

Gait and arm swing analysis measurements for patients diagnosed with Parkinson's disease, using digital signal processing and Kinect

Yor J. Castaño
Grupo de Investigación i2t
Universidad Icesi.
Cali, Colombia
yorjaggy@gmail.com

Andrés Navarro
Grupo de Investigación i2t
Universidad Icesi.
Cali, Colombia
anavarro@icesi.edu.co

Juan D. Arango
Grupo de Investigación i2t
Universidad Icesi.
Bogota, Colombia
homero379@gmail.com

Beatriz E. Muñoz
Clínica Fundación Valle del Lili.
Cali, Colombia
vitrix@gmail.com

Jorge L. Orozco
Clínica Fundación Valle del Lili.
Cali, Colombia
jlorozcovelez@gmail.com

Jaime Valderrama
Clínica Fundación Valle del Lili.
Cali, Colombia
jaime.valderrama.chaparro@gmail.com

Resumen

Parkinson's disease generates a special interest in factors such as the risk of falls and gait and posture patterns. Using Kinect for gait and arm swing analysis is possible to measure spatiotemporal variables to allow the Parkinson disease diagnose in early stages, with an objective and valid test. In gait analysis, the human gait pattern has a basic unit called the gait cycle, composed of two phases: stance and swing. Using this phases, it is possible to get spatiotemporal variables as walking speed. In arm swing analysis is possible to measure the magnitude, time and speed related to the arm movement. In this paper, we show preliminary results from both, gait and arm swing analysis using Kinect and digital signal processing techniques. The result shows differences between PD and non-PD patients, this result aims to allow clinical experts to diagnose and assess Parkinson patients, with short evaluation

times and with non-invasive technologies.

1. Introducción

La enfermedad de Parkinson (EP) es la segunda enfermedad neurodegenerativa más común en el mundo. Esta enfermedad es conocida por generar temblores, rigidez en las extremidades y desordenes de la marcha y la postura corporal. Desde hace un tiempo, se busca evaluar la EP de forma objetiva, ya que hasta ahora las evaluaciones mundialmente reconocidas se rigen por escalas como la UPDRS (Unified Parkinson's Disease Rating Scale), definida y recientemente actualizada por la MDS (Sociedad de trastornos del movimiento) [Fahn1987]. Recientemente se ha investigado el desarrollo de nuevas herramientas basadas en las TIC que puedan ser usadas en escenarios cotidianos al paciente o al experto clínico, como el consultorio. El grupo de investigación i2t, de la Universidad Icesi, desarrolló el sistema de captura eMotion, el cual usa una cámara RGBD para capturar información de las articulaciones del cuerpo humano. El eMotion establece la posición de las articulaciones y permite obtener los datos de tiempo y distancia de forma tan precisa como un laboratorio de marcha [Paredes2015] [Fernandez-Baena2012] [Galna2014].

A pesar de que se han desarrollado y explorado técnicas de análisis de señales para evaluar las afecciones motoras de los pacientes con EP, muchas de estas se basan en experimentos o pruebas de alta complejidad. Por tal razón, se hace relevante el desarrollo de técnicas de análisis que puedan ser integradas al sistema de captura eMotion, ya que de esta forma se contaría con un sistema de bajo costo, de fácil uso, válido, objetivo y replicable, que permita complementar el diagnóstico clínico de pacientes con EP, con menores restricciones que los sistemas comerciales actuales. En el presente documento se muestran los resultados preliminares de realizar análisis de marcha y de balanceo de brazos utilizando Kinect y técnicas de procesamiento como la transformada Wavelet y análisis de picos.

2. Estado del arte

Las tecnologías que apoyan al análisis del movimiento humano han avanzado en las últimas tres décadas y, a pesar de ser consideradas clínicamente útiles, la aplicabilidad y accesibilidad rutinaria de esta tecnología ha sido limitada [Tupa2015]. Si bien estos instrumentos pueden proporcionar datos cuantitativos precisos con respecto a variables de la marcha, los requisitos de tiempo, la preparación de los pacientes, el costo, la accesibilidad, el espacio y los conocimientos técnicos hacen que su implementación rutinaria, en entornos clínicos, sea difícil [Clark2013, Galna2014].

