

## **ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE MIEMBRO SUPERIOR: ESTUDIO DE CASO APLICADO A VALORACIÓN TERAPÉUTICA DE REHABILITACIÓN EN ENFERMEDAD DE PARKINSON**

### **BIOMECHANICS ANALYSIS OF UPPER LIMB: CASE STUDY APPLIED TO TERAPEUTIC REHABILITATION ASSESMENT IN PARKINSON DISEASE**

**Melisa Frisoli<sup>a</sup>, Gerónimo González<sup>b</sup>, Ariel Braidot<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*Laboratorio de Biomecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro Verde, Ruta Nac. N°11, km 10, Argentina,  
mfrisoli@ingenieria.uner.edu.ar, <http://ingenieria.uner.edu.ar/>*

<sup>b</sup>*Centro de Rehabilitación Integral Entre Ríos, Paraná, 9 de Julio 447, Argentina.*

**Palabras clave:** Biomecánica, Extremidad Superior, Parkinson, Rehabilitación.

**Resumen.** Los modelos biomecánicos (3D) se encuentran clínicamente aceptados y estandarizados para la marcha, pero aún se encuentra en estudio el modelo más adecuado para valorar la biomecánica de miembro superior (MS). También está abierta la elección del tipo de movimientos que permiten la mejor evaluación de la movilidad en patologías crónicas que afectan la motricidad como en la enfermedad de Parkinson. Se realiza un análisis de caso para un paciente con Parkinson y se compara su evolución pre y post tratamiento terapéutico de kinesiología mediante parámetros que valoran la rehabilitación durante movimientos de la vida cotidiana como el movimiento de alcanzar y agarrar, alcanzar y llevar un vaso a la boca, entre otros. Las variables cuantificadas durante este estudio de caso comparativo demuestran cambios significativos en los indicadores de rehabilitación, reafirmando la importancia de contar con modelos aplicables en el ambiente clínico que complementen la valoración profesional de las terapias de rehabilitación mediante tecnologías de cuantificación de movimiento que proporcionen indicadores objetivos de la evolución de tratamiento.

**Keywords:** Biomechanics, Parkinson, Rehabilitation, Upper Limb.

**Abstract.** Three-dimensional (3D) models are clinically accepted and standardized for biomechanical gait analysis but the most suitable model to assess upper limb (UL) biomechanics is still under study. The choice of which movements allows best evaluation is also open to discussion in chronic pathologies that affect motor skills such as Parkinson's disease. A comparative case analysis of a patient with Parkinson's disease before and after intensive kinesiology therapeutic treatment. The characteristics of the applied mechanical model are detailed and parameters of interest are reported to assess rehabilitation during movements of daily life such as the movement of reaching and grasping, reaching and bringing a glass to the mouth, between others. Quantified parameters during this comparative case study demonstrate significant improving changes in the rehabilitation parameters, reaffirming the importance of having models applicable in the clinical environment that complement the professional assessment of rehabilitation therapies through movement quantification technologies that provide objective indicators of the evolution of treatment.

## 1 INTRODUCCIÓN

La Enfermedad de Parkinson (EP) es una de las patologías neurodegenerativas y evolutivas más comunes en la población adulta y afecta a un gran número de personas a nivel mundial. En la actualidad las causas continúan siendo desconocidas, aunque hay importantes sospechas sobre exposición a factores ambientales, toxicidad y carga genética (Bauso et al, et al, 2012).

Las disfuncionalidades más frecuentes están ligadas al desempeño motor de la Extremidad Superior (ES), sobre todo a la destreza de tareas, tanto en el ámbito doméstico como en el laboral. Esta patología neurodegenerativa provoca impedimentos en las habilidades de la vida cotidiana que requieren el uso de la ES como ser la escritura, el alcanzar y agarrar objetos, y actividades de prensión, entre otros. Estas limitaciones inciden en el desempeño y la participación de la persona con PD dentro de la comunidad (Bauso et al, 2012) (Corona et al, 2018).

