



**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*

**Explorando la variabilidad del  
movimiento en personas con dolor  
lumbar: Una revisión Sobre la  
Marcha**

Alumno: Francisco García Bordonado

Tutor académico: Francisco David Barbado Murillo

Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Curso académico: 2023 -2024

# Contenido

Resumen.....	1
Contextualización.....	2
Metodología.....	2
Resultados.....	5
Discusión.....	9
Limitaciones.....	12
Conclusiones.....	12
Propuesta de intervención.....	13
Referencias.....	14



## **Resumen**

### **Objetivo:**

Analizar la influencia del dolor lumbar en la variabilidad del movimiento durante la marcha. Se busca identificar los mecanismos subyacentes para formular nuevas preguntas de investigación y mejorar las intervenciones para la recuperación o prevención del dolor lumbar.

### **Metodología:**

Siguiendo las directrices PRISMA se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva en PubMed utilizando términos clave relacionados con el dolor lumbar, la variabilidad del movimiento y la marcha. De 18 artículos encontrados inicialmente, 14 de ellos cumplieron los criterios de inclusión. Además, tras la lectura de estos, se añadieron 3 artículos que no aparecieron en la búsqueda inicial, y finalmente, 17 fueron seleccionados tras una revisión completa.

### **Resultados:**

Los resultados muestran diferencias en la variabilidad y coordinación del movimiento lumbar entre individuos con dolor lumbar crónico (CLBP) y sujetos sanos. En personas con CLBP, dependiendo de las demandas de la tarea y el tipo de entorno de experimentación se observó un aumento o reducción de la variabilidad en los diferentes planos de movimiento. En la mayoría de los estudios los sujetos sanos presentaron una mayor complejidad cinemática y la amplitud de la variabilidad del tronco fue menor en el grupo CLBP, indicando un patrón de movimiento más rígido. Además, se encontró una mayor sincronización entre la pelvis y el tronco en personas con CLBP, y una reducción en la variabilidad del patrón de actividad de los erectores espinales.

### **Conclusión:**

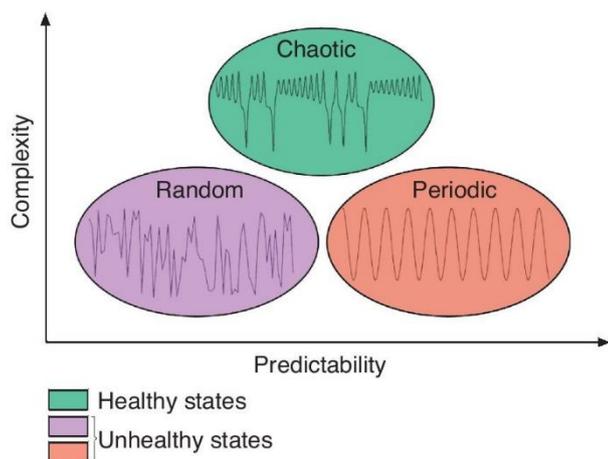
Los hallazgos destacan la complejidad de las adaptaciones en la marcha de individuos con CLBP y subrayan la necesidad de un enfoque multidisciplinario e individualizado (1) Los sujetos con LBP tienen una coordinación más "in-phase" y dificultad para disociar los movimientos del tórax y la pelvis. (2) La variabilidad del patrón de actividad de los erectores espinales está afectada. (3) La variabilidad del tronco en personas con LBP depende del entorno experimental. (4) Las estrategias de protección varían según el grado y duración del dolor, nivel de discapacidad, miedo al movimiento y demandas de la tarea. Esto resalta la importancia de abordar el problema desde una perspectiva holística que considere las interacciones entre factores biopsicosociales.

## Contextualización

El dolor lumbar parece ser algo inherente al hecho de mantenerse vivo y en movimiento. Recientemente, una de las revistas médicas más prestigiosas ha publicado el estudio en el que se estima la carga mundial de morbilidad, vemos que el dolor lumbar supuso la primera causa en relación a los años vividos con discapacidad (The Lancet GBD, 2024). Las consecuencias del dolor lumbar están asociadas con una reducción de la funcionalidad física, salud mental y calidad de vida de la persona (Lixia et al., 2022). Por ende, es uno de los mayores problemas de salud pública y gasto en la economía sanitaria a nivel mundial (Buchbinder et al., 2018; Fatoye et al., 2023).

