

Evaluación cuantitativa de la postura humana mediante el análisis digital de imágenes

Jonas Grande Barreto¹, J. Héctor Contreras Angoa², Aldrin Barreto Flores¹,
Jaime Rebollo Vázquez², Ricardo Álvarez González¹, J. Francisco Portillo
Robledo¹

¹ Facultad de Ciencias de la Electrónica, Universidad Autónoma de Puebla.

² Escuela de Fisioterapia, Universidad Autónoma de Puebla,
Av. San Claudio y 18 Sur Puebla, México.

Abstract. Postural evaluation is based on traditional methods without a unified approach to obtain quantitative results. Digital image analysis applied to the postural evaluation presents an alternative that complements evaluation and allows obtain better diagnostic. This paper describes an algorithm that applies two methods to obtain quantitative results in postural evaluation. Both methods are designed to identify markers located in specific anatomical parts on the evaluated patient. The first method uses regions analysis for detecting areas corresponding to the markers. The second method uses the Hough transform to detect circles taking advantage of marker's geometry. The results obtained by implementing both methods are the coordinates of the markers, from these points the slope equation is implemented to generate a quantitative evaluation result.

Keywords: postural evaluation, marker identification, image analysis, regions analysis, Hough transform.

Resumen. Las valoraciones posturales se basan en métodos tradicionales sin un parámetro unificado para la obtención de resultados cuantitativos. El análisis digital de imágenes aplicado a la evaluación postural presenta una alternativa que complementa la evaluación y permite obtener un mejor diagnóstico. En el presente trabajo se describe un algoritmo que aplica dos métodos para obtener resultados cuantitativos en la evaluación postural. Ambos métodos fueron diseñados para identificar marcadores ubicados en partes anatómicas claves del paciente evaluado. El primer método utiliza análisis de regiones para la detección de áreas correspondientes a los marcadores. El segundo método utiliza la transformada de Hough para la detección de círculos aprovechando la geometría de los marcadores. Los resultados obtenidos al implementar ambos métodos consisten en las coordenadas de los marcadores, a partir de esos puntos se implementa la ecuación de la pendiente para generar un resultado cuantitativo de la evaluación.

1. Introducción

La evaluación postural es un campo correspondiente a la fisioterapia [1], está enfocada a la exploración del aparato locomotor principalmente rodillas, cadera y hombros. Se evalúa la posición de las articulaciones, idealmente éstas deben alinearse de tal forma que una línea recta imaginaria cruce a través de ellas. Si la línea no intersecta alguna articulación entonces se diagnostica una alteración en la postura [1]. El método de evaluación consiste en colocar al paciente detrás de una cuadrícula para ubicar la silueta con puntos de referencia, por lo que la evaluación se basa en la percepción del fisioterapeuta. Los trabajos desarrollados por [2] y [3] mostraron el potencial de utilizar procesamiento de imágenes para analizar el rango de movimiento del cuerpo humano. Otra alternativa que se ha reportado es el uso del sensor KINECT de microsoft, el cual ha tenido aplicación en el campo de análisis biomecánico para rehabilitación como lo muestran los trabajos de [4] y [5], aunque se debe considerar el grado de error del sistema KINECT que se ha reportado por [6].

Para un tema relevante como la salud de un paciente, se desea reducir al mínimo los errores que pueda generar el resultado del procesamiento. Otra técnica que se destaca en el análisis postural es el uso de marcadores colocados por un experto en el cuerpo del paciente como en los trabajos de [7] y [8]. El éxito de sus resultados se debe a que al estar colocados en el cuerpo del paciente se tiene una mayor precisión en la detección y diagnóstico de patologías posturales. En este documento se describe la implementación de dos métodos para la detección de los marcadores.

El primer método consiste en el análisis de regiones para la detección de áreas, en el cual se busca los grupos de píxeles que cumplan un requisito específico y conformen un área determinada. El segundo método implementa la transformada de Hough para la detección de círculos (CHT) [9], esta técnica fue seleccionada con el propósito de aprovechar la geometría de los marcadores. Los resultados que aporta la CHT son las dimensiones geométricas de los marcadores (radio, área) y las coordenadas del elemento detectado. Una vez detectadas dichas agrupaciones se calcula el centroide de los elementos para obtener su ubicación dentro de la imagen. A partir de las coordenadas obtenidas por ambos métodos se implementa la ecuación de la pendiente para obtener un resultado cuantitativo el cual se representa con un valor angular para la posición de las articulaciones.