En el ámbito clínico, los profesionales que se ocupan del diseño y la implementación de programas de rehabilitación, utilizan test y escalas estandarizadas para obtener una calificación de los sujetos que permitan observar resultados pre y post intervención profesional (Keus et al, 2014). En este sentido, los modelos biomecánicos tridimensionales (3D) utilizados para el análisis de movimiento se encuentran clínicamente aceptados y estandarizados para el movimiento de la marcha. Sin embargo, aún se encuentra en estudio el tipo de modelos más adecuado para valorar la biomecánica de miembro superior. También está abierta la elección del tipo de movimientos que permiten la mejor evaluación de la movilidad, principalmente en patologías crónicas que afectan la motricidad como en la enfermedad de Parkinson (Corona et al, 2018).

En muchos trabajos de investigación se utilizan pruebas y escalas estandarizadas para obtener una calificación de los sujetos que permitan observar resultados pre y pos intervención profesional (Corona, 2018). Los modelos biomecánicos aplicados a la valoración de estas estrategias de rehabilitación contribuyen un complemento de medición cuantitativa, objetiva, basada en tecnología y en algoritmos de cálculo matemático aplicado.

## 2 MÉTODOS

### 2.1 Herramientas técnicas.

Se montó provisoriamente un Laboratorio de Biomecánica en las instalaciones del Centro de Rehabilitación Integral Entre Ríos, donde el paciente realiza habitualmente su tratamiento de rehabilitación. Se emplearon los siguientes recursos durante las pruebas y el posterior procesamiento de datos:

- Sistema de captura de movimiento Optitrack (Natural Point), con 8 cámaras infrarrojas y frecuencia de muestreo de 120 fps (frames por segundo).
- PC y Software Motive, (Natural Point) y Matlab® para el cálculo numérico de los datos cinemáticos.
- Marcadores anatómicos reflectantes.
- Una mesa de medidas 1,20 [m]. x 0,6 [m]. de superficie de apoyo, altura 0,76 [m].

- Una banqueta sin respaldo cuyas medidas son: 0,50 [m] de altura, 0,59 [m] de ancho y 0,39 [m] de profundidad.

Marcadores	Ubicación anatómica
1 TG	Objeto
2 C7	7ma. Cervical
3 PX	Proceso Xifoideo
4 IJ	Incisura Yugular
5 y 6 SC Der. e Izq.	Articulación Esternoclavicular
7 y 8 ACR Der. e Izq.	Articulación Acromioclavicular
9 y 10 PC Der. e Izq.	Proceso Coracoide
11 y 12 AI Der. e Izq.	Ángulo Inf. Escapular
13 y 14 EM Der. e Izq.	Epicóndilo Humeral Medial
15 y 16 EL Der. e Izq.	Epicóndilo Humeral. Lateral
17 y 18 US Der. e Izq.	Estiloide Ulnar
19 y 20 UR Der. e Izq.	Estiloide Radial
21 y 22 MC Der. e Izq.	3er. Metacarpiano
23 y 24 ASIS Der. e Izq.	Espina Ilíaca Anterior
25 T8	8va. Torácica
26 SAC	Sacro

Tabla 1: Protocolo de marcadores anatómicos para la captura de movimiento.

## 2.2 Modelo biomecánico de extremidad superior.

El presente modelo, con sus consideraciones matemáticas, se basó en el modelo de miembro superior de Rab et al (Rab et al., 2002) con modificaciones menores pero específicas que buscan la mejora de las estimaciones de los centros articulares.