Identificar el origen del dolor es una ardua tarea dado su carácter multifactorial. Existe una interacción compleja entre muchos factores biológicos, psicológicos y sociales (Cholewicki et al., 2019) que podrían ser influyentes en la aparición, mantenimiento y/o recurrencia de los síntomas. A lo largo de los años de investigación se han utilizado diferentes modelos biomecánicos para abordar el problema de dolor lumbar, centrados en identificar patrones disfuncionales en la cinemática y cinética del movimiento espinal y estructuras anexas. Estos modelos no eran incorrectos, pero sí incompletos. Del mismo modo pasa si ponemos en foco en los factores psicológicos o sociales, ninguno de estos factores por sí solo es capaz de explicar el dolor lumbar crónico (Cholewicki et al., 2019). Un enfoque centrado en el paciente con una evaluación exhaustiva desde una perspectiva biopsicosocial es esencial identificar qué intervenciones podría ser apropiado para cada individuo (WHO., 2023).

La variabilidad se ha estudiado en diferentes ámbitos, tanto para identificar su relación en la salud como en el rendimiento deportivo. La “hipótesis de pérdida de complejidad” (un sistema pierde complejidad cuando se reducen sus grados de libertad) de Lipsitz (1992), sugiere que una pérdida de variabilidad en los procesos fisiológicos es una característica de fragilidad o enfermedad. Un ejemplo de ello es la pérdida de la capacidad de adaptación que se sufre durante la vejez o enfermedades multisistémicas. Un organismo saludable interactúa con múltiples entradas biológicas que da como resultado una salida compleja. Stergiou et al., (2006) propusieron un modelo para explicar la complejidad de los ritmos en relación con la salud. En este modelo, una mayor complejidad se caracteriza por fluctuaciones caóticas y se asocia con un estado saludable del sistema, mientras que menores niveles de complejidad se asocian con fluctuaciones tanto periódicas como aleatorias, donde el sistema es demasiado rígido o demasiado inestable (Stergiou et al., 2006).



Modelo teórico de la complejidad en su relación con la salud. Adaptado de Stergiou et al., 2006

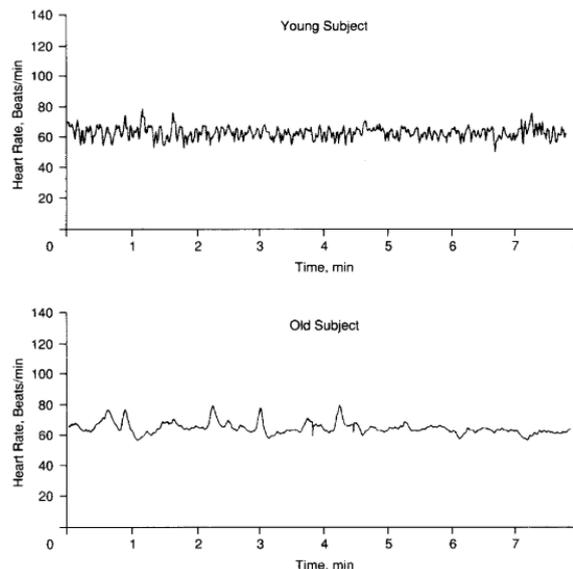


Imagen extraída de Lipsitz et al., 1992. Ejemplo de pérdida de complejidad en de pulsaciones/minuto entre sujeto joven (22 años) y adulto mayor (73 años).

En relación con lo anterior, la comunidad científica está intentando dar respuesta a qué sucede con la variabilidad de movimiento humano en personas con dolor lumbar. La variabilidad del movimiento es una característica común al movimiento humano (Bernstein, 1967), que, según diversos autores, también juega un rol funcional, ya que parece relacionada con la capacidad de adaptarse a entornos cambiantes (Bartlett et al., 2007). Según la teoría de los sistemas complejos, la variabilidad de movimiento representa el resultado de la interacción del individuo, entorno y la tarea (Gray., 2020). Algunos autores sugieren que los sujetos con unos niveles óptimos de variabilidad de movimiento son capaces de adaptarse al entorno y las demandas de la tarea, teniendo acceso a diferentes vías/rutas para alcanzar la misma tarea objetivo (Harbourne and Stergiou, 2009). Una mayor variabilidad también ayudaría a distribuir en una mayor área de superficie el estrés al que están sometido las articulaciones y tejidos, reduciendo así el riesgo de lesiones (Hamill et al., 2012).