2. Metodología

Para realizar la captura de las imágenes se desarrolló un sistema de visión por computadora compuesto por una cámara digital, sistema de iluminación y marcadores reflectantes. Un experto en fisioterapia coloca los marcadores a la altura de maléolos exteriores, cóndilos femorales, trocánters mayor y acrómios. Se capturan imágenes de un fondo al igual que tomas de los planos sagitales izquierdo y derecho del paciente. La primera parte del algoritmo consiste en segmentar la silueta del paciente y generar una imagen que pueda ser procesada mediante los métodos de análisis de regiones y CHT.

2.1. Segmentación de la silueta

El proceso para generar dicha imagen se basa en cuatro pasos: primero se realiza la operación de resta tomando las imágenes de los planos y el fondo para segmentar la silueta del paciente en ambos planos. En el segundo paso se umbralizan las imágenes resultantes de la resta a partir de un umbral dinámico como lo reportó [10], la silueta segmentada se presenta como un objeto del cual es posible obtener dimensiones. En el tercer paso se toman las dimensiones del objeto segmentado y se recorta la silueta en las imágenes resultantes en la resta, el recorte se efectúa para reducir el tamaño de la imagen a procesar. En el cuarto paso las imágenes recortadas son sometidas a filtros, gaussiano y mediana, para eliminar el ruido y agrupar los píxeles que conforman el área de los marcadores. La imagen resultante del filtrado proporciona características distintivas a los marcadores pues estos se presentan como *huecos* dentro de la silueta del paciente.

2.2. Análisis de regiones

La implementación del algoritmo inicia con el umbralado de la imagen segmentada, el resultado de este proceso presenta la silueta del paciente con huecos conformados por el área de los marcadores. Posteriormente la imagen es revertida y se aplica una dilatación utilizando un elemento de estructura con dimensiones 3x4 como en el trabajo reportado por [11], la dilatación da a los marcadores un área característica. Posteriormente se etiquetan los objetos presentes en la imagen para analizar sus características geométricas y seleccionar a aquellos que cumplen con la condición requerida, en este caso es el área la cual es calculada mediante la cantidad de píxeles que conforman al objeto.

Para seleccionar los objetos de interés se realiza la comparación de su área, este valor debe encontrarse dentro de un rango preestablecido. Los elementos que no cumplen con el requisito son descartados, para los elementos que superan la prueba se calcula el centroide de cada uno. La información de los centroides es ordenada tomando el siguiente orden, el primer elemento es el marcador ubicado en el tobillo (maléolo), seguido por los marcadores de rodilla (cóndilo), cadera (trocánter) y hombro (acrómio).

Las coordenadas de cada marcador se utilizan para calcular la posición angular de las articulaciones mediante la ecuación de la pendiente. El primer valor es calculado a partir de la relación tobillo-rodilla, el resultado es la posición angular de esta última. El segundo valor es la relación rodilla-cadera, su resultado es la posición de la cadera. Finalmente la posición del hombro se calcula a partir de la relación cadera-hombro.

2.3. Transformada de Hough

La operación de resta presenta a los marcadores como círculos oscuros, por lo cual la CHT es una buena técnica para identificarlos. A pesar de su gran eficiencia, la CHT tiene algunas complicaciones al detectar círculos con radios menores a 10 píxeles. MATLAB cuenta con una herramienta que implementa la CHT con

un factor de sensibilidad (S), este parámetro mejora las probabilidades para la detección de candidatos que presentan oclusiones o distorsiones en su forma. Sin embargo, al aumentar la sensibilidad sin una referencia pueden aparecer falsos positivos. Para aprovechar la herramienta se diseñó un algoritmo que permite obtener resultados ajustando de forma automática los parámetros de entrada.

