hernia de disco intervertebral se presenta al producirse un desplazamiento de la parte central del disco o núcleo pulposo, con rotura parcial o completa del anillo fibroso y aparición de asimetría focal en la circunferencia externa del disco. “(no coherencia y esta de mas, mal ubicado) [7]. En cuanto a la detección de las hernias, hay que recordar que las radiografías simples, no son útiles para el diagnóstico de la hernia lumbar, aunque sí están indicadas para el diagnóstico diferencial en pacientes con lumbalgias de más de 6 semanas de evolución o cuando en la anamnesis se identifica factores de riesgo [8].

II. METODOLOGÍA

El método computacional propuesto consta de siete pasos:

(i) Marcación de puntos: Se aplicó un método para la selección de coordenadas a partir de clicks en la imagen, dichas coordenadas son almacenadas en un vector dependiendo su eje “x” e “y”. A partir de la selección de puntos en la imagen, se determinó la distancia que existe entre los puntos con la siguiente fórmula:

$$P1 = (x_1, y_2) ; P2 = (x_2, y_2) \quad (1)$$

$$d(P1, P2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2)$$

Se utilizaron pixeles como unidad de medición para así calcular la distancia entre dos puntos dados (**P1** y **P2**).

(ii) Determinación de ángulo: Una vez teniendo la distancia entre los puntos, se procedió a calcular el ángulo de intersección entre las dos rectas que trazadas; una línea al inferior de la vértebra lumbar L1 y la otra, sobre la L5.

El ángulo de intersección de las vértebras se obtuvo calculándolo como ángulo complementario de un triángulo. Sabiendo que la suma de los ángulos internos de un triángulo es de 180° se procedió a calcular los ángulos que forman las líneas de las vértebras L1 Y L5 que al restarle a 180° su adición nos da como resultado el ángulo complementario.

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\text{hipotenusa}}{\text{c.opuesto}} \right) \quad (3)$$

Cada línea trazada forma un triángulo rectángulo, ya que existe un ángulo recto implícito y un cateto adyacente que junto a la línea trazada que es la hipotenusa forman el triángulo rectángulo (ángulo θ).

(iii) Binarización e inversión de imagen: Se selecciona la imagen con la que se desea trabajar y se carga presionando un botón, después de cargar el archivo se emplea una función con la cual binarizar la imagen.

$$T(x,y) = \begin{bmatrix} 0 & \text{si } g(x,y) < t(N(x,y)) \\ 1 & \text{si } g(x,y) > t(N(x,y)) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Sistema de binarización y elección de umbral, regla de cálculo correspondiente de T dinámica. Cálculo para cada píxel x de una zona vecina N en la que se asigna un valor del umbral adecuado t(N).

Se utilizó un slider de GUIDE con el cual se manipuló mediante el scroll bar el porcentaje para el umbral de la imagen, seleccionando así pixel a pixel en el programa, evaluándolo con el mismo para cambiar a blancos y negros. Para la localización de discos dañados por hernia podemos visualizarlos con un tono oscuro el cual al binarizar quedaría de color negro, al utilizar funciones de propiedades de las formas podemos detectar regiones de pixeles blancos.

(iv) Selección de umbral: Una vez binarizada la imagen se elige el umbral ideal para trabajar con una figura más limpia, la cual nos permite detectar con mayor facilidad las vértebras, debido a que, en el MRI, el fondo se visualiza oscuro y las vértebras claras. Una vez binarizada la imagen, las vértebras adoptarán un color negro (con un valor de pixel de 1) y el fondo blanco (con un valor de 0).

(v) Discriminación de objetos: Para eliminar los pequeños objetos detectados que pudieran ser identificados como ruido se utilizó una función que detecta los objetos con determinada área y descartándolos de la imagen para sólo visualizar los objetos detectados como hernias.

(vi) **Delimitación del área a detectar:** Para delimitar el rango de área de píxeles se ingresan los valores en un cuadro de texto dependiendo del tamaño de la imagen.

(vii) **Detección de hernias de disco:** Con propiedades de las formas se calculó el área de píxeles color blanco y se rodeó con un cuadro color rojo al detectar un área en cierto rango con una función dentro de un ciclo, el cual barre la imagen.

$$T(x,y) = \text{si } [g(x,y) < t(N(x,y))] < \text{rango} \quad (5)$$

III. RESULTADOS

El método propuesto fue programado en Matlab utilizando su interfaz gráfica (GUIDE), con la finalidad de generar un entorno más amigable para el usuario, utilizando botones para ejecutar acciones específicas del programa y etiquetas para visualizar los resultados cuantitativos junto con la clasificación de las condiciones posturales en cada caso según la angulación de la columna. Para la detección de hernias en el disco entre las vértebras de la columna mostrada en la imagen de MRI, se empleó el método de segmentación y se utilizaron propiedades de las formas para su detección.