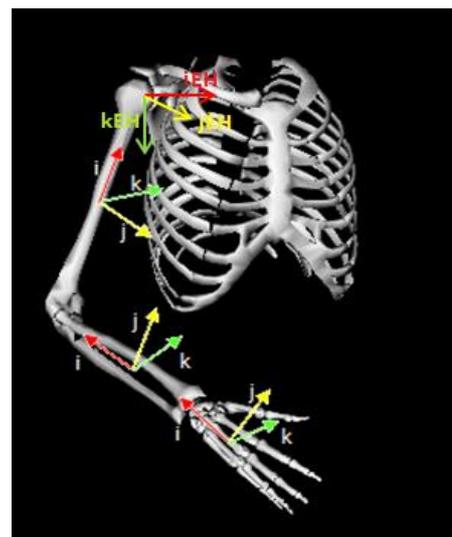
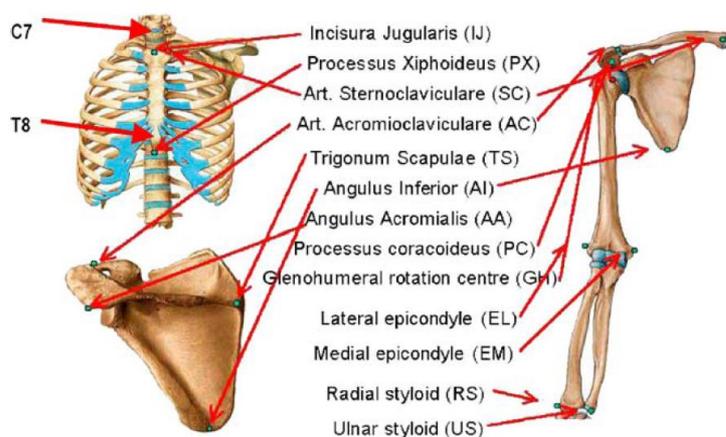


Figura 1: Ubicación de marcadores en accidentes anatómicos para modelado de extremidad superior (G. Wu et al, 2005).

Los sistemas de coordenadas locales se definieron de manera general, con el eje X dirigido en sentido antero-posterior del plano anatómico, el eje Y dirigido en sentido longitudinal al segmento y el eje Z dirigido en sentido lateral (Fig. 1) con el objetivo de obtener una correspondencia entre los planos anatómicos de movimiento acordes a los conceptos de flexión, abducción y la rotación en el ámbito clínico (Rab et al, 2002), (Wu et al, 2005).

Los ángulos relativos de cada segmento quedan definidos por:

$$\alpha = \text{flexión (+) / extensión (-)} \quad (1)$$

$$\beta = \text{abducción (+) / aducción (-)} \quad (2)$$

$$\gamma = \text{rotación interna (+) / rotación externa (-)} \quad (3)$$

$$IH = \frac{(i_{EH} \times i_{brazo})}{\|(i_{EH} \times i_{brazo})\|} \quad (4)$$

$$\alpha = \sin^{-1}(IH * -j_{EH}) \quad (5)$$

$$\beta = \sin^{-1}(i_{EH} * i_{brazo}) \quad (6)$$

$$\gamma = IH * k_{brazo} \quad (7)$$

$$IC = \frac{(i_{antebrazo} \times i_{brazo})}{\|(i_{antebrazo} \times i_{brazo})\|} \quad (8)$$

$$\alpha = -\cos^{-1}(i_{brazo} * i_{antebrazo}) \quad (9)$$

$$\beta = \cos^{-1}(k_{brazo} * i_{antebrazo}) \quad (10)$$

$$\gamma = \cos^{-1}(IC * j_{antebrazo}) \quad (11)$$

$$IM = \frac{(i_{mano} \times k_{antebrazo})}{\|(i_{mano} \times k_{antebrazo})\|} \quad (12)$$

$$\alpha = \sin^{-1}(I_{muñeca} * i_{mano}) \quad (13)$$

$$\beta = \sin^{-1}(k_{antebrazo} * i_{mano}) \quad (14)$$

### 2.3 Diseño experimental

Se realizaron dos mediciones comparativas al sujeto con EP: antes y después de la Terapia de Rehabilitación convencional y combinada basada en pruebas funcionales y estímulos sensoriales que consistió en 13 sesiones. Los registros anterior y posterior a la terapia, contaron de 4 pruebas de movimiento diseñadas en conjunto con el Kinesiólogo en base al estado del arte encontrado en la bibliografía (Ansuini, 2010), (Corona, 2018), (Kato, 2010), (Powell, 2012). Las secuenciadas se organizaron de modo aleatorizado.

