

Comparación del comportamiento cinemático de la pelvis durante la marcha en jóvenes con y sin dolor lumbar crónico: Un análisis cinemático con G-Walk

Comparison of Pelvic Kinematic Behavior during Gait in Young people with and without Chronic Low Back Pain: A Kinematic Analysis with G-WALK

Sebastián Jiménez¹,  Matías Otto²,  Maryblanca Collao³,  Bastián Mena⁴, 
Nataly Quiroga⁴,  Oscar Valencia⁵. 

¹Escuela de Ingeniería Civil Biomédica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Valparaíso, Chile. ²Clínica Los Coihues, Santiago, Chile. ³Más Quiropráctica, Santiago, Chile. ⁴Práctica privada, Santiago, Chile. ⁵Laboratorio Integrativo de Biomecánica y Fisiología del Esfuerzo, Escuela de Kinesiología, Facultad de Medicina, Universidad de los Andes, Chile.

Autor para correspondencia: sebastian.jimenez@postgrado.uv.cl

Resumen

El objetivo de este estudio es comparar las adaptaciones biomecánicas en la marcha de jóvenes con y sin dolor lumbar crónico (DLC). Se reclutaron 30 participantes (15 personas por grupo, con DLC y grupo control). Las variables biomecánicas analizadas incluyeron inclinación pélvica, oblicuidad y rotación, complementadas con un índice de simetría de movimiento durante la marcha, utilizando el sistema de análisis G-Walk. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en la inclinación pélvica mínima derecha (grupo DLC = 16 (6) vs. grupo control: 12 (7,1), $p = 0,01$) y en los rangos de inclinación pélvica derecha e izquierda, siendo menores en el grupo con DLC ($4,2 \pm 1,1$ vs. $6,0 \pm 1,8$, $p = 0,004$;

4,4 ± 1,4 vs. 6,0 ± 1,7, $p = 0,01$, respectivamente). También se observaron diferencias en la rotación pélvica mínima derecha y máxima izquierda: (-2,8 (2,8) vs. -5,2 (3,3), $p = 0,011$; 2,9 (2,3) vs. 5,2 (3,1), $p = 0,006$, respectivamente) y en el rango de rotación pélvica derecha (7,4 ± 2,7 vs. 9,2 ± 2,7, $p = 0,03$). Adicionalmente, los porcentajes de simetría de la oblicuidad y la rotación pélvica fueron significativamente menores en el grupo DLC (oblicuidad grupo DLC = 92,7 ± 7,2 % vs. grupo control = 96,9 ± 2,3 %, $p = 0,047$; rotación grupo DLC = 90,9 ± 13,3 % vs. grupo control = 97,0 ± 2,7%, $p = 0,01$). En conclusión, los hallazgos encontrados podrían sugerir adaptaciones cinemáticas a nivel de la pelvis vinculada al DLC.

Palabras Clave: Dolor lumbar, análisis de marcha, fenómenos biomecánicos, cinemática

Abstract

The aim of this study was to compare biomechanical adaptations during the gait in young people with and without Chronic Low Back Pain (CLBP). Thirty participants were recruited (15 people by group, with CLBP and control group). Using a G-Walk analysis system, the biomechanical variables analyzed included pelvic tilt, obliquity, and rotation, complemented with a Movement Symmetry Index during gait. The results show significant differences in the minimum right pelvic tilt (CLBP group = 16 (6) v. control group = 12 (7.1), $p = 0.01$) and in the ranges of right and left pelvic tilt, which were lower in the CLBP group (4.2 ± 1.1 v. 6.0 ± 1.8, $p = 0.004$; 4.4 ± 1.4 v. 6.0 ± 1.7, $p = 0.01$, respectively). Differences were also observed in the minimum right pelvic rotation and maximum left pelvic rotation (-2.8 (2.8) v. -5.2 (3.3), $p = 0.011$; 2.9 (2.3) v. 5.2 (3.1), $p = 0.006$, respectively) and in the range of right pelvic rotation (7.4 ± 2.7 v. 9.2 ± 2.7, $p = 0.03$). Additionally, the percentages of symmetry for pelvic obliquity and rotation were significantly lower in the CLBP group (obliquity in CLBP group: 92.7 ± 7.2% v. control group: 96.9 ± 2.3 %, $p = 0.047$; rotation in CLBP group: 90.9 ± 13.3 % v. control group: 97.0 ± 2.7%, $p = 0.01$). In conclusion, the highlights could suggest pelvic kinematics adaptations associated with CLBP.

Keywords: Low back pain, gait analysis, biomechanical phenomena, kinematics

Introducción

El dolor lumbar es una de las afecciones musculoesqueléticas más comunes e invalidantes a nivel mundial. En 2020 aproximadamente 619 millones de personas en todo el mundo sufrieron de dolor lumbar, lo que representa cerca del 10 % de la población mundial [1]. Esto ha generado la clasificación habitual de esta patología según temporalidad, en donde el dolor agudo cede antes de las 4 semanas, el dolor subagudo entre 4 y 12 semanas y el dolor crónico tiene una duración mayor a 12 semanas [2]. En América Latina la prevalencia del dolor lumbar crónico oscila entre 4,2 % y 31,3 %, con un promedio estimado del 10,5 % [3].

