



Análisis articular de la marcha en fase de balanceo en sujetos con secuelas neurológicas

Articular analysis of gait during the swing phase in individuals with neurological sequelae

Autores

Edgar Quezada Calle ¹
 María Magdalena Rosado Alvarez ¹
 Orlando Patricio Romero Ibarra ²
 José Danny Peralta Machado ²

¹ Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (Ecuador)

² Universidad de Guayaquil (Ecuador)

Autor de correspondencia:
 María Magdalena Rosado Alvarez
 maria.rosado03@cu.ucsg.edu.ec

Como citar en APA

Quezada Calle, E., Rosado Álvarez, M. M., Romero Ibarra, O. P., Peralta Machado, J. D. (2025). Análisis articular de la marcha en fase de balanceo en sujetos con secuelas neurológicas. *Retos*, 68, 1635–1643. <https://doi.org/10.47197/retos.v68.116381>

Resumen

Introducción: La marcha en personas con secuelas neurológicas posteriores a un evento cerebrovascular se ve alterada por restricciones articulares que afectan su funcionalidad. La fase de balanceo constituye un momento clave para detectar dichas alteraciones.

Objetivo: Analizar el grado de afectación articular en cadera, rodilla y tobillo durante las fases del balanceo de la marcha en personas con alteración motora secundaria a un evento cerebrovascular, mediante mediciones angulares obtenidas con herramientas de análisis digital.

Metodología: Estudio descriptivo de corte transversal con 30 participantes. Se aplicó análisis angular bidimensional en el plano sagital, evaluando las fases inicial, media y final del balanceo. Las mediciones fueron procesadas en Kinovea y comparadas con rangos funcionales de referencia.

Resultados: La mayor afectación se identificó en la rodilla durante la fase final, con una diferencia de 56,5° respecto al valor funcional esperado. En la cadera y el tobillo se observaron alteraciones progresivas, con diferencias máximas de 39,5° y 36,5°, respectivamente. Se evidenció un patrón de interdependencia entre articulaciones, más allá de la afectación segmentaria.

Discusión: Los hallazgos coinciden con estudios previos que describen rigidez, compensación y asimetría articular en pacientes post-ictus. La metodología empleada permitió una caracterización detallada por fase y segmento, utilizando herramientas de bajo costo con aplicabilidad clínica.

Conclusión: El análisis segmentado facilitó la identificación de déficits articulares clínicamente relevantes, proporcionando valores objetivos para orientar la rehabilitación. La detección de alteraciones de hasta 56,5° refuerza la utilidad de este enfoque para planificar intervenciones terapéuticas específicas según la articulación y la fase comprometida.

Palabras clave

Accidente cerebrovascular; análisis de la marcha; cinemática; rango del movimiento articular; rehabilitación neurológica.

Abstract

Introduction: Gait in individuals with neurological sequelae following a cerebrovascular event is often altered due to joint restrictions that impair functional mobility. The swing phase represents a key moment for detecting such alterations.

Objective: To analyze the degree of joint impairment in the hip, knee, and ankle during the swing phases of gait in individuals with motor impairment secondary to a cerebrovascular event, using angular measurements obtained through digital analysis tools.

Methodology: A descriptive cross-sectional study was conducted with 30 participants. A two-dimensional angular analysis in the sagittal plane was applied, assessing the initial, mid, and terminal swing phases. Measurements were processed using Kinovea and compared to established functional reference ranges.

Results: The greatest impairment was found in the knee during the terminal phase, with a difference of 56.5° from the expected functional range. The hip and ankle showed progressive alterations, with maximum differences of 39.5° and 36.5°, respectively. An interdependent pattern between joints was observed, extending beyond isolated segmental impairment.

Discussion: The findings are consistent with previous studies that describe joint stiffness, compensatory mechanisms, and asymmetry in post-stroke patients. The methodology enabled detailed characterization by phase and segment, using low-cost tools with clinical applicability.

Conclusion: The segmented analysis facilitated the identification of clinically relevant joint deficits, providing objective values to guide rehabilitation. The detection of impairments of up to 56.5° highlights the utility of this approach for planning targeted therapeutic interventions based on the specific joint and gait phase involved.

Keywords

Stroke; gait analysis; kinematics; range of motion, articular; neurological rehabilitation.

Introducción

La marcha humana es una función motora compleja que requiere la integración precisa de mecanismos neuromusculares y biomecánicos. En personas que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV), esta función se ve severamente comprometida, especialmente durante la fase de balanceo, donde las restricciones articulares afectan el patrón de desplazamiento y la estabilidad funcional (Skvortsov et al., 2025). Diversos estudios han evidenciado que las alteraciones en la cinemática de cadera, rodilla y tobillo en esta fase no solo limitan la movilidad, sino que también inciden directamente en la capacidad de desplazarse de forma autónoma (Jeon et al., 2024; Srivastava et al., 2024).