La modificación de la cinemática espinal es una de las adaptaciones motoras más comunes en personas con dolor lumbar. Sin embargo, estas modificaciones parecen ser inconsistentes dependiendo de las características del sujeto y la tarea. Se han definido provisionalmente dos fenotipos de pacientes donde cada uno de ellos se sitúa en un extremo del espectro, “control estricto” sobre el movimiento del tronco en un extremo y “control flojo” en el otro. Ambas estrategias podrían ser beneficiosas a corto plazo como medio de protección, pero a largo plazo tiene efectos perjudiciales. Mientras que un control estricto puede causar una alta carga de compresión en la columna y una actividad muscular sostenida, un control flojo puede causar tensiones de tracción excesivas en los tejidos (van Dieën et al. 2019).

La marcha es uno de los movimientos más complejos que realiza el ser humano, donde un gran número de articulaciones deben trabajar de una forma coordinada para que aparezca un movimiento fluido (Vaughan et al., 2003). La columna vertebral es uno de los pilares fundamentales para que se pueda dar un patrón de la marcha eficiente. Gracovetsky desafió la noción tradicional de que la marcha es controlada principalmente por las extremidades

inferiores y la pelvis, destacando la importancia de la columna lumbar como un componente activo en la producción y regulación del movimiento humano (Gracovetsky, S, 1988). Estudios sugieren que el dolor lumbar puede afectar las estrategias de control motor necesarias para adaptar los patrones de coordinación durante la marcha (Lamoth et al., 2002; Selles et al. 2001). En este sentido podría ser esperable que los sujetos con dolor lumbar tuvieran unos patrones de movimiento más rígidos para reducir los movimientos excesivos y evitar el dolor, pero la evidencia al respecto es heterogénea. La razón por la que estos resultados son tan heterogéneos podría ser por las diferencias inter-individuales en cuanto al grado y duración del dolor, percepción de dolor, miedo al movimiento, métodos de estudio, el uso de diferentes herramientas para la medida de la variabilidad.

El objetivo principal de esta revisión es analizar cómo influye el dolor lumbar en la variabilidad de movimiento durante el patrón de la marcha. Con el fin de identificar los principales mecanismos subyacentes, poder plantear nuevas preguntas de investigación y mejorar las intervenciones para la recuperación o prevención de la aparición de dolor lumbar.

## **Metodología**

### **Estrategia de búsqueda**

Esta revisión sistemática sigue las recomendaciones de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) con el fin de adherirse al protocolo previamente establecido para revisiones sistemáticas y garantizar la calidad del estudio.

Se realizó una búsqueda exhaustiva en la base de datos PubMed. En el proceso de búsqueda de los estudios principales se utilizaron las siguientes palabras clave y booleanos (low back pain[Title/Abstract]) AND (variability[Title/Abstract]) AND (movement[Title/Abstract]) AND (gait[Title/Abstract]) para identificar los trabajos relacionados con el área de interés. Los filtros que se aplicaron fueron, mostrar los estudios en texto completo y en inglés. La fecha de búsqueda de estudio abarca desde el inicio de la base de datos hasta abril de 2024.

### **Criterios de selección**

El marco de referencia para la selección de estudios se hizo en base al protocolo PICOS (población, intervención, comparación, resultado y tipo de estudios), el cual, se refiere a los componentes clave para llevar a cabo una revisión sistemática.

<i>Tabla 1. Criterios de elegibilidad</i>		
	<b>Inclusión</b>	<b>Exclusión</b>
<b>Población</b>	Adultos ( $\geq 18$ años), hombre o mujeres con dolor lumbar crónico no específico.	Menores de edad ( $< 18$ años), personas con dolor lumbar específico, personas operadas de la columna lumbar, personas con algún tipo de patología sistémica, cardiovascular o embarazadas.
<b>Intervención</b>	Sistemas de análisis de movimiento (a nivel cinético, cinemático, coordinación o parámetros espaciotemporales).	Sin instrumentos de medida
<b>Comparación</b>	Diferencias entre sujetos con dolor lumbar crónico y sujetos sanos.	Menores de edad ( $< 18$ años), personas con dolor lumbar específico, personas operadas de la columna lumbar, personas con algún tipo de patología sistémica, cardiovascular o embarazadas.
<b>Outcome/ Resultado</b>	Magnitud de la variabilidad de movimiento basada en herramientas de medida lineales, o la estructura de la variabilidad basada en herramientas no lineales.	Estudios que únicamente miden parámetros espacio-temporales o variables neuromusculares
<b>Tipos de estudios</b>	Estudios observacionales transversales, estudio de casos individuales, estudios longitudinales de cohortes, estudios de intervención, revisiones y meta-análisis.	Estudios en cadáveres.