El Kinect usado en este trabajo, es capaz de analizar los movimientos de las extremidades y la marcha [Paredes2015]. Este dispositivo se ha propuesto como una solución a las limitaciones de la evaluación objetiva de la marcha y el balanceo, debido a su portabilidad, bajo costo, disponibilidad y facilidad de uso tanto en la clínica como en la investigación [Viehweger2010]. Existen estudios clínicos que han favorecido el uso de Kinect y han informado una adecuada concordancia con los laboratorios de análisis de marcha en la evaluación de las variables clínicas, como: paso sano, identificación de pasos, control postural, velocidad, longitud del paso y el ciclo de la marcha, así como la evaluación de la marcha y los movimientos gruesos de las extremidades superiores y la lentitud de los movimientos en los pacientes con EP [Zhao2015]

La transformada Wavelet es una de las técnicas de mayor uso en el área biomédica, Chau et al [Chau2001], quienes discuten, mediante una revisión, las principales aplicaciones de la transformada wavelet, en las cuales se incluyen el suavizado y la discriminación de señales. También afirman que esta técnica puede ser usada en información de marcha y la locomoción humana las cuales no son fácilmente comprensibles con los métodos existentes.

3. Metodología y procesamiento

Se contó en total con un grupo de 24 voluntarios. Este se dividió en dos grupos, 12 pacientes y 12 controles, emparejados por sexo y edad. Los rangos de edad están entre 53 y 73 años de edad. Todos los pacientes con EP se encontraban en estadios tempranos, I o II según la escala Hoehn y Yahr. Se obtuvo aprobación del comité de ética institucional de la Fundación Clínica Valle del Lili antes de comenzar el estudio, además todos los participantes proporcionaron consentimiento informado por escrito antes de la participación.

Usamos el sistema de captura e-Motion como herramienta de captura. Las cuales son obtenidas en un corredor de 1.5 metros de ancho por 4 metros de largo. Cada voluntario caminó tres veces, desde el punto más lejano hasta el Kinect. La figura 1, ilustra el corredor usado para evaluar los voluntarios.

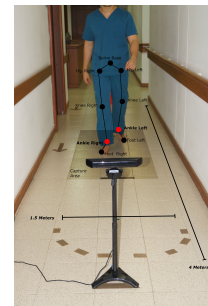


Figura 1: Pasillo de marcha usado para las pruebas de Kinect

3.1. Análisis de marcha

Para realizar el análisis de marcha, se normalizó por el número de pasos efectivos en el área de captura, el cual es de máximo 3 pasos, al igual que en los laboratorios de marcha, se usó un solo paso efectivo. Decidimos enfocarnos en la articulación de los tobillos (izquierdo y derecho), dado que, en un estudio previo, comprobamos que esta articulación no presentaba diferencias con el modelo antropométrico usado por los laboratorios de marcha [Paredes2015]. Como técnica de procesamiento se decidió usar la transformada Wavelet, ya que ha demostrado tener un amplio rango de aplicaciones en señales biomédicas [Chau2001].

Dado que las técnicas wavelet nos permiten obtener información en dos dominios, frecuencia y tiempo, es una técnica que nos permite distinguir entre las fases de la marcha, es decir, fase de balanceo, la cual corresponde al desplazamiento del pie; y la fase de apoyo, la cual corresponde a los momentos cuando el pie está estático sobre el piso.

En este resumen presentamos los resultados preliminares de aplicar la wavelet db8, o "Daubechies" con

8 niveles de desvanecimiento, a cada señal de tobillo (izquierda o derecha), la figura 2 muestra una de las señales de marcha procesadas y los resultados de la descomposición wavelet aplicada.

Después de aplicar técnicas wavelet, se aplicó un umbral definido como el promedio de la señal, el cual nos permitió clasificar las fases de la marcha en apoyo o balanceo. Los valores por encima del umbral se asignaron a la fase de balanceo y los valores por debajo se asignaron a la fase de apoyo. Con los resultados de esta clasificación se generaron variables espaciotemporales como tiempos de apoyo y balanceo, y velocidad de la marcha.

3.2. Análisis de balanceo de brazos

Para el análisis del balanceo de brazos, decidimos usar la articulación correspondiente a las muñecas de cada brazo. En el caso de los controles y los pacientes se evidencio ruido en la señal procesada, sin embargo, en algunos pacientes el ruido era de mayor magnitud que en los controles, esto puede asociarse al temblor en las manos. En ambos grupos de personas, se aplico la técnica de limpieza de ruido Savitzky-Golay [Schafer2011].