Durante el proceso de recuperación post-ictus, se han identificado patrones patológicos que modifican la flexión de cadera y rodilla, así como la dorsiflexión del tobillo, generando compensaciones que afectan la eficiencia del paso (Araki et al., 2024; Kim et al., 2025). Estas adaptaciones suelen derivar en manifestaciones clínicas como la marcha rígida de rodilla, cuya expresión varía entre pacientes según la severidad del daño neurológico (Lee et al., 2025). La heterogeneidad de estos comportamientos ha motivado el desarrollo de modelos clasificatorios basados en análisis cinemáticos avanzados, que permiten identificar subtipos de marcha patológica (Kuch et al., 2025).

En este contexto, los sistemas de análisis digital han cobrado relevancia como herramientas accesibles y precisas para evaluar alteraciones articulares. Tecnologías como Kinovea, sensores inerciales o sistemas de captura sin marcadores, han demostrado una alta concordancia con métodos tridimensionales más complejos (Winkler et al., 2024; Xu et al., 2023). Su uso ha permitido cuantificar de forma objetiva la movilidad articular y generar métricas funcionales sobre el desempeño de las extremidades en condiciones clínicas reales (Yoon et al., 2024; Prisco et al., 2024).

La implementación de análisis biomecánicos mediante herramientas digitales ha sido clave para profundizar en la comprensión del impacto del ACV sobre la marcha. La exploración de variaciones angulares durante el ciclo de la marcha, especialmente en la fase de balanceo, permite detectar desviaciones específicas que podrían no ser evidentes en evaluaciones clínicas tradicionales (Pan et al., 2024). Así, el enfoque hacia una evaluación segmentada ofrece una mayor precisión para diseñar estrategias de rehabilitación individualizadas, basadas en la identificación temprana de déficits funcionales.

En consecuencia, el presente estudio tiene como objetivo analizar el grado de afectación articular en cadera, rodilla y tobillo durante las fases del balanceo de la marcha en personas con alteración motora secundaria a un evento cerebrovascular, mediante mediciones angulares obtenidas con herramientas de análisis digital. Esta aproximación permitirá generar evidencia aplicable en contextos clínicos de bajo costo, contribuyendo a optimizar la evaluación funcional y la toma de decisiones terapéuticas.

Método

Se llevó a cabo un estudio de enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y de corte transversal, con un alcance exploratorio. Esta modalidad metodológica permitió caracterizar el comportamiento articular de los miembros inferiores durante la marcha en una población con secuelas neurológicas, sin intervenir ni modificar sus condiciones clínicas. Se seleccionó este diseño por su idoneidad para estudios observacionales donde se requiere documentar fenómenos cinemáticos sin manipular variables independientes. La recopilación de datos se enfocó en la medición angular de cadera, rodilla y tobillo durante las fases de balanceo del ciclo de marcha, utilizando análisis en dos dimensiones.

Participantes

Participaron treinta sujetos con alteración motora secundaria a lesión neurológica. El 73,4% correspondió al sexo masculino ($n = 22$) y el 26,6% al sexo femenino ($n = 8$). En cuanto a la edad, el grupo de 66 a 75 años representó el 33,3% de la muestra, seguido de los de 56 a 65 años (30,0%), 46 a 55 años (23,3%) y 35 a 45 años (13,4%). La muestra fue seleccionada de una población de 40 pacientes que asistían a un centro de rehabilitación física, y tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se consideraron aptos los 30 participantes evaluados.

Los criterios de inclusión establecidos fueron: (1) diagnóstico clínico de evento cerebrovascular con secuela motora hemiparética, (2) capacidad deambulatoria sin asistencia técnica, y (3) estabilidad clínica



al momento de la evaluación. Se excluyeron aquellos participantes con accidente isquémico transitorio, hemiplejía, apraxia, amnesia, vértigo o lesiones musculoesqueléticas que alteraran el movimiento.

Todos los participantes fueron previamente informados sobre el objetivo y procedimiento del estudio y firmaron el correspondiente consentimiento informado. El estudio se desarrolló respetando los principios éticos de la Declaración de Helsinki (World Medical Association, 2013).

Procedimiento

Las evaluaciones se llevaron a cabo dos días a la semana, en horario matutino, de forma individual, en un entorno controlado con iluminación uniforme y superficie plana. Los participantes caminaron descalzos, en línea recta y sin asistencia externa. El registro del movimiento se realizó en plano sagital, utilizando una cámara ubicada a una distancia aproximada de tres metros, lo que permitió capturar de manera completa el ciclo de marcha.

Previo a la grabación, se colocaron marcadores anatómicos visibles sobre referencias óseas clave: trocánter mayor, cóndilo femoral lateral, maléolo externo y cabeza del quinto metatarsiano. Posteriormente, se seleccionaron los fotogramas correspondientes a las fases inicial, media y final del balanceo. La medición angular fue realizada por dos evaluadores de forma independiente, mediante las herramientas digitales del *software* Kinovea.