Los parámetros de entrada son el radio del candidato a ser detectado y el factor S , los resultados obtenidos del procesamiento son el número y las coordenadas del centro de los círculos detectados. Para verificar que los candidatos detectados sean los marcadores sus centros deben cumplir con la Eq. 1, donde $C(x, y)$ son las coordenada del centro del círculo e I_B es la imagen binaria obtenida del umbralado de la imagen resultante de la resta, la cual es posteriormente revertida con el propósito de presentar a los marcadores como agrupaciones de píxeles con valor lógico de 1. Con este proceso es posible verificar que los centros de los círculos detectados se encuentran dentro de un marcador, los candidatos que no cumplen la condición son descartados.

$$C(x, y) = \{(x, y) \mid I_B(x, y) = 1\} \quad (1)$$

El número de candidatos aprobados debe ser igual al número de marcadores colocados en el paciente ($M = 4$), de no ser igual, la imagen es pasada nuevamente por la CHT pero con un incremento en $S(\Delta S)$, los incrementos se realizan hasta cumplir con la condición requerida. Al realizar una retroalimentación se asegura la obtención de resultados deseados. Con las coordenadas obtenidas al aplicar la CHT se utiliza la ecuación de la pendiente para calcular el valor angular de la articulaciones analizadas, la figura 1 muestra el diagrama de bloques del algoritmo.

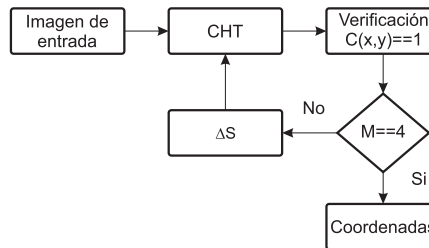


Fig. 1. Diagrama de bloques del algoritmo.

3. Comparación de resultados

Las pruebas realizadas con ambos métodos se llevaron a cabo en la Escuela de Fisioterapia perteneciente a la Universidad Autónoma de Puebla. Se tomaron fotos de 12 voluntarios a los cuales se les proporcionó dos prendas de vestir y un

gorro, todo en color negro con el objetivo de facilitar la segmentación y detección de los marcadores.

Utilizando el método de análisis de regiones es posible detectar los marcadores, sin embargo esta técnica es susceptible a las variaciones de iluminación lo cual afecta en la segmentación de los pies. Para solucionar ese problema se analizaron las imágenes por segmentos a fin de aislar la región de las extremidades inferiores y aplicar un umbral dinámico a fin de reducir los posibles errores por variación de iluminación. Este método tuvo una efectividad del 80 % con respecto a los 12 pares de imágenes analizadas.

Por el contrario, la CHT es robusta ante las variaciones de iluminación y a las posibles variaciones de tamaño que pueden presentar los marcadores en la imagen segmentada. Esta técnica requiere de menos procesamiento para realizar ajustes y obtener los resultados deseados. Ambos métodos son capaces de detectar los marcadores, sin embargo la CHT tiene una efectividad del 100 % al detectar los marcadores.

Conociendo las coordenadas de los marcadores, la Ecuación de la pendiente es una forma eficiente de obtener valores cuantitativos en la evaluación postural. A partir de las coordenadas es posible trazar líneas que muestren la distribución de las articulaciones, la figura 2 muestra los resultados del análisis sobre los planos sagitales izquierdo y derecho utilizando ambos métodos. La línea recta blanca representa la referencia donde deben ubicarse las articulaciones, la línea punteada representa la distribución de las mismas, las flechas indican la dirección del ángulo, los puntos A, B, C y D son los puntos anatómicos marcados.