### Proceso de selección de estudios

La selección de los estudios se realizó siguiendo los criterios de inclusión y exclusión basados en el acrónimo PICOS, que se refiere a la población, intervención, comparación, resultados y tipo de estudio elegibles en la revisión (Higgins et al., 2020). Todo lo relacionado con el almacenamiento, organización y gestión de las referencias se hizo a través de Mendeley.

Tras la primera búsqueda en Pubmed se aplicaron los filtros de texto completo y en inglés. Una vez se tenían los artículos potenciales para la revisión, se exportaron al gestor de referencias Mendeley, donde se eliminaron los duplicados. Para seleccionar los artículos que cumplieran con los criterios de elegibilidad se llevó a cabo una primera revisión basada en la lectura de títulos y resúmenes. Se excluyeron aquellos artículos cuyos títulos y resúmenes no abordaban la temática específica. Finalmente, se comprobó que los artículos que pasaron la primera selección cumplían los criterios de inclusión y no contemplaban ningún criterio de exclusión. Con los artículos restantes, se llevó a cabo una revisión completa.

## Proceso de recopilación de datos

Después de completar la selección de los estudios para su análisis, se extrajeron los datos relevantes en relación al objetivo de la revisión. Estos se reflejaron (tabla 2,3 y 4) de manera narrativa para facilitar su comprensión.