En el análisis de brazos, es importante medir la magnitud del balanceo de brazos, la cual es una medida de distancia anterior-posterior, es decir, que indica la distancia que se desplazó el brazo desde el punto más atrás hasta el punto más adelante mientras el sujeto camina. La figura 2 muestra el balanceo de brazos izquierdo y derecho de un paciente. Según el criterio clínico, el paciente de la gráfica presenta rigidez en el brazo izquierdo.

Mediante la detección de picos se logró detectar el balanceo de brazos, en sentido anterior-posterior, también permitió determinar el tiempo que tomaba el brazo en ir desde el punto más atrás hasta el punto más adelante. Otra variable obtenida del análisis de picos fue la velocidad del balanceo de brazos, obtenida de la razón entre la magnitud del balanceo y el tiempo que toma cada balanceo. Finalmente, una variable ya descrita en la literatura clínica que se calculó para este estudio fue la asimetría en el balanceo de brazos, que describe de forma porcentual la diferencia del movimiento entre cada extremidad (Brazo izquierdo y derecho) [Mirelman2015].

4. Resultados

En la tabla 1, presentamos los resultados promedios obtenidos de analizar la marcha y el balanceo de brazos. En general, los resultados muestran evidencia cuantitativa de las afecciones de la EP, lo cual nos permite diferenciar entre los voluntarios con EP y sin EP. Mediante este analisis se evidenciaron diferencias

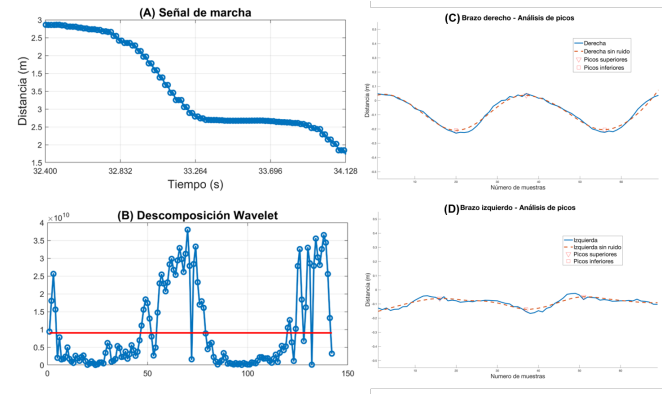


Figura 2: A) Señal del movimiento del tobillo izquierdo, B) Descomposición wavelet resultante de la señal en A, la línea roja representa el umbral; Señales del análisis de picos a la señal balanceo de C) un brazo derecho y D) Brazo izquierdo.

entre los resultados obtenidos por los pacientes y los controles.

Cuadro 1: Datos promedios de las variables obtenidas del análisis de marcha y del balanceo de brazos

	Pacientes con EP		Pacientes sin EP	
	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha
Tiempo de fase de apoyo (s)	1.62 (0.83)	1.59 (0.82)	1.04 (0.26)	1.18 (0.22)
Tiempo de fase de balanceo (s)	1.13 (0.48)	1.1 (0.47)	0.81 (0.16)	0.81 (0.13)
Velocidad (m/s)	0.77 (0.23)	0.78 (0.23)	1.08 (0.23)	0.95 (0.14)
Magnitud del balanceo de brazos (m)	0.1 (0.06)	0.17 (0.11)	0.22 (0.08)	0.27 (0.1)
Tiempo del balanceo de brazos (s)	0.93 (0.15)	1 (0.24)	1.01 (0.17)	1 (0.18)
Velocidad del balanceo de brazos (m/s)	0.1 (0.06)	0.16 (0.09)	0.22 (0.07)	0.26 (0.09)
Coefficiente de asimetría del balanceo		0.16 (0.11)		0.07 (0.07)

5. Discusión

En este estudio mostramos resultados preliminares de evaluar técnicas de procesamiento digital de señales biomédicas obtenidas mediante Kinect, lo anterior, con la finalidad de obtener variables espacio-temporales asociadas a la marcha y al balanceo de brazos. La literatura muestra que las técnicas Wavelet y análisis de picos tienen un amplio rango de aplicaciones, sin embargo, ninguno de los estudios encontrados se enfoca en utilizar Kinect como elemento de captura de información de marcha, y simultáneamente, usar Wavelet y análisis de picos para la etapa de procesamiento.