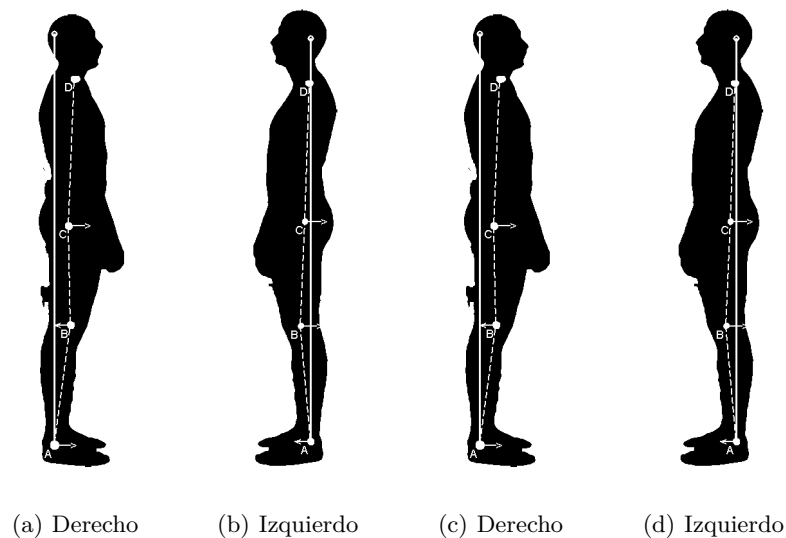
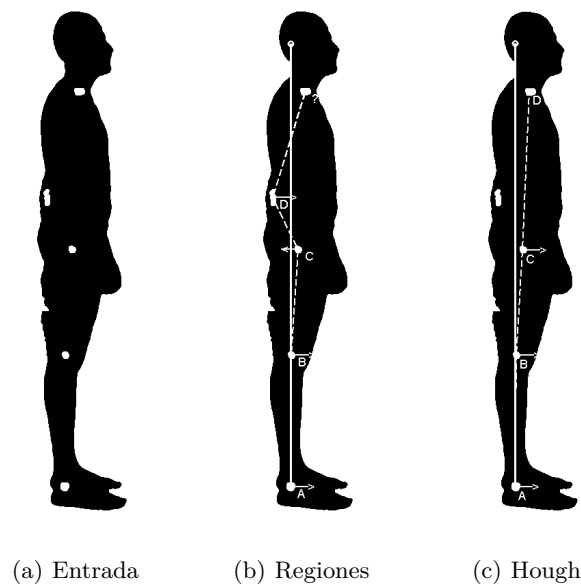


Fig. 2. Análisis de postura: las imágenes a) y b) se obtuvieron con CHT, las imágenes c) y d) se obtuvieron con análisis de regiones.

Tabla 1. Resultados de la valoración postural.

Plano	Tobillo-Rodilla (A)	Rodilla-Cadera (B)	Cadera-Hombro (C)
Izquierdo (Regiones)	85.260°	87.892°	88.135°
Izquierdo (Hough)	84.920°	87.541°	88.144°
Derecho (Regiones)	82.042°	88.522°	87.238°
Derecho (Hough)	82.385°	88.891°	87.749°

La tabla 1 presenta los resultados cuantitativos de la evaluación postural, el diagnóstico terapéutico a partir de la información de la tabla y el apoyo gráfico de las imágenes es una flexión constante en las rodillas y el hombro derecho caído. Estos problemas son causados por la tensión en de los flexores de la cadera para el caso de la rodillas y abducción en la escápula para el caso del hombro. Si la silueta es segmentada por completo sin ninguna alteración, ambos métodos resultan efectivos y tienen muy poca variación en sus resultados. Sin embargo, si la silueta presenta objetos que poseen un área similar a los marcadores, el análisis de regiones presenta problemas para diferenciar entre ambos como lo muestra la figura 3b. Dicho problema puede resolverse agregando más características a evaluar tales como perímetro y redondez de los objetos analizados. Por el contrario, la CHT resulta efectiva en la detección correcta de las regiones de interés debido a los parámetros utilizados para realizar la identificación como lo muestra la figura 3c.

**Fig. 3.** Comparación de métodos.

La ventaja de la CHT radica en que evalúa los parámetros de forma y dimensiones de los objetos a diferencia del análisis de regiones implementado el cual evalúa únicamente dimensiones haciéndolo susceptible a errores de identificación. La tabla 2 muestra los resultados obtenidos en la valoración de 12 pacientes, la valoración de cada paciente incluye los planos derecho e izquierdo por lo que se analizaron 12 pares de imágenes en cada cada método.

Tabla 2. Resultados de 12 valoraciones.

