

Resumen

La Fotogrametría es una ciencia y tecnología que tiene utilidad médica creciente. Se describen los antecedentes históricos de esta utilidad, destacando algunos hitos históricos relevantes. Se expone su finalidad última, objetivos generales y aplicaciones médicas, detallando los objetivos específicos y utilidad de cada aplicación. Se citan las aplicaciones de la Fotogrametría en Dermatología, clasificando los parámetros de evaluación de la piel y describiendo las alteraciones observadas en la piel en diversas circunstancias, normales o patológicas.

Una aplicación médica destacable de la Fotogrametría es la medición de las úlceras de la piel. Se tratan las técnicas utilizadas en esta medición. Se incluyen las características que debería reunir un procedimiento ideal de medición. Se abordan los criterios de clasificación de dichas técnicas, describiendo el flujo de proceso para los procedimientos de contacto y sin contacto. Se explican y clasifican las variables morfométricas medidas más frecuentemente y otras variables cualitativas que pueden tener relación con el pronóstico de la úlcera. Se propone una clasificación de las técnicas de medición de las úlceras y se describen las mismas. Finalmente, se trata el proceso del desarrollo de un procedimiento de medición, explicando: los tipos de estudios de investigación a incluir, los modelos de investigación de úlceras referidos en la bibliografía y unas recomendaciones sobre los tipos de estudios que deben incluirse preferiblemente.

Las úlceras de la piel constituyen un problema médico y social importante: por su elevado coste económico, afectación de la salud y calidad de vida, frecuente cronicidad y complicaciones.

La medición de la úlcera es necesaria y útil para el seguimiento clínico. Comenzó a hacerse en 1 y 2 dimensiones, para evaluar su evolución. La disminución de variables de tamaño de la úlcera indica su progresión hacia la cicatrización.

Los procedimientos tradicionales de medición unidimensional y bidimensional, como la regla graduada y la planimetría con acetato, se siguen utilizando por su sencillez y comodidad de uso. Sin embargo, son invasivos y tienen inconvenientes técnicos, como inexactitud e imprecisión. Otros procedimientos de medición tridimensional (3D), como la inyección de líquido y los moldes de pasta, pueden tener, además, efectos adversos, como dolor, irritación o reacción alérgica.

Algunos procedimientos sin contacto que utilizan técnicas de escaneo con luz estructurada o láser: 1/ necesitan dispositivos de escaneo específicos; 2/ no se ha demostrado su utilidad en la práctica clínica; 3/ tienen un coste elevado.

Por otra parte, no hay un procedimiento de referencia (patrón oro) para la medición del volumen de las úlceras cutáneas. Una optimización de las técnicas utilizadas para la valoración objetiva de la evolución de las úlceras de la piel ayudaría a comparar la eficacia de los distintos tratamientos y seleccionar los más adecuados, así como predecir el tiempo de curación.

Por todo lo anterior, se justifica el desarrollo de un procedimiento de medición de úlceras basado en una técnica fotogramétrica sin contacto, como la estereofotogrametría. El interés del desarrollo de este procedimiento aumentaría si éste no requiere un dispositivo de escaneo específico, se demuestra su utilidad en la práctica clínica y no tiene un coste elevado.

El objetivo general de esta tesis es desarrollar un procedimiento fotogramétrico para el escaneo, medición, clasificación tisular y seguimiento clínico de úlceras cutáneas; y validar dicho procedimiento en un estudio clínico con pacientes, evaluando su fiabilidad y exactitud.

Este objetivo general incluye los siguientes objetivos específicos:

- a. Definir un procedimiento de escaneo, basado en estereofotogrametría, que utilice una sola cámara fotográfica digital ubicada en localizaciones previamente definidas.
- b. Desarrollar un programa informático para delimitar el contorno de las úlceras cutáneas.
- c. Desarrollar un programa informático para determinar los tipos de tejido presentes en las úlceras cutáneas y su proporción relativa.
- d. Desarrollar un programa informático que calcule variables morfométricas de úlceras cutáneas (coeficiente de circularidad, coeficiente de lisura, longitud máxima, perímetro, profundidad máxima, área proyectada, área de la superficie excavada, área de la superficie de referencia y volumen) y presente estos resultados para facilitar su interpretación por el personal sanitario.
- e. Desarrollar una plataforma web de gestión y análisis de datos de úlceras cutáneas.