La evidencia indica que las personas que experimentan DLC suelen evitar movimientos o posturas que exacerban su dolor [6]. La evasión y el miedo al dolor causado por el movimiento llevan a ajustes y alteraciones segmentarias en el cuerpo, lo que a su vez provoca modificaciones en las señales aferentes de las neuronas y una respuesta eferente modificada a nivel del sistema nervioso central. Estas respuestas pueden generar adaptaciones anormales en la ejecución de posturas y gestos [7] con el fin de evitar la manifestación del dolor [8] y puede llevar a una inactividad física significativa y, a su vez, a un deterioro general de la salud

De acuerdo con esto, resulta interesante considerar un hito básico y cotidiano, pero innegablemente complejo como la marcha humana, que puede ser analizada desde la descripción detallada de cada una de sus fases, hasta la evaluación de los diferentes componentes que pueden ser afectados, como los cinéticos, cinemáticos y el control neuromuscular, entre otros [10-12]. Por ejemplo, algunos estudios mencionan la relación entre el dolor lumbar y la obesidad [13], ya que observa alteraciones significativas sobre variables cinemáticas durante la marcha producto de compensaciones asociadas al peso corporal. Asimismo, una revisión sistemática y metaanálisis publicado por Smith *et al.* [14] reportó que individuos con antecedentes de dolor lumbar podrían presentar características biomecánicas diferentes durante la marcha en comparación con sujetos sanos. Estas diferencias son más evidentes en las características espacio-temporales, la coordinación entre el tórax y la pelvis, y la activación de los músculos paravertebrales [14]. En otras revisiones, como la publicada por Tsigkanos *et al.* [15], se menciona que individuos con DLC presentan valores más bajos en índices no lineales, como en el *Maximal Lyapunov Exponent* (LyE) y el *Approximate Entropy* (ApEN), lo que refleja una menor variabilidad y posiblemente una directa asociación a estrategias para evitar el dolor. Adicionalmente, Koch y Hänsel [16] en 2018 destacan la presencia de una mayor actividad muscular en la región lumbar baja en personas con DLC durante la marcha, particularmente en la fase de apoyo. Por otro lado, diversos autores como Hicks *et al.* [17], Demirel *et al.* [18] y van Dieën *et al.* [19] han observado diversas adaptaciones, como la reducción de velocidad de marcha, una longitud de zancada mas corta, el aumento del ancho de paso, longitud de paso y adaptación del control motor que se identifican durante la marcha en personas con DLC. Sin embargo, existe poca evidencia en base a los posibles cambios cinemáticos que podrían afectar los movimientos de la pelvis, caracterizada como una región más fácil de observar desde una perspectiva clínica.

Dada la escasez de estudios que describan directamente los parámetros cinemáticos vinculados a la región pélvica en jóvenes con dolor lumbar, este trabajo busca comparar la cinemática de la pelvis durante la marcha entre personas jóvenes con y sin DLC. La

hipótesis planteada es que aquellas personas con DLC presentan un comportamiento cinemático de la pelvis diferente a un grupo control.

Metodología

A través de un estudio analítico de corte transversal, se evaluaron a 15 personas con DLC y a 15 personas sin patología (grupo control). Cada participante firmó un consentimiento informado, previamente aprobado por el Comité de Ética Científico del SSM Oriente, respetando la declaración de Helsinki.

En el grupo con DLC, se incluyeron personas entre 18 y 30 años (hombres y mujeres) con dolor lumbar por un período superior a 12 semanas. Así mismo, aquellas personas con alguna intervención quirúrgica, tratamiento kinesiológico, administración farmacológica activa por dolor lumbar, patología musculoesquelética reciente en la región lumbar o miembros inferiores fueron excluidas. Mientras que el grupo control consideró la inclusión de personas jóvenes (hombres y mujeres) entre 18 y 30 años, excluyendo aquellas con problemas musculoesqueléticos durante los últimos seis meses.

Al grupo con DLC se le aplicó el Cuestionario Roland-Morris, diseñado para evaluar la funcionalidad y el grado de discapacidad que el dolor lumbar genera en la vida diaria de las personas. El cuestionario consta de 24 ítems que exploran diversas facetas de la funcionalidad, permitiendo obtener un puntaje final. Esto incluye elementos sobre quince áreas vinculadas a la capacidad y actividad física, tres sobre sueño y descanso, dos sobre aspectos psicosociales, dos sobre actividades del hogar, uno sobre alimentación y uno sobre frecuencia del dolor [20]. No se aplican ponderaciones a las distintas áreas y usualmente se clasifica en una incapacidad leve si es debajo de los 4 puntos y una variación en la puntuación sólo tiene relevancia clínica con 2 o más puntos de cambio [21].

Las variables analizadas en este estudio corresponden principalmente a la cinemática de la pelvis durante la marcha humana. A continuación se describen tres movimientos principales de la pelvis y un índice de simetría que cuantifica la igualdad entre ambos lados del cuerpo durante la marcha:

- 1. Inclinación pélvica (Tilt):** Ocurre en el plano sagital y se analiza a través de los valores de inclinación mínima y máxima, que representan los extremos de inclinación pélvica observados. El rango de inclinación, calculado como la diferencia entre los valores máximo y mínimo, evalúa la amplitud del movimiento

pélvico. El tilt pélvico, se mide en grados y se refiere a la basculación oblicua de la espina iliaca anterosuperior alrededor de un eje anteroposterior [22].

2. **Oblicuidad pélvica (Obl)**: Se produce en el plano frontal y se determina mediante los valores mínimos y máximos, indicando los puntos extremos de la oblicuidad pélvica. El rango de oblicuidad se mide en grados y valora la variabilidad de este movimiento a lo largo del ciclo de marcha [22].
3. **Rotación pélvica (Rot)**: Ocurre en el plano transversal, donde se analizan los valores mínimos y máximos de rotación. El rango de rotación se mide en grados e indica la amplitud del movimiento rotacional de la pelvis. La rotación pélvica se define como la oscilación pélvica realizada en el eje Z [22].