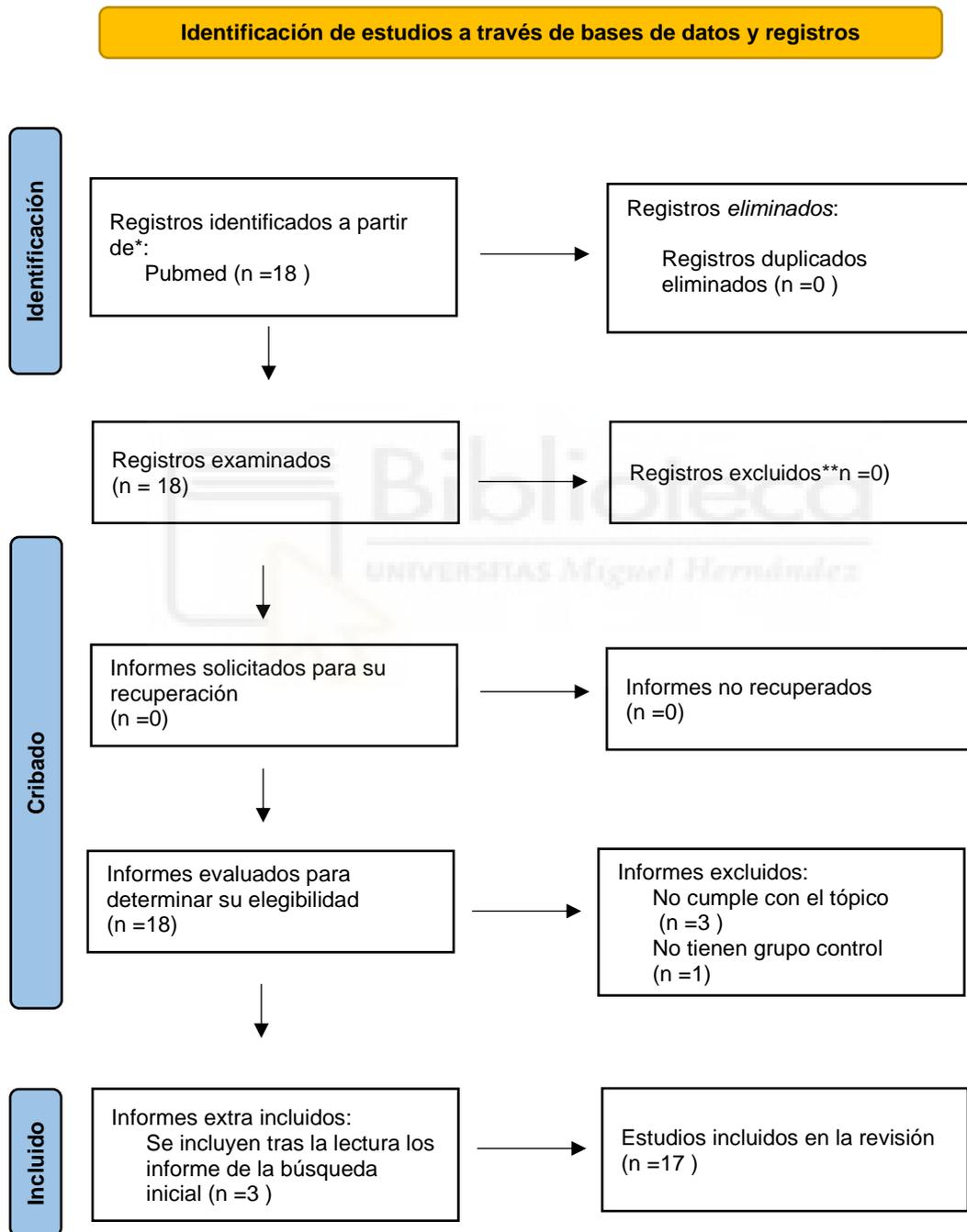


Figura 1. Diagrama de flujo de la información a través de las diferentes fases de la revisión (Page et al., 2020).

## Resultados

### Selección de los estudios

En la primera búsqueda realizada en la base de datos PubMed se encontraron 18 artículos sobre el tópico. Tras eliminar duplicados, lectura de títulos y resúmenes, se hizo una selección de 14 trabajos que cumplían con los criterios de inclusión. Finalmente, tras la lectura del texto completo quedaron 17, ya que durante la lectura de los trabajos se mencionaron algunas obras que se vio conveniente incluir puesto que no habían aparecido durante la búsqueda.

Tabla 2. Variables biomecánicas			
Biomecánica	Hallazgos	Nº estudios	Referencias
<b>Variabilidad Cinemática</b>	<p>Vogt et al. informaron datos que sugieren la variabilidad de movimiento lumbar durante la marcha fue significativamente mayor en los participantes con CLBP en comparación con controles asintomáticos, y que tanto la variabilidad del plano sagital como transversal fue mayor que la variabilidad del plano frontal (Vogt et al. 2001). En cambio, Tsigkanos et al., (2021) presentan que sujetos sanos tienen valores más altos de LyE, ApEn y SD, lo que indica mayores niveles de variabilidad y, por lo tanto, un comportamiento cinemático más elaborado en comparación con los pacientes con dolor lumbar. Steele et al., (2014) observa que los sujetos con dolor lumbar tienen mayor variabilidad en el plano sagital durante la marcha. Aunque la velocidad de la marcha no afecta de manera diferente las rotaciones individuales (amplitud), la coordinación entre la pelvis y el tórax (cómo se mueven juntos o en relación el uno con el otro) sí es significativamente diferente en el grupo con dolor lumbar en comparación con el grupo de control (Lamoth et al., 2002, 2006).</p> <p>Aunque los sujetos con dolor lumbar muestran un comportamiento más rígido del tronco, los cambios en el timing de las rotaciones transversales del tórax durante la marcha no parecen ser causados por una rigidez axial alterada del tronco en un test de andar en cinta con perturbaciones transversales (Prins et al., 2016)</p> <p>En la dirección anteroposterior, la estabilidad de la marcha se vio afectada pero la variabilidad no se vio influenciada por los cambios ambientales; en la dirección mediolateral, la variabilidad se vio afectada por el entorno, pero la estabilidad se mantuvo (Nishi et al., 2021).</p>	7	(Lamoth et al., 2002, 2006; Seay et al., 2011, 2014; Ebrahimi et al., 2017; Vogt et al., 2001; Tsigkanos et al., 2021)