- 1) Alcance, agarre y aproximación del vaso a la boca

Se explica la tarea que el paciente debe realizar. Se registran las posiciones de ambas ES analizando el comportamiento de la más afectada (en el caso de estudio la ES con mayor compromiso corresponde a la derecha y dominante). A la orden verbal de “YA” el paciente inicia el movimiento de alcance, agarre y aproximación del vaso a la boca con velocidad autorregulada. Ver anexo 2, fig. 1. Toma un sorbo de agua y vuelve el vaso a la posición inicial señalada sobre la mesa. Inmediatamente repite el patrón hasta que se le indique detenerse. Total de repeticiones útiles: 3 (tres). La tarea total finaliza cuando ubica la mano sobre la mesa.

- Tiempo Total y Parcial del movimiento.
- Velocidad máxima y media del movimiento del alcance.

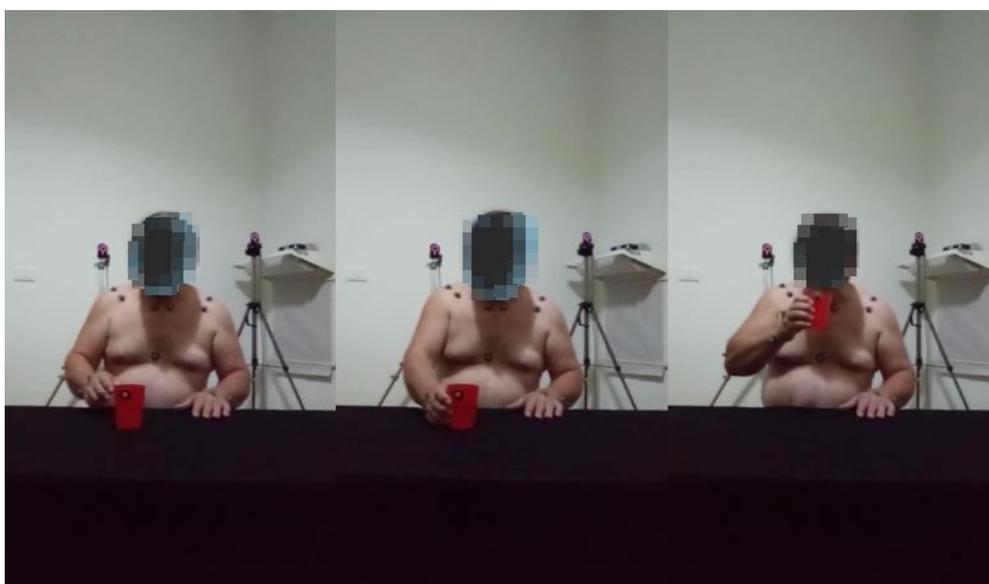


Figura 2: Registro de la prueba 1) Alcanzar-agarrar-llevar a la boca.

## 2) MDS-UPDRS. Sección III – Motor.

### 2.a) Prueba de oposición dedo pulgar-índice

Se explica la tarea a realizar. Se instruye al paciente para que golpee el índice con el pulgar 10 veces tan rápida y ampliamente como sea posible. A la orden de “YA” inicia con una mano la prueba de oposición dedo pulgar – índice. Se puntúa de 0 – 4 (0: normal – 4: grave).

- Amplitud máxima entre índice y pulgar.
- Tiempo.
- Velocidad.

### 2.b) Prueba de apertura – cierre de la mano.

Se explica la tarea a realizar. Se instruye al paciente para que mantenga flexionado el hombro y codo a 90° aproximadamente. Luego debe cerrar fuerte el puño y ubicarlo de tal forma que cuando abra la mano, la palma mire al evaluador. A continuación, se le pide que abra y cierre la mano 10 veces tan rápida y completamente como le sea posible. Se puntúa de 0 – 4 (0: normal – 4: grave).

- Amplitud máxima de apertura.
- Tiempo.
- Velocidad máxima y media de apertura.

#### 2.c) Prueba de pronosupinación del antebrazo modificada.

Se explica la tarea a realizar. Se instruye al paciente para que flexione el codo a 90°. A continuación, gira la palma de la mano hacia arriba y hacia abajo alternativamente 10 veces, tan rápida y completamente como le sea posible. Se puntúa de 0 – 4 (0: normal – 4: grave).

- Desplazamiento angular del hueso radio (amplitud) sobre el cúbito.
- Velocidad angular.