Además, para cada tipo de movimiento pélvico —inclinación, oblicuidad y rotación— se calcula el **Índice de Simetría de Movimiento (SIMM)**. Este índice refleja el porcentaje de simetría entre los movimientos pélvicos del lado izquierdo y derecho en relación al ciclo completo de marcha, proporcionando una medida porcentual de la igualdad en la ejecución de estos movimientos (en un rango de 0 a 100, donde aquellos valores cercanos a 100 indican una mayor simetría). Todas las mediciones se llevaron a cabo utilizando el sistema de análisis de marcha G-Walk Sensor 2 (BTS G-Walk BTS Bioengineering Company, Italy) [23], conformado por un acelerómetro triaxial 16 bit, un magnetómetro triaxial de 13 bit ($\pm 1200\mu T$), y un giroscopio triaxial de 16 bit. Todos los datos fueron recolectados usando una frecuencia de 100Hz. A partir de estos parámetros, el sensor proporcionó un análisis cuantitativo de la marcha humana para cada persona, describiendo los diferentes movimientos de la pelvis.

Procedimientos

Cada voluntario fue contactado y posteriormente reclutado para una cita al Laboratorio de Análisis del Movimiento, Universidad Autónoma de Chile. Inicialmente, se evaluó la condición de cada persona voluntaria mediante preguntas específicas sobre la temporalidad, caracterización y descripción de su dolor lumbar. Posteriormente, se realizaron mediciones antropométricas, incluyendo el peso y la estatura, y se solicitó a los sujetos con dolor lumbar completar el cuestionario Roland-Morris.

Para el análisis, tanto los integrantes del grupo DLC como el grupo control fueron equipados con el sensor inercial G-Walk, ubicado en la región sacra alineado con la posición

neutra del sacro en posición bípeda. Se instruyó a los participantes que caminaran a lo largo de un pasillo de treinta metros de longitud, manteniendo una marcha normal. En primera instancia, se aplicó una prueba de familiarización con el dispositivo y luego se registraron tres mediciones por persona. Al finalizar la toma de registros, se verificó el correcto almacenamiento de los datos y la adecuada visualización de los resultados en el software G-Studio (BTS G-Walk BTS Bioengineering Company, Italy). Los datos cinemáticos de la pelvis fueron calculados en base al promedio de 3 ciclos de marcha representados por el valor mínimo y máximo, rango de movimiento y porcentaje de simetría (SIMM) en cada plano (sagital: inclinación pélvica, frontal: oblicuidad pélvica, y transversal: rotación pélvica).

Los datos recolectados de los participantes, incluyendo medidas antropométricas, resultados del cuestionario Roland-Morris, y registros cinemáticos obtenidos mediante el sensor G-Walk, fueron sistematizados y almacenados en una base de datos estructurada en Microsoft Excel para una organización inicial en donde se genera limpieza de los datos y ajuste de formatos.

Plan de análisis

A partir de la muestra evaluada, se desarrolló un análisis post hoc [24] para la potencia ($1-\beta$) con base en la variable inclinación pélvica (Tilt) y la diferencia entre dos grupos independientes (grupo DLC = $4,2 \pm 1,1^\circ$ versus grupo control = $6,0 \pm 1,8^\circ$) en el software G*Power (versión 3.1.9.2, Kiel Universität, Alemania). Para este cálculo se estableció un alfa de 0,05, tamaño del efecto de 1,2, y un tamaño muestral de 30 personas (grupo DLC = 15, grupo control = 15), dando como resultado una potencia igual a 0,89.

Los datos demográficos fueron representados con estadística descriptiva, incluyendo cálculos de media y desviación estándar para cada grupo. En relación con las variables cinemáticas de la pelvis, se evaluó la distribución de cada variable utilizando la prueba de Shapiro-Wilk. Para los datos con distribución normal, se utilizó la prueba t-student para comparar medias entre grupos, mientras que para los datos sin distribución normal se empleó la prueba U de Mann-Whitney comparando entre medianas. Todos los análisis estadísticos se desarrollaron en el software GraphPad Prism (version 10.0.0, San Diego, California, USA), considerando un valor de $p < 0,05$, a una cola.

Resultados

Las características demográficas y antropométricas de los participantes se presentan en dos grupos: un grupo con DLC y un grupo control. En total, se evaluaron 30 participantes; la distribución por sexo fue de 17 mujeres y 13 hombres en el conjunto total, considerando 6 mujeres y 9 hombres en el grupo DLC y, 11 mujeres y 4 hombres en el grupo control. Todas las variables demográficas de la muestra evaluada no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p > 0,05$, ver Tabla 1). Además, se evaluó el índice de Roland-Morris, que mide la discapacidad debido al dolor lumbar, donde se observó un promedio de $1 \pm 0,88$ en el grupo DLC, mostrando una leve discapacidad.

Tabla 1: Caracterización de datos demográficos de las personas evaluadas, representadas por el promedio y desviación estándar.

	Todos ($n = 30$)	Grupo DLC ($n = 15$)	Grupo control ($n = 15$)	p -value
Sexo (H/M)	17 / 13	6 / 9	11 / 4	
Edad (años), media \pm D.E	25,5 \pm 1,6	25,5 \pm 1,9	25,6 \pm 1,4	0,903
Peso (kg), media \pm D.E	73,5 \pm 12,4	73,2 \pm 12,3	73,7 \pm 12,9	0,097
Estatura (m), media \pm D.E	1,65 \pm 0,07	1,63 \pm 0,07	1,67 \pm 0,07	0,142
IMC (kg/m ²), media \pm D.E	27,1 \pm 4,1	27,6 \pm 4,0	26,5 \pm 4,2	0,107
Cuestionario Roland-Morris (puntos), media \pm D.E	-	1 \pm 0,88	N.E	N.E

H/M: hombres/mujeres; D.E: Desviación estándar; IMC: índice de masa corporal; N.E: no evaluado.

