

Resumen

En los últimos 20 años el sistema sanitario se ha visto revolucionado por la tecnología de la imagen, por lo que el diagnóstico por imagen se ha convertido en un pilar fundamental en el manejo de los pacientes. La Resonancia Magnética y la Tomografía Computarizada son modalidades de imagen que han presentado importantes innovaciones tecnológicas y se han convertido en la herramienta más útil para el diagnóstico de distintas patologías de la columna vertebral.

Hoy en día la degeneración de los discos intervertebrales, la hernia discal y la estenosis del canal vertebral, son tres patologías muy comunes que afectan a millones de personas y causan dolor de espalda. El desarrollo de sistemas de diagnóstico asistido por ordenador (CAD) para clasificar y cuantificar estas patologías se ha incrementado en la última década como una forma de ayuda al radiólogo en el diagnóstico. Por tanto, la primera parte de esta Tesis Doctoral tiene como objetivo el desarrollo de un sistema CAD para la clasificación y cuantificación de la patología discal (degeneración discal, herniaciones y estenosis del canal vertebral) por medio del análisis de Imagen por Resonancia Magnética.

Con este fin se han utilizado dos grupos de pacientes distintos, uno como grupo de entrenamiento (14 pacientes) y el otro como grupo de prueba (53 pacientes). Para la clasificación de la degeneración discal, según la nomenclatura estándar descrita por Pfirrmann, se ha desarrollado un método basado en el cálculo de la estructura del disco y de su señal de intensidad. El método de detección de herniaciones se ha centrado en la segmentación del disco y su aproximación por una elipse, para extraer así información sobre la forma del disco y detectar posibles anomalías en el contorno del mismo. El método de detección de estenosis, basado en la señal de intensidad, ha sido desarrollado para extraer el canal vertebral y, con la aplicación de diferentes técnicas, detectar estrechamientos a la altura de los discos y cuantificar la gravedad de los mismos.

Los resultados han demostrado una alta precisión en la segmentación, con un error inferior al 1 %. En cuanto a la reproducibilidad, se ha obtenido un acuerdo casi perfecto (medido con los coeficientes CCI y k) para todas las patologías analizadas: degeneración discal ($k=0,81$ con $IC\{95\%}=[0,75..0,88]$) con una sensibilidad del 95,8 % y una especificidad del 92,6 %; herniaciones ($k=0,95$ con $IC\{95\%}=[0,87..1,03]$) con una sensibilidad del 60 % y una especificidad del 87,1 %;

estenosis categórica ($k=0,85$ con $IC\{95\%}=[0,77..0,93]$) y estenosis cuantitativa ($CCI=0,95$ con $IC\{95\%}=[0,91..0,97]$) con una sensibilidad del 70 % y una especificidad del 81,7 %. Los resultados obtenidos demuestran que los métodos desarrollados pueden servir de ayuda al radiólogo en el diagnóstico, mejorando la reproducibilidad y logrando una mayor objetividad.

Sin embargo, no sólo los discos intervertebrales son susceptibles de sufrir alguna patología. Los cuerpos vertebrales también pueden sufrir lesiones por diversas circunstancias. Una patología vertebral de gran importancia, por su alta incidencia en los pacientes con cáncer, es la metástasis ósea. Un análisis biomecánico, a partir de un modelo por elementos finitos de la columna vertebral, representa un buen factor predictivo del riesgo de fractura de las vértebras metastásicas en pacientes oncológicos, tras una óptima segmentación de las mismas. Además, el conocimiento exacto sobre la localización del canal vertebral es esencial en el proceso de radioterapia para evitar daños de la médula espinal, y es un paso importante para automatizar el proceso de segmentación. Por tanto, antes de realizar cualquier tarea de diagnóstico, llevar a cabo una detección y segmentación precisa de los cuerpos vertebrales es un primer paso crucial. Así pues, la segunda parte de esta Tesis Doctoral tiene como objetivo el desarrollo de un método automático para la detección y segmentación de la columna vertebral por medio del análisis de Tomografía Computarizada.

Llevar a cabo una segmentación automática y precisa es una tarea complicada debido principalmente a la gran dificultad para distinguir entre los cuerpos vertebrales y las costillas. Para solucionar este problema se han combinado dos métodos de segmentación diferentes: el primero utiliza un método *Level-Set* para llevar a cabo una segmentación inicial, detectando previamente el canal vertebral de forma que el proceso sea completamente automático; el segundo utiliza un atlas probabilístico, para refinar la segmentación inicial, con un enfoque especial en la supresión de las costillas. Por tanto, se ha obtenido un volumen 3D indicando la probabilidad de cada *voxel* de pertenecer o no a la columna vertebral, por medio de un conjunto de imágenes correspondientes a 14 pacientes (grupo de entrenamiento) segmentadas manualmente por un experto. El mapa de probabilidad generado ha sido deformado y adaptado a cada uno de los 7 pacientes del grupo de prueba.

Para evaluar los resultados de la segmentación y la mejora obtenida después de aplicar el atlas a la segmentación inicial, se ha utilizado el coeficiente Dice (DSC) y la distancia Hausdorff (HD). Los resultados han demostrado una mejora en la

precisión de la segmentación de 11 mm de media en términos de HD, con una media global de $14,98 \pm 1,32$ mm. En términos de DSC se ha obtenido una mejora de un 1,3 % , con una media global de $91,75 \pm 1,20$ %. La mayor mejora se ha obtenido en la región torácica, donde las costillas han sido detectadas y suprimidas. El estudio ha demostrado que el atlas es capaz de detectar y eliminar apropiadamente las estructuras costales al tiempo que mejora la precisión de la segmentación.

Ambas partes de esta Tesis Doctoral han permitido trabajar en torno a la columna vertebral y su análisis no invasivo mediante análisis de imagen, proporcionando métodos de diagnóstico asistido por ordenador para dar solución a problemas relacionados con los distintos elementos que componen esta estructura. Por un lado se ha desarrollado un sistema CAD capaz no sólo clasificar sino de cuantificar la patología discal y lumbar degenerativa mediante análisis de imagen por resonancia magnética. Por otro lado, se ha desarrollado un método automático para la detección y segmentación de los cuerpos vertebrales mediante análisis de imagen de Tomografía Computarizada. Este método abre la vía para una posterior clasificación del hueso y una caracterización cuantitativa de la metástasis vertebral para el desarrollo de un biomarcador del riesgo de fractura en pacientes oncológicos.