

Resumen

El comportamiento del corazón se rige por corrientes eléctricas generadas en el miocardio y, por lo tanto, el estudio de su actividad eléctrica es esencial para el diagnóstico de enfermedades cardíacas. Las corrientes eléctricas en el miocardio generan un campo eléctrico que se propaga a través de los tejidos conductores del cuerpo alcanzando la superficie del torso y, por lo tanto, el registro de la distribución de los potenciales de superficie proporciona información sobre el comportamiento eléctrico del miocardio. La técnica del mapeo de potenciales de superficie permite el registro multicanal en la superficie del torso, proporcionando información completa de la actividad eléctrica cardíaca, observando eventos indetectables mediante técnicas convencionales.

La relación matemática entre la actividad eléctrica del miocardio y los campos registrados en la superficie del torso pueden obtenerse mediante la resolución del problema directo o inverso de la electrocardiografía. El problema directo de la electrocardiografía implica el cálculo de los potenciales del torso a partir de la actividad eléctrica del corazón y el modelo 3D del cuerpo, mientras que la resolución del problema inverso permite la reconstrucción no invasiva de la actividad eléctrica del corazón a partir de los potenciales de superficie. La resolución del problema inverso de la electrocardiografía tiene una gran importancia en la práctica clínica dado que hace posible la estimación de la actividad eléctrica del miocardio únicamente a partir de registros no invasivos. Sin embargo, la resolución del problema inverso sigue siendo un gran desafío para la electrocardiografía ya que está mal planteado, es muy inestable y tiene múltiples soluciones.

A lo largo de esta tesis se han desarrollado diferentes estrategias basadas en la resolución del problema inverso, aplicándolas en el diagnóstico no invasivo de arritmias ventriculares y auriculares, verificándolas mediante modelos celulares matemáticos y bases de datos clínicas. La tesis se centra en la resolución del problema inverso para la reconstrucción no invasiva de la actividad eléctrica del miocardio para diferentes enfermedades cardíacas con diferentes patrones de propagación, implementando un novedoso sistema para patrones de propagación complejos. Además, se han validado los resultados obtenidos y se han clasificado los diferentes patrones de propagación con la estrategia de resolución del problema inverso óptima que minimice el error y aumente la estabilidad del sistema, demostrando sus ventajas y desventajas dependiendo de las diferentes enfermedades cardíacas y su patrón de activación.

Un nuevo método iterativo fue implementado para la resolución del problema inverso para fuentes dipolares, siendo óptimo para representar patrones de propagación simples, logrando una alta estabilidad e inmunidad al ruido al restringir la solución a un número limitado de dipolos. Sin embargo, los patrones de propagación que no pueden ser representados por un número limitado de dipolos deben calcularse mediante la resolución del problema inverso en términos de potenciales epicárdicos, proporcionando una estimación más detallada de la actividad del miocardio. La resolución del problema inverso en el dominio de la tensión y fase mostró ser muy preciso para patrones de propagación simples y organizados. Este método permite el diagnóstico no invasivo del síndrome de Brugada o la ubicación de focos ectópicos en arritmias auriculares mediante un análisis paramétrico de la morfología de los electrogramas o la reconstrucción de los mapas de activación. Sin embargo, los resultados matemáticos y clínicos presentados en esta tesis demostraron que, para patrones de propagación complejos como la fibrilación auricular (FA), los resultados obtenidos mediante la resolución del problema inverso en el dominio de la tensión y fase son demasiado suaves y optimistas, simplificando enormemente la complejidad de la FA, llevando a resultados no fisiológicos que no coinciden con la actividad compleja de los electrogramas intracardiacos registrados en pacientes con FA. En esta tesis, se ha propuesto una novedosa técnica para la identificación y localización no invasiva de fuentes con una frecuencia dominante alta, basado en la suposición de que en muchos casos las fuentes eléctricas que generan y mantienen la FA presentan una tasa de activación más alta, con una propagación intermitente hacia el resto del tejido auricular cuya frecuencia de activación es más lenta. Aunque las soluciones en el dominio de la tensión y fase para patrones de propagación complejos fueron más suaves y menos precisas, la estimación no invasiva de los mapas de frecuencia fue significativamente más precisa, permitiendo la identificación del gradiente de frecuencia y ubicación de las fuentes de FA de alta frecuencia. Esta técnica puede ser de gran ayuda en la planificación de los procedimientos de ablación, evitando punciones interseptales innecesarias para casos con un gradiente de frecuencia de derecha a izquierda y facilitando la localización de las fuentes de alta frecuencia responsables de la FA, reduciendo el riesgo y la duración de la intervención.