#### 3) Prueba de Doble Click al mouse.

Se explica la tarea que debe realizar. La mano en posición de uso sobre el mouse, el cual se ubica sobre la mesa, hacia la derecha de la línea media y sin conexión a ningún dispositivo electrónico. A la orden verbal de “YA” con la mano de la ES derecha el paciente ejecuta un doble click en el mouse tan rápido como sea posible. Inmediatamente después repite el patrón (total de repeticiones útiles: 3).

- Tiempo Total y Parcial entre 2 clicks seguidos.

#### 4) Dar vuelta 5 cartas.

Se ubican en el centro de la mesa 5 cartas españolas (7,6 × 12,7 cm) orientadas verticalmente, separadas entre sí por 5 cm aproximadamente, en hilera horizontal y a 13 cm aproximadamente del borde interno de la mesa. La tercera carta en alineación con el eje medio del paciente. Se explica la tarea que debe realizar. A la orden verbal de “ya” el paciente inicia con la ES derecha la acción de dar vueltas las cartas de a una y continuamente desde la más distal hacia la más proximal, mediante el movimiento de pronosupinación con el codo flexionado y cercano al cuerpo con velocidad autorregulada. La tarea total finaliza cuando ubica la mano sobre la mesa.

- Tiempo Parcial y Total de dar vuelta las 5 cartas

### 3 RESULTADOS

Para la presentación de los resultados se utiliza un cuadro comparativo entre las mediciones Pre-terapia (1) y Post-terapia (2) (Tabla 2). Las variables que fueron medidas en el laboratorio y posteriormente cuantificadas mediante el procesamiento de los registros a través de la aplicación del modelo de segmentos articulados. Entre ambas mediciones el paciente realizó 13 sesiones de kinesiología distribuidas en 4 semanas. Asistió a todas las sesiones, en el horario matutino.

En la evaluación de la prueba 1) *Alcanzar, agarrar y llevar a la boca* (Figura 2) se observó que disminuyó el Tiempo de Ejecución (seg) y aumentó el Pico de velocidad (m/s), ambos de manera considerable luego de realizada la terapia de rehabilitación (Tabla 2).

La prueba 2) *UPDRS-Sección III* consistía en 3 tipos de movimiento: Oposición de pulgar-índice, Apertura-cierre de mano, y Pronosupinación. El modelo biomecánico propuesto permitió valorar aumento de velocidad media de ejecución de las Aperturas (2.i y 2.ii) como de la Amplitud media de la excursión angular de Pronosupinación cuando se compararon los

parámetros antes y después de la terapia kinesiológica aplicada a la ES. Los parámetros se promediaron para las 10 repeticiones que indica el Test UPDRS de la sección motora.

En la prueba 3) *Doble click* a un mouse de PC, se evidenció una disminución del Tiempo de ejecución (seg) que demuestra un aumento de su destreza y control motor fino luego de aplicada la terapia.

En lo que respecta a la prueba 4) *Girar 5 cartas* sobre la mesa, la variación en el parámetro Tiempo de Ejecución muestra una leve disminución y mayor desviación estándar. En este caso atribuimos esta mayor variabilidad en esta prueba, a la dificultad de realizar el movimiento sobre la mesa con marcadores en la falange distal de los dedos.

Para ilustrar el uso del modelo de segmentos articulados y su utilidad clínica como herramienta de registro objetivo, en las Figuras 3, 4, 5 y 6 se presentan el ángulo y la velocidad angular de pronosupinación de la Prueba 2) iii, antes y después de las 13 sesiones de terapia. En estas figuras se muestran los resultados de las 10 repeticiones del movimiento del brazo más afectado (extremidad superior derecha) antes y después del tratamiento.