En este estudio preliminar utilizamos una cámara RGBD, la cual ya ha demostrado buena confiabilidad para ser utilizada en análisis de marcha, a pesar de ser un dispositivo que fue inicialmente concebido para la industria de los juegos de consola. Es importante mencionar que este dispositivo presenta algunas limitaciones en cuanto al área de captura, ya que su rango efectivo alcanza máximo 4 metros en el mejor de los

casos, a pesar de esto, sigue siendo un dispositivo que ha mostrado utilidad en el contexto clínico y un buen acuerdo, con respecto a las herramientas del mercado [Galna2014] [Clark2013].

De la tabla 1 observamos que las variables obtenidas proveen métricas objetivas para evaluar la progresión de la enfermedad, por ejemplo, la velocidad es menor en los pacientes con Parkinson que en aquellos que no tienen Parkinson, asociado a las alteraciones motoras que causa la enfermedad, también se evidencia que toman más tiempo en cada fase de la marcha, lo cual es un efecto ya conocido que está relacionado con los síntomas de la enfermedad. Así mismo, se observa un valor de asimetría bajo para los voluntarios sanos, lo cual es consecuente con el criterio clínico, el cual indica que los pacientes sanos no presentan alteraciones en el balanceo. Las variables de balanceo de brazos de los pacientes, como magnitud del balanceo indican que los pacientes desplazan sus brazos en menor medida en comparación con sus controles. Por otro lado, la asimetría para los pacientes alcanza un valor mayor con respecto a los controles, indicando que en promedio los pacientes con EP tienen una alta asimetría en el balanceo de brazos.

Finalmente, se hace importante complementar este estudio con una muestra de mayor tamaño, sin embargo, los presentes resultados preliminares muestran la alta aplicabilidad de Wavelet y análisis de picos, sobre señales de marcha y balanceo de brazos obtenidas de Kinect.

6. Conclusiones

En este estudio, realizamos una evaluación de técnicas de procesamiento digital de señales como Wavelet y análisis de picos para determinar variables espacio-temporales que permitan un diagnóstico y seguimiento objetivo de la enfermedad de Parkinson, usando una cámara de profundidad (Microsoft Kinect).

Esta aproximación mostró ser una oportunidad para evaluar las variables de marcha y balanceo de brazos de forma objetiva, válida, replicable, con baja complejidad algorítmica y bajos tiempos de ejecución.

Finalmente, las variables de marcha y del balanceo de brazos, indican ser útiles en la diferenciación de pacientes con enfermedad de Parkinson. Se plantea como trabajo futuro, el uso de una cámara RGBD con un mayor rango de profundidad, y una mayor muestra de voluntarios para lograr comparar estadísticamente grupos de pacientes.

Referencias

[Chau2001] Chau, T., *A review of analytical techniques for gait data..* Gait and Posture, 13, 102-120, 2001.

[Clark2013] Clark, R. A., et al, *Concurrent validity of the Microsoft Kinect for assessment of spatiotemporal gait variables.* J. of Biomechanics, 46, 2722-2725, 2013.

[Fahn1987] Fahn, S. and Elton, R.L, *Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS).* Recent developments in Parkinson's disease, 2, 153-164, 1987.

[Fernández-Baena2012] Fernández-Baena et al, *Bio-mechanical Validation of Upper-Body and Lower-Body Joint Movements of Kinect Motion Capture Data for Rehabilitation Treatments.* Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems, 656-661, 2012.

[Galna2014] Galna, B., et al, *Accuracy of the Microsoft Kinect sensor for measuring movement in people with Parkinson's disease.* Gait Posture, 39(4), 1064-1068, 2014.

[Mirelman2015] Mirelman, A., et al, *Effects of Aging on Arm Swing during Gait: The Role of Gait Speed and Dual Tasking.* PLoS One, 10(8), 2015.

[Paredes2015] Paredes, J. D. A., et al, *A reliability assessment software using Kinect to complement the clinical evaluation of Parkinson's disease.* Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 6860-6863, 2015.

[Schafer2011] Schafer, R.W, *What is a savitzky-golay filter?.* IEEE Signal Processing Magazine, 111-117, 2011.

[Tupa2015] Tupa, O., et al, *Motion tracking and gait feature estimation for recognising Parkinson's disease using MS Kinect.* Biomedical engineering online, 14(1), 97, 2015.

[Viehweger2010] Viehweger, E., et al, *Influence of clinical and gait analysis experience on reliability of observational gait analysis (Edinburgh Gait Score Reliability)..* Annals of physical and rehabilitation medicine, 53(9), 535-546, 2010.

[Zhao2015] Zhao, J., et al, *Gait assessment using the Kinect RGB-D sensor..* Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 6679-6683, 2015.