En la siguiente imagen (Fig. 2) podemos apreciar la interfaz gráfica realizada con el software que se utilizó para el proyecto, la imagen de la columna mostrada se obtiene a partir de la selección del archivo en el botón insertar imagen, los vectores remarcados en verde resultan de escoger las coordenadas de la primera vértebra y la última con un puntero que, calculando el ángulo que se explicó en la sección de metodología, muestra el mismo en un box dentro de la interfaz gráfica.



Fig. 2. Ejemplo de la interfaz gráfica en la que se observan las diferentes secciones y el resultado de las marcaciones.

El ángulo calculado con estos vectores remarcados es el determinante para el diagnóstico de la patología que el algoritmo detecte, para mayor referencia, los parámetros estándares del ángulo que resulte de las vértebras fue explicado en la sección de introducción.

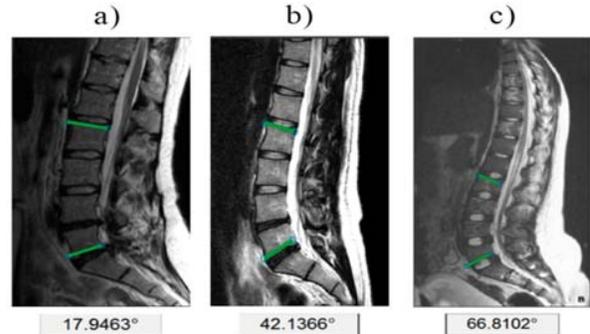


Fig. 3. Ejemplo de resonancias magnéticas de tres pacientes en donde se observa diferentes ángulos de lordosis.

1) Interpretación de resultado:

Como fue descrito en la metodología podemos observar en las Fig. (3a-c), cómo el método computacional detecta satisfactoriamente 3 tipos de columnas diferentes, una con lordosis rectificada (ángulo entre L5 y L1 <20°), la siguiente con una lordosis normal (ángulo entre L5 y L1 >20° y <60°) y la tercera con una anomalía de hiperlordosis (ángulo entre L5 y L1 >60°).

En la Figura 4 se puede observar el reconocimiento morfológico de las hernias discales que el programa fue capaz de detectar manipulando el nivel de contraste con la imagen previamente binarizada (operando con un botón en la interfaz), es importante distinguir que las propiedades topológicas presentes en las imágenes de las formas que ostentan las zonas con una posible hernia de disco nos proporcionan información relevante, ya que las mismas serán examinadas y en caso de cumplir con las especificaciones configuradas en el programa, el mismo remarcará con un box rojo alrededor de la zona.

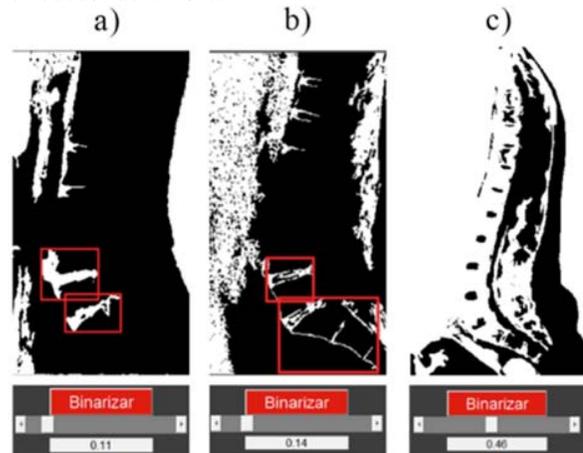


Fig. 4. Ejemplo del reconocimiento morfológico (cuadro rojo), que detecta hernias discales lumbares.