Características cinemáticas de la pelvis durante la marcha entre ambos grupos (tabla 2)

Inclinación pélvica (Tilt): Al comparar los valores de Tilt mínimo a derecha, se observaron diferencias estadísticamente significativas, con valores de $16 (6)^\circ$ en el grupo DLC y $12 (7,1)^\circ$ para el grupo control ($p = 0,01$). El rango de inclinación hacia la izquierda y hacia la derecha resultó ser significativamente menor en el grupo con DLC comparado con el grupo control, con valores de $4,4 \pm 1,4$ frente a $6,0 \pm 1,7$ respectivamente ($p = 0,01$) para el lado izquierdo y con valores de $4,2 \pm 1,1^\circ$ frente a $6,0 \pm 1,8^\circ$, respectivamente ($p = 0,004$) para el rango de inclinación a la derecha (figura 1). El resto de las variables en el plano sagital no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$).

Oblicuidad pélvica (Obl): Las mediciones de oblicuidad pélvica, incluyendo los valores mínimos y máximos así como el rango, no mostraron diferencias estadísticas entre los grupos. Sin embargo, la simetría de la oblicuidad pélvica, mostró una menor simetría en el grupo DLC en comparación con el grupo control, con valores de $92,7 \pm 7,2 \%$ frente a $96,9 \pm 2,3 \%$ ($p = 0,047$), respectivamente (gráfico 2).

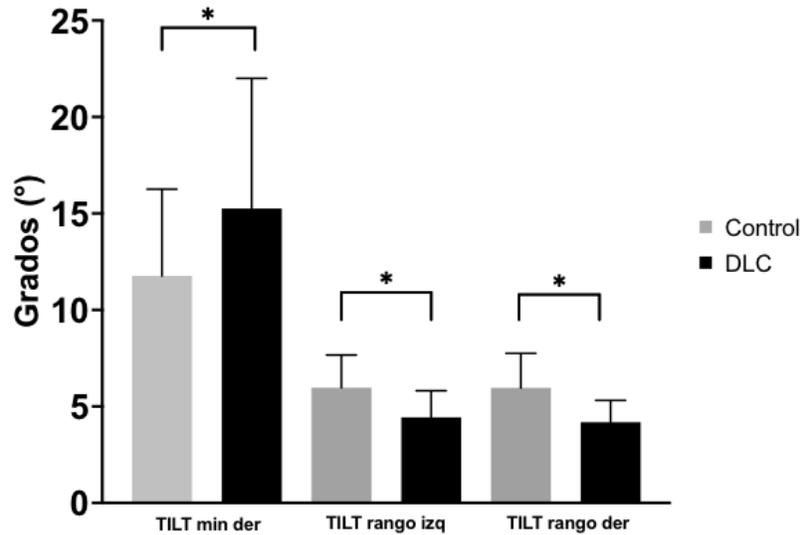
Rotación pélvica (Rot): En términos de rotación pélvica, los valores de rotación pélvica mínimo a derecha y máximo a izquierda presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos. Para la rotación pélvica mínima derecha se obtienen valores de $-2,8 (2,8)^\circ$ y $-5,2 (3,3)^\circ$ ($p = 0,011$), mientras que para la máxima izquierda fueron $2,9 (2,3)^\circ$ y $5,2 (3,1)^\circ$ ($p = 0,006$) para el grupo DLC y el grupo control, respectivamente. El rango de rotación pélvica a derecha presenta diferencias estadísticamente significativas, en donde fue menor en el grupo DLC $7,4 \pm 2,7^\circ$ y $9,2 \pm 2,7^\circ$ para el grupo control ($p = 0,03$) (gráfico 3). Los valores de simetría también presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, siendo $90,9 \pm 13,3 \%$ para el grupo DLC y $97,0 \pm 2,7 \%$ para el grupo control ($p = 0,01$). El resto de las comparaciones no presentaron diferencias estadísticas entre sí.

Tabla 2: Muestra los datos cinemáticos de la pelvis durante la marcha en personas con y sin DLC. Los valores están expresados en media \pm desviación estándar y mediana (rango intercuartílico). La comparación entre grupos fue realizada con t-Test y U de Mann-Whitney según la distribución de los datos.