Instrumento

Se empleó una cámara digital con resolución mínima de 720p (líneas progresivas o progressive scan, no píxeles), lo cual permitió capturar el movimiento con fluidez y adecuada nitidez para el análisis angular. El análisis cinemático se realizó mediante el *software* Kinovea (versión 0.8.15), el cual permitió cuantificar los ángulos articulares en las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo. Los registros fueron consignados en fichas estructuradas, elaboradas específicamente para este estudio. Los datos se sistematizaron posteriormente para su análisis estadístico descriptivo.

Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron organizados y codificados en hojas de cálculo para su procesamiento estadístico. Se aplicó un análisis descriptivo mediante medidas de tendencia central, específicamente medianas, con el fin de representar adecuadamente la distribución angular en cada fase del balanceo.

La diferencia entre los valores observados y los rangos articulares funcionales establecidos en la literatura permitió determinar el grado de afectación articular, expresado en grados (°), por articulación y por fase (inicial, media y final). Esta diferencia se calculó como: Grado de afectación = Rango útil esperado – Mediana observada.

Los datos fueron procesados en Microsoft Excel, y se representaron mediante tablas, preservando la agrupación por articulación (cadera, rodilla y tobillo) y por fase del ciclo de marcha. No se aplicaron pruebas inferenciales, ya que el objetivo del estudio se centró en la caracterización biomecánica descriptiva de la población evaluada.

Resultados

La Tabla 1 recoge los valores articulares de la cadera durante las tres fases del balanceo, desagregados por sexo. En la fase inicial, se observa una distribución equilibrada entre hombres y mujeres en todos los rangos. Los participantes con amplitudes entre 160° y 170° (5 hombres y 4 mujeres) alcanzan una mediana de 165°, lo que representa una compensación articular de -21°, superior al rango funcional esperado de 144°. Este patrón de hipermovilidad también se presenta en los rangos de 150°-159° y 140°-149°, con medianas de 154,5° y 144,5°, y grados de afectación de -10,5° y -0,5°, respectivamente. En contraste, los sujetos con valores entre 130° y 139° (mayoritariamente mujeres) reflejan una mediana de 134,5°, ya por debajo del estándar, con un compromiso de 9,5°, lo cual podría sugerir un mayor grado de restricción en este subgrupo.

Durante la fase medial, se mantiene una participación equilibrada por sexo en la mayoría de los rangos. Los valores más amplios (160°-170° y 150°-159°) muestran nuevamente compensación con grados de afectación de -12° y -1,5°, mientras que en los rangos más bajos (140°-149°, 130°-139°, 120°-129°)



las medianas descienden progresivamente hasta 124,5°, generando grados de afectación de hasta 28,5°. Cabe destacar que los grupos con mayor restricción articular (menores de 140°) están conformados principalmente por mujeres, lo que podría reflejar un patrón de movilidad diferencial por sexo.

En la fase final del balanceo, el patrón de restricción progresiva se vuelve más marcado. Aunque un pequeño grupo (1 hombre y 1 mujer) presenta compensación (mediana de 175°; afectación de -1°), la mayoría de los valores se sitúa por debajo del rango funcional de 174°. El grupo con la mayor afectación (mediana de 134,5°; afectación de 39,5°) incluye 5 hombres y 5 mujeres, lo que evidencia una restricción significativa independientemente del sexo. Sin embargo, los grupos con menor compromiso articular incluyen una mayor proporción de hombres, lo cual sugiere que las mujeres podrían presentar mayores limitaciones funcionales en esta articulación, al menos en esta fase.

Tabla 1. Evaluación de la cadera en fases de balanceo de la marcha

Fase del balanceo	Hombres	Mujeres	Total sujetos	Rango articular observado (°)	Mediana del rango (°)	Rango útil (°)	Grado de afectación (°)
Inicial	5	4	9	160° - 170°	165	144	-21
Inicial	4	1	5	150° - 159°	154,5	144	-10,5
Inicial	4	5	9	140° - 149°	144,5	144	-0,5
Inicial	5	2	7	130° - 139°	134,5	144	9,5
Medial	3	1	4	160° - 170°	165	153	-12
Medial	2	5	7	150° - 159°	154,5	153	-1,5
Medial	4	2	6	140° - 149°	144,5	153	8,5
Medial	5	4	9	130° - 139°	134,5	153	18,5
Medial	1	3	4	120° - 129°	124,5	153	28,5
Final	1	1	2	170° - 180°	175	174	-1
Final	4	2	6	160° - 169°	164,5	174	9,5
Final	2	1	3	150° - 159°	154,5	174	19,5
Final	5	4	9	140° - 149°	144,5	174	29,5
Final	5	5	10	130° - 139°	134,5	174	39,5

Nota: Comparación entre rangos articulares observados y rangos útiles durante las fases de balanceo. Valores negativos indican compensación articular por hipermovilidad. N = 30 sujetos.