Prueba	Tarea	Parámetro	Pre - Terapia	Post - Terapia
1	Alcance	Tiempo de ejecución (seg)	9,43 (0,30)	5,30 (0,43)
1	Alcance	Pico de velocidad (m/seg)	0,482	0,639
2	UPDRS i	Velocidad media (m/seg)	0,210 (0,05)	0,435 (0,02)
2	UPDRS ii	Velocidad media (m/seg)	0,165 (0,03)	0,400 (0,07)
2	UPDRS iii	Amplitud de Pronosupinación	126°	132°
3	Doble Click	Tiempo de ejecución (seg)	0,322 (0,04)	0,236 (0,002)
4	Girar Cartas	Tiempo de ejecución (seg)	5,755 (1,28)	5,382 (2,10)

Tabla 2: Tabla comparativa de los parámetros cinemáticos obtenidos en las distintas tareas implementadas por el sujeto en las condiciones Pre y Post Terapia Específica de Recuperación de movilidad de la ES.

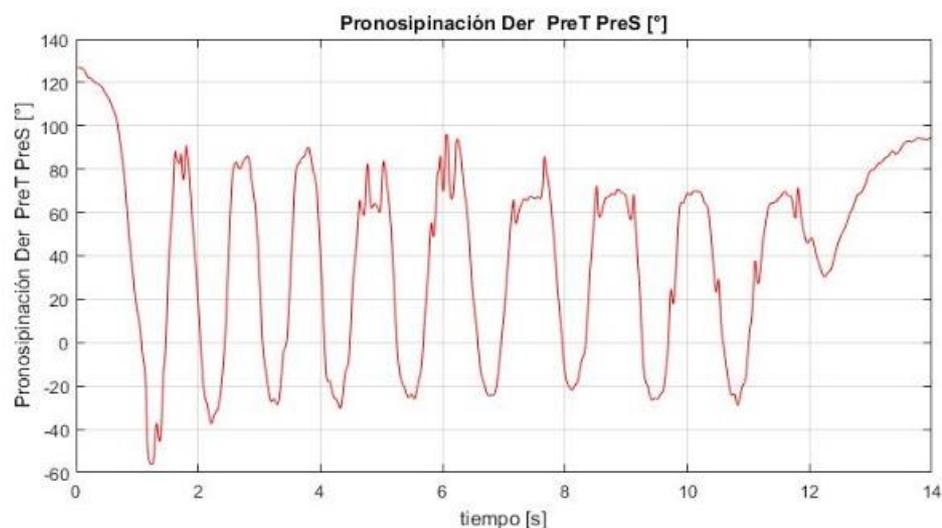


Figura 3: Desplazamiento angular de pronosupinación del radio sobre el cúbito pre tratamiento terapéutico.

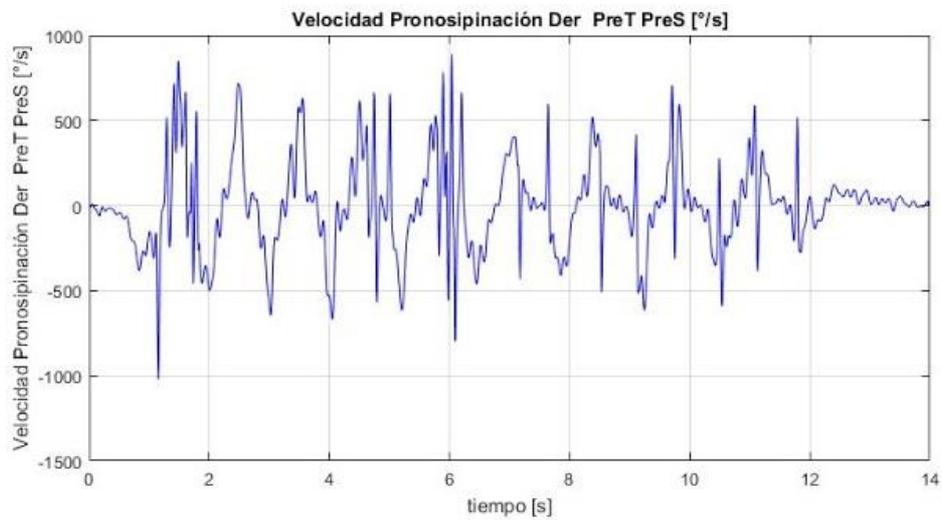


Figura 4: Velocidad angular de pronosupinación del radio sobre el cúbito pre tratamiento terapéutico.