	Grupo DLC (n = 15)	Grupo control (n = 15)	p-value
Tilt min_izq (°), media \pm D.E	15,1 \pm 6,7	11,9 \pm 4,6	n.s
Tilt min der (°), mediana (R.I)	16 (6)	12 (7,1)	0.01
Tilt max izq (°), media \pm D.E	19,6 \pm 7,0	17,8 \pm 4,3	n.s
Tilt max der (°), media \pm D.E	19,4 \pm 7,0	17,8 \pm 4,3	n.s
Tilt rango izq (°), media \pm D.E	4,4 \pm 1,4	6,0 \pm 1,7	0,01
Tilt rango der (°), media \pm D.E	4,2 \pm 1,1	6,0 \pm 1,8	0,004
Tilt SIMM (%), media \pm D.E	56,2 \pm 29,7	61,0 \pm 24,2	n.s
Obl min_izq (°), media \pm D.E	-3,6 \pm 4,3	-2,8 \pm 4,2	n.s
Obl min_der (°), media \pm D.E	-3,9 \pm 4,2	-4,3 \pm 3,9	n.s
Obl max_izq (°), media \pm D.E	4,2 \pm 4,5	4,4 \pm 3,9	n.s
Obl max_der (°), media \pm D.E	3,4 \pm 4,4	2,8 \pm 4,3	n.s
Obl rango_izq (°), media \pm D.E	7,8 \pm 2,2	7,2 \pm 2,2	n.s
Obl rango_der (°), media \pm D.E	7,3 \pm 1,9	7,1 \pm 2,4	n.s
Obl SIMM (%), media \pm D.E	92,7 \pm 7,2	96,9 \pm 2,3	0,047
Rot min_izq (°), media \pm D.E	-5,2 \pm 2,6	-5,1 \pm 3,5	n.s
Rot min_der (°), mediana (R.I)	-2,8 (2,8)	-5,2 (3,3)	0,011
Rot max_izq (°), mediana (R.I)	2,9 (2,3)	5,2 (3,1)	0,006
Rot max_der (°), media \pm D.E	5,0 \pm 2,4	5,1 \pm 3,9	n.s
Rot rango_izq (°), media \pm D.E	7,8 \pm 2,8	9,2 \pm 2,7	n.s
Rot rango_der (°), media \pm D.E	7,4 \pm 2,7	9,2 \pm 2,7	0,03
Rot SIMM (%), media \pm D.E	90,9 \pm 13,3	97,0 \pm 2,7	0,01

Tilt: Inclinación pélvica; Obl: Oblicuidad pélvica; Rot: Rotación pélvica; min: mínimo; max: máximo; izq: izquierda; der: derecha; SIMM: Índice de Simetría.

Gráfico 1: Muestra la comparación de los valores en grados de inclinación pélvica mínima a derecha, rango inclinación pélvica izquierda y derecha en grupo con DLC en comparación al grupo control.



Tilt: Inclinación pélvica; min: mínimo; der: derecha; izq: izquierda; DLC: Dolor Lumbar Crónico

Figura 2: Muestra la comparación de los valores en índice de simetría en los 3 planos en grupo con DLC en comparación al grupo control. TILT: Inclinación pélvica, OBL: Oblicuidad pélvica, ROT: Rotación pélvica; min: mínimo; der: derecha; izq: izquierda; DLC: Dolor Lumbar Crónico

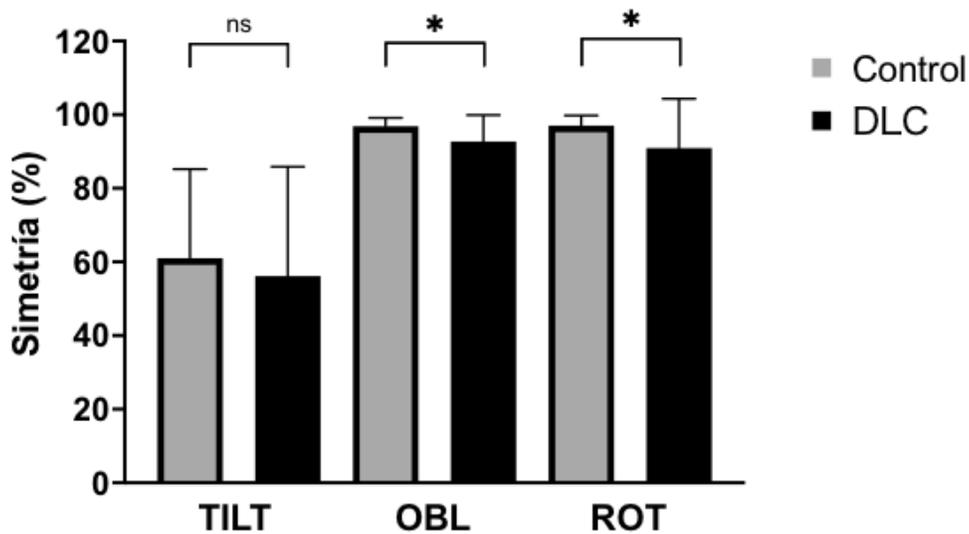
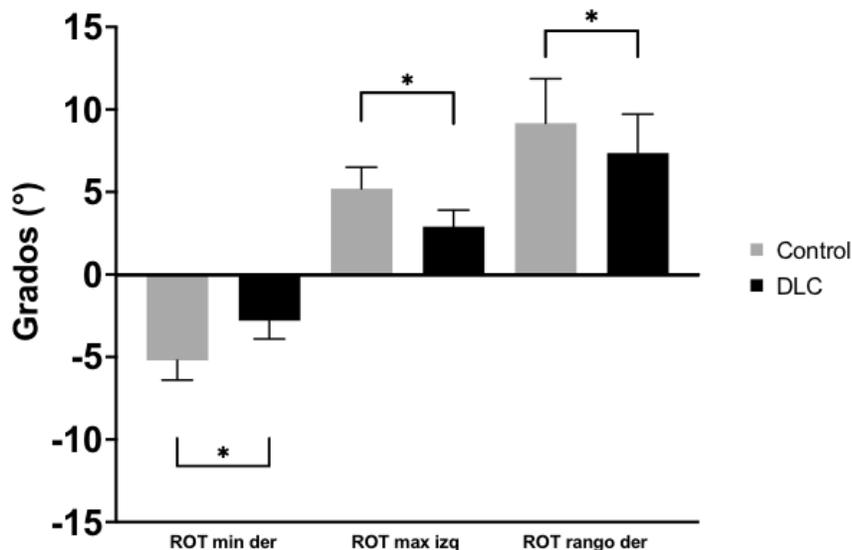