La Tabla 2 presenta los hallazgos correspondientes a la evaluación articular de la rodilla durante las fases inicial, medial y final del balanceo de la marcha, diferenciados por sexo. En la fase inicial, el grupo con mayor movilidad (130°-140°) estuvo conformado por 2 hombres y 4 mujeres, con una mediana de 135° y una afectación mínima de 6°. En el siguiente rango (120°-129°), participaron 3 hombres y 3 mujeres, con una mediana de 124,5° y una afectación de 16,5°. A medida que disminuye el rango, se incrementa la proporción masculina: en el grupo de 110°-119° hubo 7 hombres y 2 mujeres (mediana: 114,5°; afectación: 26,5°), y en el de 100°-109°, 6 hombres y 3 mujeres (mediana: 104,5°; afectación: 36,5°). Esto sugiere que, en esta fase, los hombres tendieron a presentar una mayor restricción de la extensión articular.

Durante la fase medial, el patrón se mantiene. El grupo con valores de 130°-140° estuvo compuesto por un solo hombre (mediana: 135°; afectación: -8°), lo que refleja una compensación por hipermovilidad. En el rango de 120°-129°, participaron 8 hombres y 5 mujeres (mediana: 124,5°; afectación: 2,5°); en el de 110°-119°, 5 hombres y 3 mujeres (mediana: 114,5°; afectación: 12,5°); y en el de 100°-109°, 7 hombres y 4 mujeres (mediana: 104,5°; afectación: 22,5°). La predominancia masculina en los grupos con menor movilidad vuelve a estar presente, lo cual podría estar asociado a una mayor rigidez en esta articulación.

En la fase final del balanceo, las diferencias entre sexos se acentúan. El rango de 130°-140° estuvo compuesto por 3 hombres, sin mujeres (mediana: 135°; afectación: 16°). En el rango de 120°-129° hubo 3 hombres y ninguna mujer (mediana: 124,5°; afectación: 26,5°). En los siguientes rangos, donde la restricción es más severa, la participación femenina aumenta: el grupo de 110°-119° estuvo compuesto por 1 hombre y 3 mujeres (mediana: 114,5°; afectación: 36,5°), mientras que el de 90°-99° incluyó 7 hombres y 4 mujeres (mediana: 94,5°; afectación: 56,5°). Este último representa el compromiso más grave en toda la muestra y refleja una afectación crítica en la rodilla al cierre del ciclo de marcha, con predominancia masculina pero también con representación femenina significativa.

Tabla 2. Evaluación de la rodilla en fases de balanceo de la marcha

Fase del balanceo	Hombres	Mujeres	Total sujetos	Rango articular observado (°)	Mediana del rango (°)	Rango útil (°)	Grado de afectación (°)
Inicial	2	4	6	130° - 140°	135	141	6
Inicial	3	3	6	120° - 129°	124,5	141	16,5
Inicial	7	2	9	110° - 119°	114,5	141	26,5
Inicial	6	3	9	100° - 109°	104,5	141	36,5
Medial	1	0	1	130° - 140°	135	127	-8
Medial	8	5	13	120° - 129°	124,5	127	2,5
Medial	2	3	5	110° - 119°	114,5	127	12,5
Medial	7	4	11	100° - 109°	104,5	127	22,5
Final	1	0	1	130° - 140°	135	151	16
Final	3	0	3	120° - 129°	124,5	151	26,5
Final	6	5	11	110° - 119°	114,5	151	36,5
Final	1	3	4	100° - 109°	104,5	151	46,5
Final	7	4	11	90° - 99°	94,5	151	56,5

Nota: Mediciones realizadas durante las fases inicial, medial y final del balanceo, comparando los rangos articulares observados con los rangos útiles funcionales esperados. Los valores negativos indican compensación articular. N = 30 sujetos.

La Tabla 3 detalla las mediciones articulares del tobillo en las tres fases del balanceo, incorporando la distribución por sexo. En la fase inicial, el grupo con amplitudes entre 120° y 130° estuvo compuesto por 9 hombres y 7 mujeres (mediana: 125°), con un grado de afectación de 7° respecto al rango útil de 132°. En el grupo siguiente (110°-119°), participaron 5 hombres y 2 mujeres, con una mediana de 114,5° y una afectación de 17,5°. Finalmente, el rango más comprometido (100°-109°) incluyó a 4 hombres y 3 mujeres (mediana: 104,5°; afectación: 27,5°). Aunque la distribución es relativamente balanceada, se observa una ligera tendencia a mayor afectación en los subgrupos con mayor proporción masculina.