<p><b>Variabilidad coordiniva</b></p>	<p>Los movimientos relativos entre la pelvis y el tórax son significativamente menores en el grupo de dolor lumbar, lo que indica un patrón más “in-phase” o rígido (Lamoth et al., 2006; van den Hoorn et al., 2012). No son capaces de establecer un patrón de coordinación “anti-phase” entre el tórax y la pelvis a altas velocidades de caminata. Esto coincidió con una mayor estabilidad en la coordinación del movimiento, lo que indica un comportamiento de protección (Selles et al., 2001).</p> <p>Lamoth et al., (2006) sujetos con LBP tuvieron un movimiento más rígido y acoplado en el plano transversal entre pelvis y tórax durante la marcha. En cambio, fueron más variables en el plano frontal. Se sugiere que este aumento de variabilidad en el plano frontal es una estrategia de compensación para suplir la rigidez en el plano transversal. Los sujetos sanos tenían una velocidad autoseleccionada más rápida que los LBP. Aunque la velocidad de la marcha no afecta de manera diferente las rotaciones individuales (amplitud), la coordinación entre la pelvis y el tórax (cómo se mueven juntos o en relación el uno con el otro) sí es significativamente diferente en el grupo con dolor lumbar en comparación con el grupo de control (Lamoth et al., 2002)</p> <p>El grupo control en relación a la coordinación entre pelvis y el tronco mostró una mayor variabilidad en la continuous relative phase (CRP). Esto sugiere que los individuos sin dolor lumbar son capaces de ajustar y adaptar mejor sus movimientos durante la carrera o caminata, exhibiendo una mayor flexibilidad y adaptabilidad en su coordinación. (Seay et al., 2011). En contraste con los datos de Lamoth , durante la marcha el plano más restringido y dificultad para moverse en anti-phase fue el plano frontal. En cambio, durante la carrera el plano que cobra importancia y tiene más coordinación in-phase es el plano transversal en comparación con el grupo control, lo que indica una dificultad para coordinar movimientos de rotación opuestos entre segmentos del cuerpo (Seay et al., 2014).</p> <p>Los sujetos con dolor lumbar crónico (CLBP) revelaron un patrón de coordinación tronco-pelvis en el plano sagital más “in-phase” y menos variable que los participantes del grupo de control sin CLBP durante las fases de apoyo y balanceo de la marcha (Ebrahimi et al., 2017)</p>	<p>7</p>	<p>(Selles et al., 2001; van den Hoorn et al., 2012; Lamoth et al., 2002, 2006; Seay et al., 2011, 2014; Ebrahimi et al., 2017)</p>
---------------------------------------	---	----------	---

Tabla 3. Variables neuromecánicas

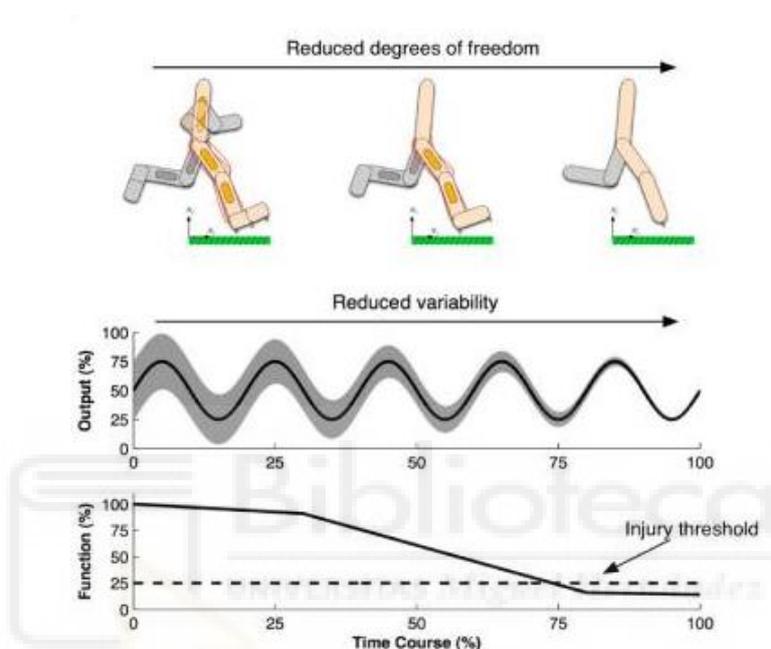
Neuromecánica	Hallazgos	Nº estudios	Referencias
<p><b>Variabilidad de EMG</b></p>	<p>Mostraron una reducción de la varianza o la variabilidad (Poosapadi Arjunan et al., 2010; Pakzad et al., 2016). (Pakzad et al., 2016) encontró una reducción de la variabilidad de la activación de los músculos del tronco entre las personas con CLBP que también tenían altas puntuaciones en la Escala de Catastrofización del Dolor en comparación con el grupo de control. (Poosapadi Arjunan et al., 2010) demostró que la varianza de la amplitud de EMG durante la carrera es menor entre el grupo LBP que en el grupo de control.</p> <p>El patrón de actividad de los erectores espinales se ha visto afectado en términos de aumento de la variabilidad (residual), déficits de tiempo, modificaciones de amplitud y cambios de frecuencia (Lamoth et al., 2006).</p> <p>En varios estudios se sugiere una disfunción de la musculatura de los erectores espinales, dificultando la capacidad de adaptarse a las perturbaciones del entorno (Lamoth et al., 2006) o los cambios de velocidad (Lamoth et al., 2002)</p>	4	(Lamoth et al., 2002, 2006; Poosapadi Arjunan et al., 2010; Pakzad et al., 2016)
<p><b>Fuerza</b></p>	<p>Steele et al., (2014) observaron una correlación significativa inversa entre fuerza de extensión lumbar aislada (ILEX) (-0.411) con la variabilidad en el plano transversal. Se sugiere que la variabilidad de la marcha puede ser un síntoma asociado con CLBP que resulta como consecuencia del desacondicionamiento del extensor lumbar (Steele et al., 2016).</p>	2	(Steele et al., 2014, 2016)