Figura 3: Muestra la comparación de los valores en grados de rotación pélvica mínima a derecha, rotación pélvica máxima a izquierda y rango de rotación a derecha en grupo con DLC en comparación al grupo control. ROT: Rotación pélvica; min: mínimo; der: derecha; izq: izquierda; DLC: Dolor Lumbar Crónico



Discusión

El presente estudio aborda variables cinemáticas de la pelvis en sus tres planos de movimiento durante la marcha normal en jóvenes con y sin DLC, revelando hallazgos significativos en relación con las posibles adaptaciones cinemáticas asociadas al dolor lumbar. Los resultados demostraron que existen diferencias significativas en el rango de inclinación pélvica (Tilt) tanto derecho como izquierdo, siendo menor en aquellas personas con DLC. Este hallazgo podría reflejar un intento de minimizar el estrés mecánico sobre estructuras sensibles al dolor en la región lumbar, o tal vez ser una manifestación a cambios crónicos en la postura, los cuales generan una reducción del Tilt pélvico durante la marcha. Este punto es interesante, ya que a pesar de los altos grados de funcionalidad reportados por el cuestionario Roland-Morris, podrían existir alteraciones y compensaciones en personas con DLC expuestas con un tiempo mayor a 12 semanas.

Sin embargo, la disminución en el Tilt pélvico en el grupo con DLC es opuesta al estudio publicado por Jiménez-del-Barrio *et al.* [25] en donde se encontró un aumento en la inclinación pélvica en pacientes con dolor lumbar, mostraron rangos de Tilt pélvico

de $4,47 \pm 2,51^\circ$ para el lado dominante y de $7,95 \pm 2,66^\circ$ para el lado no dominante, en comparación con $4,4 \pm 1,4$ en el lado izquierdo y $4,2 \pm 1,1$ para el lado derecho en nuestro estudio.

No obstante, los grados de inclinación mínima a derecha fueron mayores en el presente estudio, describiendo diferencias significativas con valores de $16 (6)^\circ$ para el grupo con DLC y de $12 (7,1)^\circ$ para el grupo control, que si bien pudiese tener alguna relación con el estudio de Jiménez-del-Barrio *et al.* no son similares y solo se presentan en el lado derecho y no de forma bilateral. Estas diferencias en los rangos de Tilt pélvico podrían atribuirse a varios factores, como la especificidad del dolor lumbar de los sujetos estudiados, la selección de dominancia en extremidad inferior, y la metodología utilizada, principalmente asociado al análisis de video. Adicionalmente, la disminución en el rango de Tilt pélvico es particularmente relevante, ya que podría estar relacionado con los mecanismos subyacentes que contribuyen a la persistencia de los patrones de dolor lumbar. Al mismo tiempo, representa una faceta distinta en la investigación del dolor lumbar, dado que la mayoría de los estudios se han centrado en demostrar la variabilidad de componentes clásicos de la marcha, como la longitud de la zancada y la velocidad de marcha [14, 26, 27].

Por otro lado, la evaluación de los índices de simetría reveló cambios significativos en la oblicuidad y la rotación, lo que destaca otro aspecto clave de las posibles adaptaciones cinemáticas a nivel de la pelvis en personas con DLC. Ambos porcentajes de simetría son menores en el grupo con DLC, reflejando posiblemente ajustes compensatorios en la mecánica corporal con el objetivo de manejar el dolor y mantener la funcionalidad durante la marcha. Sin embargo, estas asimetrías pueden llevar a una eficiencia reducida en la marcha y, potencialmente, a un mayor riesgo de fatiga y lesiones en otros segmentos del cuerpo a largo plazo. Según lo anterior, el estudio publicado por Sung *et al.* [28] apoyaría esta observación, pero enfocado en la marcha de adultos mayores con dolor lumbar, quienes exhiben la alteración de variables cinemáticas, generando un patrón de marcha asimétrico como estrategia para evitar el dolor lumbar. En línea con estos hallazgos, Gombatto *et al.* [29] informan que los individuos con dolor lumbar exhiben diferencias significativas en la rotación lumbar entre la parte superior e inferior de la columna, lo que podría reflejar una estrategia de compensación regional destinada a minimizar el estrés mecánico en áreas sensibles. Aunque los dos estudios anteriores representan poblaciones distintas un patrón asimétrico subraya la necesidad de considerar las alteraciones en la simetría de variables cinemáticas vinculadas a las extremidades, las cuales podrían mostrar adaptaciones biomecánicas asociados con el DLC. En contraste, el estudio de Banks *et al.* [30] ofrece una perspectiva importante sobre la biomecánica de la marcha bajo condiciones de asimetría inducida. Aunque sus resultados indican que las asimetrías no aumentan significativamente

las demandas cinéticas en la zona lumbar L5-S1, subrayan la importancia de prestar atención clínica a cualquier desviación del patrón de marcha normal.

Los resultados de nuestro estudio indican una diferencia estadísticamente significativa con tendencia a la disminución en la rotación mínima a derecha y máxima a izquierda, así como en el rango de rotación a derecha en el grupo con DLC en relación al grupo control. Esta restricción en la movilidad podría interpretarse como una estrategia adaptativa para evitar posturas o movimientos que agraven el dolor. Al reducir el rango de movimiento, las personas con DLC posiblemente buscan mantener una alineación más controlada y estable de la pelvis, lo que podría ayudar a minimizar el estrés mecánico sobre las áreas sensibles y dolorosas de la región lumbar. Este patrón de movilidad restringida contrasta con estudios como el de Rum *et al.* [31], donde se observa una mayor variabilidad de movimiento y un aumento en el rango de movimiento lumbar en el plano transversal durante la marcha y la finalización de la marcha en personas con DLC. Mientras el estudio de Rum *et al.* sugiere que un posible aumento de la movilidad podría ser una forma de compensar y distribuir mejor las cargas para evitar el dolor, nuestros resultados indican que en la restricción de la movilidad podría estar la respuesta adaptativa predominante.