Durante la fase medial, la distribución fue más heterogénea. El grupo con amplitudes de 140°-150° incluyó únicamente mujeres (2), con una mediana de 145° y una leve sobrecompensación articular de -1°. En el rango de 130°-139°, participaron 6 hombres y 2 mujeres (mediana: 134,5°; afectación: 11,5°), mientras que en el grupo de 120°-129° hubo 8 hombres y 7 mujeres (mediana: 124,5°; afectación: 21,5°). En el rango más comprometido (110°-119°), se registraron 4 hombres y 1 mujer (mediana: 114,5°; afectación: 31,5°). Nuevamente, se identifica un patrón de mayor restricción articular en los grupos con predominancia masculina.

En la fase final del balanceo, el subgrupo con sobrecompensación articular (150°-160°) estuvo conformado por 2 hombres (mediana: 155°; afectación: -4°). En el rango de 140°-149°, participaron 3 hombres y 1 mujer (mediana: 144,5°; afectación: 6,5°). El grupo de 130°-139° estuvo compuesto por 2 hombres y 1 mujer (mediana: 134,5°; afectación: 16,5°), mientras que en el rango de 120°-129° se incluyeron 3 hombres y 4 mujeres (mediana: 124,5°; afectación: 26,5°). El grupo más afectado (110°-119°), con una mediana de 114,5° y un compromiso de 36,5°, estuvo conformado por 9 hombres y 7 mujeres. Esta afectación refleja el mayor grado de limitación en la movilidad del tobillo, con una distribución equilibrada por sexo, lo que sugiere que, en esta fase, la restricción funcional afecta por igual a ambos grupos.

Tabla 3. Evaluación del tobillo en fases de balanceo de la marcha

Fase del balanceo	Hombres	Mujeres	Total sujetos	Rango articular observado (°)	Mediana del rango (°)	Rango útil (°)	Grado de afectación (°)
Inicial	9	7	16	120° - 130°	125	132	7
Inicial	5	2	7	110° - 119°	114,5	132	17,5
Inicial	4	3	7	100° - 109°	104,5	132	27,5
Medial	0	2	2	140° - 150°	145	146	1
Medial	6	2	8	130° - 139°	134,5	146	11,5
Medial	8	7	15	120° - 129°	124,5	146	21,5
Medial	4	1	5	110° - 119°	114,5	146	31,5
Final	2	0	2	150° - 160°	155	151	-4
Final	3	1	4	140° - 149°	144,5	151	6,5
Final	0	1	1	130° - 139°	134,5	151	16,5
Final	4	3	7	120° - 129°	124,5	151	26,5
Final	9	7	16	110° - 119°	114,5	151	36,5

Nota: Rangos articulares observados y grados de afectación respecto al rango funcional útil en las fases del balanceo. Valores negativos indican sobrecompensación articular. N = 30 sujetos.



Discusión

Los resultados evidenciaron un patrón segmentado de afectación articular durante la fase de balanceo de la marcha en sujetos con secuelas neurológicas, caracterizado por restricciones diferenciales en cadera, rodilla y tobillo, con variaciones según la fase del ciclo y el sexo. Esta segmentación funcional refleja adaptaciones biomecánicas específicas que han sido reportadas en población post-ictus (Lee et al., 2023; Santos et al., 2025), y aporta evidencia sobre cómo las articulaciones interactúan como un sistema compensatorio interdependiente.

La rodilla presentó el mayor compromiso, especialmente en la fase final, donde el rango articular observado se alejó en $56,5^\circ$ del rango funcional esperado. Este dato resulta coherente con estudios que identifican rigidez del cuádriceps y patrones de marcha rígida en pacientes post-ictus, donde la hiperreflexia espástica interfiere con la flexión durante el balanceo (Lee et al., 2023; Lee et al., 2024). La literatura sugiere que estas limitaciones no solo tienen origen muscular, sino también en el control motor central, afectando la programación anticipatoria del movimiento (Cho et al., 2024; Santos et al., 2025). En esta muestra, la restricción fue más pronunciada en hombres durante las fases iniciales, tendencia que podría relacionarse con diferencias en rigidez muscular o niveles de activación (Park & Han, 2024).

En relación con la cadera, se evidenció una respuesta mixta. En las fases inicial y medial, algunos participantes mostraron valores por encima del rango funcional, indicativo de hipermovilidad compensatoria. Este patrón es congruente con lo señalado por Bloks et al. (2025), quienes destacan que ante la rigidez en la rodilla, el incremento de la flexión de cadera cumple una función de sustitución mecánica. No obstante, en la fase final, predominó una restricción significativa (hasta $39,5^\circ$), lo que podría interpretarse como resultado de fatiga neuromuscular o insuficiencia en los flexores de cadera, fenómeno descrito también por Ohtsuka et al. (2023).