Método	Aciertos	Errores	Origen del error
Hough	24	0	Ninguno
Regiones	19	5	Incapacidad para distinguir forma del objeto

4. Conclusiones

La falta de higiene postural es uno de los principales problemas en las afecciones del aparato locomotor. Sin embargo las técnicas de valoración existentes carecen de un resultado cuantitativo debido a la falta de herramientas que los proporcionen. El procesamiento digital de imágenes aplicado a la valoración postural presenta una alternativa para la obtención de diagnósticos más completos. Se implementaron dos métodos los cuales aprovecha las características geométricas de los marcadores para la obtención de resultados cuantitativos. Los resultados obtenidos y la forma en que estos se presentan al fisioterapeuta y éste lo hace al paciente, facilitaron el entendimiento, diagnóstico y proceso de rehabilitación que debe seguir el paciente. Este trabajo posee las características para servir como herramienta didáctica al proceso de aprendizaje y capacitación para los estudiantes de fisioterapia. El trabajo futuro a desarrollar incluye el análisis frontal y posterior en la valoración postural al igual que el análisis de movimiento enfocado en la terapia de rehabilitación.

Referencias

1. Peterson-Kendall, F and Kendall-McCreary, E and Geise-Provance, P and Rodgers, M and Anthony Romani, W.: Muscles testing and function with posture and pain, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia. 2005
2. Iwasawa, Shoichiro, Ohya, Jun, Takahashi, Kazuhiko, Sakaguchi, Tatsumi, Ebi-hara, Kazuyuki, Morishima, Shigeo.: Human body postures from trinocular camera images. Automatic Face and Gesture Recognition. Proceedings. Fourth IEEE International Conference. Pag. 326–331, 2000, IEEE.
3. Diraco, Giovanni and Leone, Alessandro and Siciliano, Pietro.: Geodesic-based human posture analysis by using a single 3D TOF camera. Industrial Electronics (ISIE), IEEE International Symposium on, Pag. 1329–1334, 2011, IEEE.

4. Kitsunezaki, Naofumi, Adachi, Eijiro, Masuda, Takashi, Mizusawa, Jun-ichi.: Kinect applications for the physical rehabilitation. Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), IEEE International Symposium on, Pag, 294–299, 2013, IEEE.
5. Lin, Ting-Yang, Hsieh, Chung-Hung, Lee, Jiann-Der.: A Kinect-Based System for Physical Rehabilitation: Utilizing Tai Chi Exercises to Improve Movement Disorders in Patients with Balance Ability. Modelling Symposium (AMS), 7th Asia. Pag, 149–153, 2013, IEEE.
6. García, MJ Gómez and Sisamón, C Castejón, Prada, JC García, Carbone, G, Ceccarelli, M.: Sistemas de captura de movimiento para el caminar humano. Análisis y comparativa humano.
7. Diaz, Christian Andrés, Toro, Maria Luisa, Forero, Johana Carolina, Torres, Andrés.: Detección, Rastreo y Rreconstrucción Tridimensional de Marcadros Pasivos para Análisis de Movimiento Humano. Revista Ingeniería Biomédica. Vol, 3. Pag, 56–68, 2009.
8. D’Amico, Moreno and Bellomo, Rosa G and Saggini, Raoul and Roncoletta, P.: A 3D spine & full skeleton model for multi-sensor biomechanical analysis in posture & gait, Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), IEEE International Workshop, Pag, 605–608, 2011, IEEE
9. Atherton, T.J., Kerbyson, D.J.: Size invariant circle detection. Image and Vision computing. Vol, 17, Pag, 795–803, 1999, Elsevier.
10. Bezerra, FN, Paula, IC, Medeiros, FNS, Ushizima, DM, Cintra, LHS.: Morphological segmentation for sagittal plane image analysis, Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Annual International Conference of the IEEE, Pag, 4773–4776, 2010, IEEE.
11. Arai, Kohei, Andrie, Rosa.: Gender Classification with Human Gait Based on Skeleton Model. Information Technology: New Generations (ITNG), Tenth International Conference, Pag, 113–118, 2013, IEEE.