En una línea similar, los hallazgos de Seay *et al.* [32] enfatizan en cómo el dolor lumbar puede influir en la coordinación entre la pelvis y el tronco durante la marcha y la carrera, dado que las personas que se han recuperado de un episodio de dolor lumbar muestran más coordinación en fase en el plano transversal comparado con el grupo control. De manera similar, Steele *et al.* [33] demostraron que el ejercicio específico para fortalecer los extensores lumbares puede reducir la variabilidad del movimiento lumbar, reforzando la consistencia del patrón de marcha y posiblemente mejorando la biomecánica en individuos con dolor lumbar crónico. Estos estudios juntos refuerzan la importancia de las adaptaciones biomecánicas persistentes en el tratamiento y rehabilitación del dolor lumbar.

El presente estudio no está exento de algunas limitaciones que deben ser consideradas. En primer lugar, se centró exclusivamente en una población de estudiantes universitarios, lo que puede limitar la generalización de los resultados a otras poblaciones, como adultos mayores u otros rangos etarios. En segundo lugar, aunque se evaluaron aspectos específicos a nivel de la región pélvica, otros elementos biomecánicos como la activación muscular no se midieron en este estudio, lo cual es relevante al analizar de los resultados obtenidos y su relación con los patrones de activación de la musculatura pélvica. Estos factores podrían tener un impacto significativo al realizar el cruce de información. Dada la naturaleza transversal del estudio, no se pueden establecer relaciones causales entre el dolor lumbar crónico y las adaptaciones biomecánicas observadas. Serían beneficiosos estudios longitudinales para observar cómo evolucionan estas adaptaciones a lo largo del tiempo y determinar si son consecuencia directa del dolor lumbar o si preceden su desarrollo.

Conclusión

Según la muestra evaluada, este estudio ha demostrado que existen algunas adaptaciones cinemáticas vinculadas al movimiento de la pelvis durante la marcha en personas jóvenes con DLC, tales como la disminución de la simetría en la oblicuidad, rotación pélvica y en los grados de rotación y Tilt pélvico. Los hallazgos subrayan la complejidad de las respuestas del cuerpo al dolor lumbar crónico y crean la necesidad de mejorar las estrategias de rehabilitación, como también, el diagnóstico temprano y evolución de estas condiciones para mejorar la calidad de vida de quienes lo padecen.

Declaración conflictos de interés:

No hay conflictos de interés

Bibliografía

- [1] Rheumatology TL. The global epidemic of low back pain. *Lancet Rheumatol.* 2023; 5: e305. [https://doi.org/10.1016/S2665-9913\(23\)00133-9](https://doi.org/10.1016/S2665-9913(23)00133-9).
- [2] Santos C, Donoso R, Ganga M, Eugenin O, Lira F, Santelices JP. Dolor lumbar: revisión y evidencia de tratamiento. *Rev Médica Clínica Las Condes.* 2020; 31: 387-395. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2020.03.008>.
- [3] Garcia JBS, Hernandez-Castro JJ, Nunez RG, Pazos MA, Aguirre JO, Jreige A, *et al.* Prevalence of low back pain in Latin America: a systematic literature review. *Pain Physician.* 2014; 17: 379-391.
- [4] Gonzalez GZ, da Silva T, Avanzi MA, Macedo GT, Alves SS, Indini LS, *et al.* Low back pain prevalence in Sao Paulo, Brazil: A cross-sectional study. *Braz J Phys Ther.* 2021; 25: 837-845. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2021.07.004>.
- [5] Ge L, Wang C, Zhou H, Yu Q, Li X. Effects of low back pain on balance performance in elderly people: a systematic review and meta-analysis. *Eur Rev Aging Phys Act.* 2021; 18: 8. <https://doi.org/10.1186/s11556-021-00263-z>.
- [6] Altuğ F, Kavlak E, Kurtca MP, Ünal A, Cavlak U. Comparison of pain intensity, emotional status and disability level in patients with chronic neck and low back pain.

- J Back Musculoskelet Rehabil. 2015; 28: 505-508. <https://doi.org/10.3233/BMR-140548>.
- [7] Papi E, Bull AMJ, McGregor AH. Spinal segments do not move together predictably during daily activities. *Gait Posture*. 2019; 67: 277-283. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.10.031>.
- [8] Esteve R, Ramirez C. Modelo de Miedo-Evitación del Dolor: evolución y nuevas propuestas. *Rev Psicol Salud*. 2013; 1:102-130. <https://doi.org/10.21134/pssa.v1i1.372>.
- [9] John JN, Ugwu EC, Okezue OC, Ekechukwu END, Mgbeojedo UG, John DO, et al. Kinesiophobia and associated factors among patients with chronic non-specific low back pain. *Disabil Rehabil*. 2023; 45: 2651-2659. <https://doi.org/10.1080/09638288.2022.2103747>.
- [10] Christensen L, Veierød MB, Vøllestad NK, Jakobsen VE, Stuge B, Cabri J, et al. Kinematic and spatiotemporal gait characteristics in pregnant women with pelvic girdle pain, asymptomatic pregnant and non-pregnant women. *Clin Biomech*. 2019; 68: 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2019.05.030>.
- [11] Stansfield B, Hawkins K, Adams S, Church D. Spatiotemporal and kinematic characteristics of gait initiation across a wide speed range. *Gait Posture*. 2018; 61: 331-338. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.02.003>.
- [12] Herssens N, Verbecque E, Hallemans A, Vereeck L, Van Rompaey V, Saeys W. Do spatiotemporal parameters and gait variability differ across the lifespan of healthy adults? A systematic review. *Gait Posture*. 2018; 64: 181-190. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.06.012>.
- [13] Cimolin V, Vismara L, Galli M, Zaina F, Negrini S, Capodaglio P. Effects of obesity and chronic low back pain on gait. *J Neuroengineering Rehabil*. 2011; 8: 55. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-8-55>.
- [14] Smith JA, Stabbert H, Bagwell JJ, Teng H-L, Wade V, Lee S-P. Do people with low back pain walk differently? A systematic review and meta-analysis. *J Sport Health Sci*. 2022; 11: 450-465. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2022.02.001>.
- [15] Tsigkanos C, Demestiha T, Spiliopoulou C, Tsigkanos G. Gait kinematics in Low Back Pain: A non-linear approach. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 2021; 34: 707-714. <https://doi.org/10.3233/BMR-200260>.
- [16] Koch C, Hänsel F. Chronic Non-specific Low Back Pain and Motor Control During Gait. *Front Psychol*. 2018; 9: 2236. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02236>.