Respecto al tobillo, los hallazgos indicaron una reducción progresiva de la dorsiflexión a lo largo del balanceo, con un compromiso máximo de $36,5^\circ$ en la fase final. Esta alteración ha sido identificada como un factor limitante de la eficiencia del despegue y del contacto inicial, además de estar asociada a mayor riesgo de caídas (Monteagudo & De Albornoz, 2022; Virto et al., 2024). En este estudio, las diferencias entre hombres y mujeres fueron menores en esta articulación, especialmente en las fases más comprometidas, lo que sugiere una afectación funcional más uniforme por sexo en comparación con la cadera o la rodilla.

Un aspecto que merece atención es la distribución por sexo. Mientras que los hombres tendieron a presentar restricciones más severas en las fases iniciales de rodilla y tobillo, las mujeres manifestaron una afectación más constante y progresiva en cadera. Esta diferencia funcional, aunque no inferida estadísticamente, ha sido sugerida por Hulleck et al. (2022) y Park y Han (2024), quienes señalan que factores como el umbral de esfuerzo percibido, la masa muscular o la eficiencia motora podrían modular de forma diferenciada el rendimiento biomecánico según el sexo.

Los resultados también evidencian la naturaleza interdependiente de las articulaciones durante el balanceo. La compensación en cadera ante la limitación en rodilla, o el aumento de la dorsiflexión del tobillo como respuesta a restricciones proximales, han sido descritos como parte de un modelo adaptativo donde las alteraciones se expresan en cadena (Menychtas et al., 2023; García et al., 2024). Esta interacción sugiere que la intervención terapéutica debe concebirse desde una lógica integral, más que segmentaria, enfocándose en la funcionalidad global de la marcha (Li et al., 2023; Bartik et al., 2024).

Desde el punto de vista metodológico, el uso de herramientas accesibles como Kinovea para el análisis bidimensional resultó ser una opción válida y reproducible para obtener mediciones angulares segmentadas. Su aplicación ha sido respaldada en contextos clínicos con recursos limitados, permitiendo evaluaciones funcionales precisas sin necesidad de sistemas de captura tridimensional (García et al., 2024). Sin embargo, como advierten Menychtas et al. (2023), el análisis 2D presenta limitaciones al no capturar desplazamientos fuera del plano sagital, lo cual restringe la interpretación de patrones rotacionales o laterales. En este sentido, se recomienda que futuras investigaciones incorporen sistemas de análisis en 3D o tecnologías complementarias como el mapeo estadístico paramétrico (Park & Han, 2024) o el análisis de componentes principales (Cho et al., 2024), a fin de profundizar en la caracterización cinemática tridimensional del ciclo de marcha.

El modelo utilizado en este estudio no solo es técnicamente viable, sino que también representa una alternativa metodológica adaptable a centros de atención primaria o instituciones comunitarias. La posibilidad de obtener información funcional confiable con recursos mínimos permite que los profesionales de la rehabilitación personalicen las intervenciones de acuerdo con la fase articular más comprometida y el segmento afectado, sin depender de equipamiento sofisticado (Lonini et al., 2022; Bloks et al., 2025). Este enfoque también refuerza la equidad en el acceso a evaluaciones biomecánicas de calidad, y posiciona a la marcha como una variable crítica para la planificación terapéutica post-ictus.

El abordaje angular por fases, por tanto, ofrece una herramienta diagnóstica útil, no solo para identificar alteraciones específicas, sino también para orientar decisiones clínicas contextualizadas. La integración de estos hallazgos con programas de intervención focalizados —como los planteados por Bartik et al. (2024)— puede mejorar la eficiencia de la rehabilitación funcional, promoviendo la restauración de patrones de marcha más estables y seguros.

Limitaciones

Entre las limitaciones de este estudio se encuentran el tamaño reducido de la muestra, la ausencia de evaluación bilateral y la posibilidad de variabilidad Inter evaluador, pese a la capacitación de los evaluadores. Asimismo, el uso de un análisis bidimensional restringido al plano sagital limitó la detección de movimientos fuera de dicho eje, como compensaciones en los planos frontal o transversal, que podrían ser clínicamente relevantes. Tampoco se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales, lo que restringe el alcance de generalización de los hallazgos.

