

Resumen

El aumento de la esperanza de vida y la inversión de la pirámide poblacional plantean un desafío al sector sanitario debido al incremento de lesiones articulares y cirugías reconstructivas per cápita. Esto aumenta la demanda de personal rehabilitador en una sociedad con menos población activa. La robotización de las terapias puede aliviar esta presión al automatizar los ejercicios repetitivos. Además, el uso de tecnologías como los modelos músculo-esqueléticos mejoran las terapias, acortando los tiempos de recuperación y optimizan los resultados.

La aplicación de modelos músculo-esqueléticos en robots de rehabilitación garantiza la seguridad del paciente al limitar las fuerzas excesivas y evitar posiciones peligrosas. Al mismo tiempo, brinda información adicional al personal rehabilitador para un seguimiento más preciso y personalizado de las terapias a los pacientes. Sin embargo, estos modelos son costosos computacionalmente, lo que dificulta su implementación en el control de robots.

En el proyecto en el cual se integra esta tesis, se ha establecido el objetivo de construir un robot de rehabilitación que integre un modelo músculo-esquelético capaz de calcular en tiempo real las fuerzas musculares y articulares. Conocer las fuerzas garantiza la seguridad del paciente, proporciona información sobre las fuerzas durante los ejercicios y optimiza las terapias. Además, a partir del modelo músculo-esquelético se busca desarrollar nuevas herramientas para personalizar los ejercicios y mejorar los resultados. El modelo del miembro inferior, con seis grados de libertad, se ha simplificado para garantizar el cálculo en tiempo real. Se ha utilizado el concepto de grado de libertad funcional para predecir las relaciones entre los grados de libertad en un ejercicio concreto, reduciendo la carga computacional y permitiendo su uso en tiempo real durante los ejercicios de rehabilitación.

El modelo consta de tres grados de libertad para la cadera, simulando una junta esférica, modelada como tres pares de revolución perpendiculares entre sí, uno para la rodilla, modelada como un mecanismo de cuatro barras, y dos grados de libertad para el tobillo. Se calculó el centro de giro de la cadera y los parámetros del mecanismo de cuatro barras mediante ejercicios de calibración articular para lograr una mayor personalización del modelo. El tobillo se ha modelado empleando los datos de Klein Horsman debido a su dificultad de calibración. Del mismo trabajo se han tomado los parámetros musculares, los cuales se han simplificado para reducir el coste computacional. Se calculan las tensiones musculares mediante las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker, minimizando el sumatorio cuadrático de las tensiones de los músculos.

El modelo se ha validado y verificado siguiendo las recomendaciones de buenas prácticas de Hicks. Se ha comparado los resultados del presente modelo con otro similar generado en AnyBody y con los datos empíricos del “Grand Challenge”, se ha analizado la solidez del modelo frente a las simplificaciones realizadas y los errores de los datos de entrada. Según los resultados obtenidos, el modelo músculo-esquelético es lo suficientemente preciso para ser utilizado en un robot de rehabilitación, garantizando la seguridad de los pacientes y prediciendo la activación muscular.

Por último, se han desarrollado dos nuevas herramientas utilizando el modelo actual. La primera estima la Máxima Contracción Voluntaria del sujeto proyectando las fuerzas musculares al efector final del robot. La segunda herramienta calcula la fuerza externa necesaria para garantizar una fuerza muscular específica. Empleando ambas herramientas se logra una mayor personalización de las terapias de rehabilitación, mejorando el proceso. Ambas herramientas han sido probadas empleando el robot de rehabilitación.