- [17] Hicks GE, Sions JM, Coyle PC, Pohlig RT. Altered spatiotemporal characteristics of gait in older adults with chronic low back pain. *Gait Posture*. 2017; 55: 172-176. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.04.027>.
- [18] Demirel A, Onan D, Oz M, Ozel Ashyuce Y, Ulger O. Moderate disability has negative effect on spatiotemporal parameters in patients with chronic low back pain. *Gait Posture* 2020; 79: 251-255. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.05.015>.
- [19] Van Dieën JH, Reeves NP, Kawchuk G, Van Dillen LR, Hodges PW. Motor Control Changes in Low Back Pain: Divergence in Presentations and Mechanisms. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2019; 49: 370-379. <https://doi.org/10.2519/jospt.2019.7917>.
- [20] Stevens ML, Lin CC-W, Maher CG. The Roland Morris Disability Questionnaire. *J Physiother*. 2016; 62: 116. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2015.10.003>.
- [21] Kovacs FM. El uso del cuestionario de Roland-Morris en los pacientes con lumbalgia asistidos en Atención Primaria. *Med Fam SEMERGEN*. 2005; 31: 333-335. [https://doi.org/10.1016/S1138-3593\(05\)72944-0](https://doi.org/10.1016/S1138-3593(05)72944-0).
- [22] BTS Bioengineering Corp. G-Walk User Manual ENG version 7.0.0 2016.
- [23] D'Addio G, Donisi L, Pagano G, Improta G, Biancardi A, Cesarelli M. Agreement between Opal and G-Walk Wearable Inertial Systems in Gait Analysis on Normal and Pathological Subjects. 2019 41st Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBC, Berlin, Germany: IEEE; 2019: 3286-3289. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8857841>.
- [24] Kang H. Sample size determination and power analysis using the G*Power software. *J Educ Eval Health Prof* 2021; 18. <https://doi.org/10.3352/jeehp.2021.18.17>.
- [25] Jiménez-del-Barrio S, Mingo-Gómez MT, Estébanez-de-Miguel E, Saiz-Cantero E, del-Salvador-Miguélez AI, Ceballos-Laita L. Adaptations in pelvis, hip and knee kinematics during gait and muscle extensibility in low back pain patients: A cross-sectional study. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2020; 33: 49-56. <https://doi.org/10.3233/BMR-191528>.
- [26] Ebrahimi S, Kamali F, Razeghi M, Haghpanah SA. Comparison of the trunk-pelvis and lower extremities sagittal plane inter-segmental coordination and variability during walking in persons with and without chronic low back pain. *Hum Mov Sci*. 2017; 52: 55-66. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.01.004>.
- [27] Yiengprugsawan V, Hoy D, Buchbinder R, Bain C, Seubsman S, Sleigh AC. Low back pain and limitations of daily living in Asia: longitudinal findings in the Thai cohort study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2017; 18: 19. <https://doi.org/10.1186/s12891-016-1380-5>.

- [28] Sung PS, Danial P. A Kinematic Symmetry Index of Gait Patterns Between Older Adults With and Without Low Back Pain. *Spine* 2017; 42: E1350-1356. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000002161>.
- [29] Gombatto SP, Brock T, DeLork A, Jones G, Madden E, Rinere C. Lumbar spine kinematics during walking in people with and people without low back pain. *Gait Posture*. 2015; 42: 539-544. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.08.010>.
- [30] Banks JJ, Umberger BR, Boyer KA, Caldwell GE. Lower back kinetic demands during induced lower limb gait asymmetries. *Gait Posture*. 2022; 98: 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.09.001>.
- [31] Rum L, Brasiliano P, Vannozzi G, Laudani L, Macaluso A. Non-specific chronic low back pain elicits kinematic and neuromuscular changes in walking and gait termination. *Gait Posture*. 2021; 84: 238-244. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.12.005>.
- [32] Seay JF, Van Emmerik REA, Hamill J. Influence of Low Back Pain Status on Pelvis-Trunk Coordination During Walking and Running. *Spine* 2011; 36: E1070. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3182015f7c>.
- [33] Steele J, Bruce-Low S, Smith D, Jessop D, Osborne N. Lumbar kinematic variability during gait in chronic low back pain and associations with pain, disability and isolated lumbar extension strength. *Clin Biomech*. 2014; 29: 1131-1138. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.09.013>.