Se aprecia un significativo incremento, tanto en la amplitud angular de pronosupinación, como en la velocidad angular de pronosupinación alcanzada por el paciente luego de las 13 sesiones de terapia convencional y combinada para la rehabilitación de miembro superior. Asimismo se observa una mayor suavidad en el movimiento en los registros pos-terapia por lo que se puede interpretar un mejor control neuromuscular del movimiento.

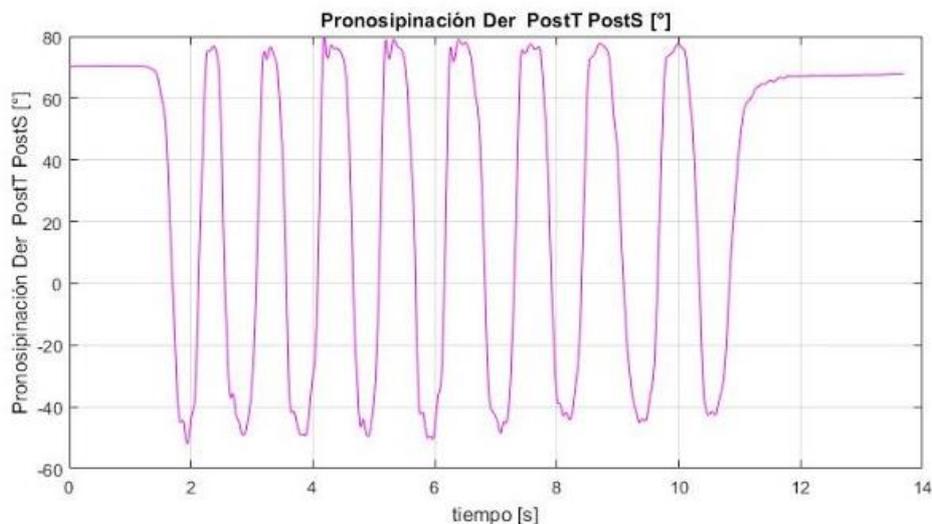


Figura 5: Desplazamiento angular de pronosupinación del radio sobre el cúbito post tratamiento terapéutico.

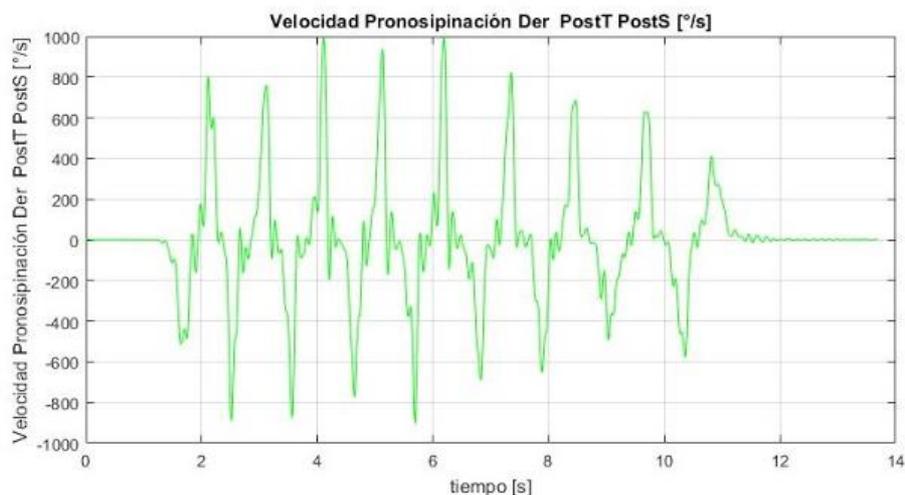


Figura 6: Velocidad angular de pronosupinación del radio sobre el cúbito post tratamiento terapéutico.

#### 4 CONCLUSIONES

La utilización de un modelo biomecánico 3D aplicado a la valoración terapéutica de una persona con enfermedad de Parkinson permitió obtener parámetros cuantitativos de manera objetiva. Esta cuantificación cinemática durante movimientos de la vida cotidiana de un paciente sometido a Terapia Física convencional y combinada, demuestra respaldar la valoración profesional de la evolución del paciente, en concordancia con investigaciones precedentes (Albert 2000), (Ansuini, 2010), (Corona, 2018), (Kato, 2010), (Powell, 2012).