Conclusiones

Los hallazgos del presente estudio revelan un patrón segmentado de afectación articular durante la fase de balanceo de la marcha en personas con secuelas neurológicas post-ictus. La rodilla mostró el mayor compromiso funcional en la fase final, con una mediana de 94,5°, frente a un rango esperado de 151°, lo que representa una diferencia de 56,5°. En la cadera, la restricción alcanzó hasta 39,5° respecto al valor funcional de 174°, mientras que en el tobillo se registró una afectación máxima de 36,5°, también en la fase final. Estos valores cuantifican el deterioro biomecánico y confirman la presencia de estrategias compensatorias interarticulares, particularmente entre los segmentos proximal y distal. Esta evidencia refuerza la necesidad de abordajes terapéuticos tanto específicos por articulación como integrales en su enfoque funcional. Además, la aplicación del análisis angular bidimensional mediante Kinovea se consolidó como una herramienta accesible y eficaz en entornos clínicos con recursos limitados, permitiendo generar datos objetivos que pueden guiar la toma de decisiones en rehabilitación de manera individualizada y contextualizada según la articulación y la fase del ciclo de marcha comprometida.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los pacientes del centro de rehabilitación por su participación voluntaria, así como a los especialistas que aportaron valiosos insumos al desarrollo del artículo.

Referencias

- Araki, S., Matsuura, H., Miyazaki, T., Matsuzawa, Y., Nakai, Y., Kawada, M., Takeshita, Y., Takamura, M., & Kiyama, R. (2024). Longitudinal changes in vertical stride regularity, hip flexion, and knee flexion contribute to the alteration in gait speed during hospitalization for stroke. *Human Movement Science*, 95, 103227. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2024.103227>
- Bartik, P., Popescu, A., Plăstoi, C.-D., Niculescu, B., Șagát, P., Prieto González, P., Al Jasser, I., Ioan Tohănean, D., Turcu, I., & Kubíková, E. (2024). Combined Vojta and Bobath concepts therapy effect and physical exercises on foot balance and motor control in children with infantile cerebral palsy. *Retos*, 62, 940-947. <https://doi.org/10.47197/retos.v62.108818>



- Bloks, B. E., Keijsers, N. L. W., Van Oorschot, W., Geurts, A. C., & Nonnekens, J. (2025). Towards a precision rehabilitation approach for post-stroke stiff knee gait. *Clinical Biomechanics*, 106587. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2025.106587>
- Cho, J., Ha, S., Lee, J., Kim, M., & Kim, H. (2024). Stroke walking and balance characteristics via principal component analysis. *Scientific Reports*, 14(1), 10465. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60943-5>
- García, T. C. G., Parada, M. F. B., & Leiva, K. M. R. (2024). Biomechanical analysis of functional movement in athletes using kinovea. En H.-N. Costin, R. Magjarević, & G. G. Petroiu (Eds.), *Advances in Digital Health and Medical Bioengineering* (Vol. 111, pp. 469-477). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-62523-7_52
- Hulleck, A. A., Menoth Mohan, D., Abdallah, N., El Rich, M., & Khalaf, K. (2022). Present and future of gait assessment in clinical practice: Towards the application of novel trends and technologies. *Frontiers in Medical Technology*, 4, 901331. <https://doi.org/10.3389/fmedt.2022.901331>
- Ii, T., Hirano, S., Imoto, D., & Otaka, Y. (2023). Effect of gait training using Welwalk on gait pattern in individuals with hemiparetic stroke: A cross-sectional study. *Frontiers in Neurorobotics*, 17, 1151623. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2023.1151623>
- Jeon, H., Chung, E.-H., Bak, S.-Y., Kim, H., Shin, S., Baek, H., & Kim, M. (2024). Comparison of biomechanical parameters in lower limb joints of stroke patients according to conventional evaluation scores during level walking. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1320337>
- Kim, G., Kim, H., Kim, Y.-H., Kim, S.-J., & Choi, M.-T. (2025). Deep temporal clustering of pathological gait patterns in post-stroke patients using joint angle trajectories: A cross-sectional study. *Bioengineering*, 12(1), 55. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12010055>
- Kuch, A., Schweighofer, N., Finley, J. M., McKenzie, A., Wen, Y., & Sánchez, N. (2025). Identification of subtypes of post-stroke and neurotypical gait behaviors using neural network analysis of gait cycle kinematics. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 33, 1927-1938. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2025.3568325>
- Lee, J., Akbas, T., & Sulzer, J. (2023). Hip and knee joint kinematics predict quadriceps hyperreflexia in people with post-stroke stiff-knee gait. *Annals of Biomedical Engineering*, 51(9), 1965-1974. <https://doi.org/10.1007/s10439-023-03217-x>
- Lee, J., Lee, R. K., Seamon, B. A., Kautz, S. A., Neptune, R. R., & Sulzer, J. (2024). Between-limb difference in peak knee flexion angle can identify persons post-stroke with Stiff-Knee gait. *Clinical Biomechanics*, 120, 106351. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2024.106351>
- Lee, J., Seamon, B. A., Lee, R. K., Kautz, S. A., Neptune, R. R., & Sulzer, J. S. (2025). Post-stroke Stiff-Knee gait: Are there different types or different severity levels? *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 22(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s12984-025-01582-3>
- Lonini, L., Moon, Y., Embry, K., Cotton, R. J., McKenzie, K., Jenz, S., & Jayaraman, A. (2022). Video-based pose estimation for gait analysis in stroke survivors during clinical assessments: A proof-of-concept study. *Digital Biomarkers*, 6(1), 9-18. <https://doi.org/10.1159/000520732>
- Menychtas, D., Petrou, N., Kansizoglou, I., Giannakou, E., Grekidis, A., Gasteratos, A., Gourgoulis, V., Douda, E., Smilios, I., Michalopoulou, M., Sirakoulis, G. Ch., & Aggelousis, N. (2023). Gait analysis comparison between manual marking, 2D pose estimation algorithms, and 3D marker-based system. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 4, 1238134. <https://doi.org/10.3389/fresc.2023.1238134>
- Monteagudo, M., & De Albornoz, P. M. (2022). Foot and ankle biomechanics gait analysis. En E. Wagner Hirschfeld & P. Wagner Hirschfeld (Eds.), *Foot and Ankle Disorders* (pp. 3-23). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-95738-4_1
- Ohtsuka, K., Mukaino, M., Yamada, J., Fumihiko, M., Tanikawa, H., Tsuchiyama, K., Teranishi, T., Saitoh, E., & Otaka, Y. (2023). Effects of ankle-foot orthosis on gait pattern and spatiotemporal indices during treadmill walking in hemiparetic stroke. *International Journal of Rehabilitation Research*, 46(4), 316-324. <https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000602>
- Pan, J. W., Sidarta, A., Wu, T.-L., Kwong, W. H. P., Ong, P. L., Tay, M. R. J., Phua, M. W., Chong, W. B., Ang, W. T., & Chua, K. S. G. (2024). Unraveling stroke gait deviations with movement analytics, more than meets the eye: A case control study. *Frontiers in Neuroscience*, 18, 1425183. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1425183>