	(°) Obtenido	(°) Kinovea	(%) Diferencia	(%) Error	Ctd. De hernias	Ctd. De hernias detectadas
Muestra 1	52.1786	52.6703	0.4917	0.93	0	0
Muestra 2	42.1366	42.5949	0.4583	1.07	2	2
Muestra 3	38.6774	39.0024	0.325	0.83	1	0
Muestra 4	45.2468	45.3678	0.121	0.26	2	2
Muestra 5	49.0264	49.2620	0.2356	0.47	0	0
Muestra 6	17.9463	17.2109	0.7354	4.09	2	2
Muestra 7	64.0012	64.1995	0.1983	0.30	2	2
Muestra 8	28.5670	28.0074	0.5596	1.95	0	0
Muestra 9	66.8102	67.0962	0.286	0.42	2	1
Muestra 10	42.4589	42.7268	0.2679	0.62	0	0
Muestra 11	51.9870	52.1236	0.1366	0.26	1	1
Muestra 12	19.7123	19.1687	0.5436	2.75	2	2
Muestra 13	45.8465	46.2247	0.3782	0.81	0	0
Muestra 14	39.9806	40.2560	0.2754	0.68	0	0
Muestra 15	55.6874	55.8541	0.1667	0.29	1	0
Promedio			0.3452°	1.04%		
Total					15	12

Tabla 1. Resultados de las pruebas del programa comparado con el software kinovea.

2) Evaluación de resultado:

Se utilizaron 15 imágenes de MRI de la columna lumbar en corte sagital; 5 de ellas con una lordosis lumbar normal y 10 imágenes de las cuales no sabíamos el diagnóstico. En cuanto al ángulo lumbosacro era desconocido en las 15 imágenes. Los ángulos fueron comparados con el dado por el software de edición Kinovea.

Como podemos observar en la Tabla 1 el error promedio en cuanto a la medición de ángulos fue del 1.04% para las 15 muestras hechas, y, un error promedio de 0.3452 grados comparado con el software Kinovea.

En cuanto al conteo de hernias discales podemos apreciar que, de las 15 hernias existentes en total, el software detectó 12 de ellas, teniendo un error del 20%.

IV. DISCUSIÓN

En la realización de este proyecto es importante reconocer las ventajas que ofrece este sistema de detección de patologías, gracias al cálculo de alta precisión con el que cuenta la gran mayoría de programas informáticos existe un margen de error muy reducido, sin embargo, la capacidad de reconocimiento del mismo no es lo suficientemente inteligente si se pone en contraste a la capacidad que tendrá un profesional de la salud que diagnostica la afección en un paciente. Es importante destacar que el método actual en este trabajo es semi-automático y requiere de la intervención constante del usuario, por lo que, es necesario tomar este programa como un apoyo para el especialista, para que el mismo tenga más información al realizar su diagnóstico y así reducir el error humano cuando se lleva a cabo con el procedimiento actual.

Encontramos que investigaciones en este campo resultan importantes, ya que las problemáticas que genera una mala

lordosis pueden concluir incluso en una discapacidad severa, por lo cual el desarrollo en materia de innovación tecnológica. En este campo es crucial para la mejora y el correcto diagnóstico de un paciente con problemas lumbares, ya que de esa manera se puede determinar qué clase de procedimiento post-diagnosis se llevará a cabo.

V. CONCLUSIÓN

Se obtuvieron los resultados deseados utilizando técnicas de procesamiento de imágenes, tales como segmentación, binarización y propiedades de las formas se logró evaluar la condición patológica de la columna lumbar resulta ventajoso a la hora de compararlo con el método tradicional.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Kapandji, A. *Fisiología articular. Tronco y raquis*. Médica Panamericana, Tomo III, 2002.
- [2] Lenke L. G., Betz RR, Harms J, et al. *Adolescent idiopathic scoliosis: A new classification to determine extent of spinal arthrodesis*. J Bone Joint Surg. Am., 83-A:1169-1181, 2001.
- [3] Gilbert F. J., Grant A. M., Gillan M. G., Vale L. D., Campbell M. K, et al. *Low back pain: influence of early MR imaging or CT on treatment and outcome*. Multicenter randomized trial, Radiology, 231:343-51, 2004.
- [4] Moring Lang Tapia, *Estudio de la cifosis torácica y la lordosis lumbar mediante un dispositivo electro-mecánico computarizado no invasivo (SpinalMouse®)*. Universidad de Granada Departamento de fisiología, 2011.
- [5] Bertha Alicia Olmedo-Buenostro, *Evaluación de un marco de referencia postural como prueba diagnóstica de postura lordótica lumbar*, Unidad de Especialidades Médicas de Colima, Colima, Col. México, feb. 2006.
- [6] Nelly Gordillo Castillo, *Sistema de análisis postural*, Universidad Autónoma de Cd. Juárez, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación, 2013.
- [7] Heliovaara, M. *Epidemiology of sciatica and herniated lumbar intervertebral disc*. The Research I. For Soc. Seg., 1-147, 1988.
- [8] Sastre, F. S. *Método de tratamiento de tratamiento de la escoliosis, cifosis y lordosis*. Universitat de Barcelona, 2006.