La comparación de estos parámetros en este estudio de caso indica que la intervención terapéutica ha propiciado efectos favorables luego de cuatro semanas. El uso de herramientas para la cuantificación del movimiento requiere un tiempo considerable de registro y de procesamiento lo cual en alguna medida limita su uso habitual en la clínica como complemento a la valoración por escalas estandarizadas. Sin embargo su utilización es respaldada y reconocida como técnica de validación y retroalimentación de las acciones terapéuticas, principalmente durante investigaciones que buscan arrojar evidencia sobre los efectos y posibles innovaciones de las técnicas terapéuticas en disfunciones motoras específicas como la Enfermedad de Parkinson (Corona, 2018),(Kato, 2010), (Powell, 2012).

En la presente línea de investigación se tiene previsto la continuidad con la resolución del modelo dinámico a cadena abierta para reportar esfuerzos y momentos netos musculares de la extremidad superior. Asimismo se planea generalizar estos resultados para una población representativa de pacientes con EP y en relación a una población de control sin disfunción motora, que aporte generalidad de los resultados.

#### REFERENCIAS

Alberts J L, Saling M, Adler C H, Stelmach G E 2000. Disruptions in the reach-to-grasp actions of Parkinson's patients PMID: 11045360 DOI: 10.1007/s002210000468

Ansuini C, Begliomini C, Ferrari T., Castiello U. 2010. Testing the effects of end-goal

during reach-to-grasp movements in Parkinson's disease PMID: 20728976 DOI: 10.1016/j.bandc.2010.07.015

Bauso D. J., Tartari, J. P., Stefani, C. V., Rojas, J. I., Giunta, D. H., Cristiano, E. 2012. Incidence and prevalence of Parkinson's disease in Buenos Aires City, Argentina 2012 *European Journal of Neurology*, EFNS. <https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2012.03683.x>

Corona F, Pilloni G, Arippa F, Porta M, Casula C, Cossu G, Pau M, 2018. Quantitative assessment of upper limb functional impairments in people with Parkinson's disease, *Clinical Biomechanics*. doi:10.1016/j.clinbiomech.2018.06.019

Kato S, Rand M, Lemay M, Squire L M, Shimansky S P, Stelmach G S. 2010. Control of aperture closure initiation during reach-to-grasp movements under manipulations of visual feedback and trunk involvement in Parkinson's disease PMID: 19902195 DOI: 10.1007/s00221-009-2064-2

Keus S H J et al. 2014. *European Physiotherapy Guideline for Parkinson's Disease 2014*.

Powell D 1, Threlkeld J, Fang X., Muthumani A, Xia R 2012. Amplitude and velocity-dependency of rigidity measured at the wrist in Parkinson's disease PMID: 21890404 PMCID: PMC3260389 DOI: 10.1016/j.clinph.2011.08.004.

Rab, G., Petuskey, K., & Bagley, A. 2002. A method for determination of upper extremity kinematics. *Gait & Posture*, 15(2), 113–9. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11869904>

Rand M K, Smiley-Oyen A L, Shimansky Y P, Bloedel J R, Stelmach G E. 2006. Control of aperture closure during reach-to-grasp movements in Parkinson's disease PMID: 16307233 PMCID: PMC2093961 DOI: 10.1007/s00221-005-0073-3

Sano Y, Kandori A, Shima A, Yamaguchi K, Tsuji T, Noda M, Higashikawa F, Yokoe M, Sakoda S. 2016. Quantifying Parkinson's disease finger-tapping severity by extracting and synthesizing finger motion properties PMID: 27032933 DOI: 10.1007/s11517-016-1467-z

Teo W P, Rodrigues J P, Mastaglia F L, Thickbroom G W 2013. Comparing kinematic changes between a finger-tapping task and unconstrained finger flexion-extension task in patients with Parkinson's disease PMID: 23686150 DOI: 10.1007/s00221-013-3491-7

Wu, et al. 2005. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Biomechanics* 38 981–992.