- Park, J., & Han, K. (2024). Quantifying gait asymmetry in stroke patients: A statistical parametric mapping (Spm) approach. *Medical Science Monitor*, 31. <https://doi.org/10.12659/MSM.946754>
- Prisco, G., Pirozzi, M. A., Santone, A., Esposito, F., Cesarelli, M., Amato, F., & Donisi, L. (2024). Validity of wearable inertial sensors for gait analysis: A systematic review. *Diagnostics*, 15(1), 36. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15010036>
- Santos, G. F., Jakubowitz, E., & Hurschler, C. (2025). Predicting prosthetic gait and the effects of induced stiff-knee gait. *PLOS ONE*, 20(1), e0314758. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0314758>
- Skvortsov, D. V., Kaurkin, S. N., Grebenkina, N. V., & Ivanova, G. E. (2025). Typical changes in gait biomechanics in patients with subacute ischemic stroke. *Diagnostics*, 15(5), 511. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15050511>
- Srivastava, S., Kindred, J. H., Seamon, B. A., Charalambous, C. C., Boan, A. D., Kautz, S. A., & Bowden, M. G. (2024). A novel biomechanical indicator for impaired ankle dorsiflexion function during walking in individuals with chronic stroke. *Gait & Posture*, 107, 246-252. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.10.012>
- Virto, N., Río, X., Muñoz-Pérez, I., Méndez-Zorrilla, A., & García-Zapirain, B. (2024). Gait speed in older adults: Exploring the impact of functional, physical and social factors. *Retos*, 61, 552-566. <https://doi.org/10.47197/retos.v61.109902>
- Winkler, E. V., Lauer, S. K., Steigmeier-Raith, S. I., Zablotski, Y., & Mille, M. A. (2024). Accuracy of Kinovea-based kinematic gait analysis compared to a three-dimensional motion analysis system in healthy dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 85(10). <https://doi.org/10.2460/ajvr.24.05.0128>
- World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*. 2013;310:2191-4. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>
- Xu, S., Wang, D., Huang, X., Yang, Z., Lin, J., & Ning, G. (2023). Markerless motion capture system for stroke gait analysis. En M. Chen & G. Ning (Eds.), *Second International Conference on Biomedical and Intelligent Systems (IC-BIS 2023)* (p. 61). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2687557>
- Yoon, D. H., Kim, J.-H., Lee, K., Cho, J.-S., Jang, S.-H., & Lee, S.-U. (2024). Inertial measurement unit sensor-based gait analysis in adults and older adults: A cross-sectional study. *Gait & Posture*, 107, 212-217. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.10.006>

Datos de los/as autores/as y traductor/a:

Edgar Quezada Calle
 María Magdalena Rosado Álvarez
 Orlando Patricio Romero Ibarra
 José Danny Peralta Machado

edgar.calle@cu.ucsg.edu.ec
 maria.rosado03@cu.ucsg.edu.ec
 patricio.romeroi@ug.edu.ec
 jose.peraltam@ug.edu.ec

Autor/Traductor
 Autora/Traductora
 Autor
 Autor