El procedimiento SfM-3DULC está basado en las técnicas estereofotogramétricas SfM (*Structure from Motion*) y MVS (*Multi View Stereo*) y utiliza como software de escaneo Agisoft PhotoScan y como software de medición del modelo 3D el programa 3DULC, creado por los autores. Este procedimiento escanea y reconstruye un modelo digital 3D de la úlcera utilizando una cámara digital, con la que se adquieren una serie de fotografías desde varias localizaciones y orientaciones.

El software 3DULC permite medir variables morfométricas a partir del modelo 3D de la úlcera, clasificar y cuantificar los tipos de tejido presentes en la misma. Se utiliza después de la reconstrucción de la nube de puntos de la úlcera, independientemente de la técnica de escaneo utilizada para ello, como estereofotogrametría, luz estructurada o láser.

Para la validación del procedimiento SfM-3DULC, se realizó un estudio piloto en el que se evaluó su fiabilidad y exactitud. También se propuso una nueva variante del procedimiento ImageJ, en la que se utiliza una ortofotografía (Ortho-ImageJ), para medir el área proyectada. Por último, se compararon las mediciones realizadas por un grupo de dermatólogos y otro grupo de no expertos.

Cinco evaluadores expertos en dermatología y cinco evaluadores ajenos a la Medicina midieron 33 úlceras de la pierna cinco veces con cada uno de los tres procedimientos expuestos. Se evaluó la fiabilidad intra e inter evaluador de SfM-3DULC con el Coeficiente de Correlación Intraclass (ICC 2,1). Se utilizó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras pareadas ($\alpha=0.05$) para: 1/ Analizar la exactitud de SfM-3DULC y Ortho-ImageJ en la medición del área proyectada, comparando sus valores con los obtenidos utilizando ImageJ; 2/ Comparar las mediciones de las úlceras realizadas por dermatólogos y no expertos.

Todas las variables medidas por dermatólogos usando SfM-3DULC mostraron excelentes puntuaciones de fiabilidad intra-evaluador (ICC > 0.99) e inter-evaluador (ICC > 0.98). No se encontraron diferencias significativas entre los tres procedimientos al comparar los valores de área proyectada. Se encontraron diferencias significativas entre las mediciones realizadas por dermatólogos y no expertos en las siguientes variables: coeficiente de circularidad, perímetro, área proyectada, área de la superficie excavada y área de la superficie de referencia. El procedimiento SfM-3DULC tiene una excelente fiabilidad, es exacto para la medición del área proyectada y puede ser utilizado por los dermatólogos en el seguimiento de las úlceras cutáneas en la práctica clínica diaria.

En conclusión, el software 3DULC desarrollado, en su versión 1.0: 1/ Interviene en la fase de medición de la úlcera cutánea, tras su escaneo. 2/ Es autónomo respecto al procedimiento de escaneo, y podría utilizarse junto a cualquier otra técnica que obtenga una nube de puntos de la úlcera cutánea. 3/ Detecta el contorno de la úlcera de forma asistida basándose en su respuesta espectral. 4/ Clasifica las zonas de la úlcera cutánea según su tipo de tejido utilizando un árbol de decisión. 5/ Mide las siguientes variables morfométricas de la úlcera cutánea: coeficiente de circularidad, coeficiente de lisura, longitud máxima, perímetro, profundidad máxima, área proyectada, área de la superficie excavada, área de la superficie de referencia y volumen. 6/ Presenta los resultados con un informe HTML que facilita la interpretación por personal sanitario. Este informe podría estar accesible de forma online desde la plataforma web creada, cuando sus garantías de seguridad así lo permitan.

En el estudio de validación se concluyó lo siguiente, respecto al procedimiento de escaneo y medición de úlceras cutáneas SfM-3DULC: 1/ Tiene una excelente fiabilidad. 2/ Es exacto para la medición del área proyectada, al compararlo con la técnica de referencia ImageJ, de planimetría con imagen digital. 3/ Utiliza fotografías obtenidas con una cámara digital y los dermatólogos pueden utilizarlo para el seguimiento de las úlceras cutáneas en la práctica clínica habitual.