Tabla 4. Variables psicológicas

Psicología	Hallazgos	Nº estudios	Referencias
<b>Dolor y discapacidad</b>	Steele et al., (2014) observaron una correlación directa (0.401) entre la discapacidad (ODI) y variabilidad en el plano transversal. Sin embargo, no encuentra correlación entre el dolor (VAS) y la variabilidad en los patrones de onda (CVp) (cómo los patrones de movimiento de una articulación o músculo pueden variar). El dolor inducido y el miedo al dolor tienen efectos en la actividad electromiográfica (EMG) de los músculos erectores espinales durante la marcha, pero no afectan el patrón global de la actividad EMG ni la cinemática del tronco (Lamoth et al., 2004)	2	(Steele et al., 2014; Lamoth et al., 2004)
<b>Miedo al movimiento</b>	No hay diferencias significativas entre los pacientes con bajos o altos niveles de miedo al movimiento, ni cuanto a la variabilidad cinemática ni variabilidad de la activación muscular (Lamoth et al., 2006; Veeger et al., 2020). Este meta-análisis no encontró relación significativa entre el miedo y la variabilidad de movimiento durante la marcha. (Ippersiel et al., 2022). En cambio, se encontró relación entre la variabilidad de los movimientos del tronco, intensidad del dolor y la kinesiophobia en entornos abiertos de la vida diaria (Nishi et al., 2021)  La atención excesiva al dolor causa pérdida de complejidad y adaptabilidad en el dolor lumbar y explica las alteraciones del control motor con el dolor (Homs et al., 2022)	5	(Lamoth et al., 2006; Veeger et al., 2020; Ippersiel et al., 2022; Nishi et al., 2021; Homs et al., 2022)

## Discusión

La variabilidad cinemática es crucial a la hora de realizar actividades cotidianas con alta repetibilidad, así como en entornos ocupacionales (Abboud et al, 2014). Además, se ha visto que los deportistas más hábiles son aquellos capaces de congelar o liberar grados de libertad dependiendo de las demandas de la tarea. (Newell, 2001). Se propone que bajos niveles de variabilidad coordinativa (micro modificaciones musculoesqueléticas a nivel cinemático y cinético durante la ejecución del movimiento) distribuyen las fuerzas en una menor área de superficie, aumentando el riesgo de sufrir lesiones por sobreuso (Hamill et al., 2012).



Imágen extraída de Hamill et al., 2012. Hipótesis de pérdida de complejidad basada en el trabajo de Lipsitz (2002) aplicada a lesiones. Paneles superior e intermedio: a medida que pasa el tiempo las reducciones en los grados de libertad, en los componentes que interactúan y las sinergias, se asocian con una pérdida de variabilidad en el sistema. Cuando estas reducciones en los grados de libertad y variabilidad alcanzan un umbral crítico, pueden surgir lesiones o enfermedades (panel inferior).

Como se menciona en la introducción van Dieën et al. sugirieron dos fenotipos de pacientes donde cada uno de ellos se sitúa en un extremo del espectro. Aunque aún no se ha probado sistemáticamente, se sugiere que el fenotipo de “control estricto” implica una mayor excitabilidad de los músculos del tronco para proporcionar un control estricto sobre los movimientos del tronco a costa de una mayor carga tisular, mientras que el fenotipo de “control flexible” se caracteriza por una excitabilidad reducida de los músculos del tronco para evitar una alta carga tisular a costa de perder el control sobre el movimiento. Ambos grupos implican una carga anormal a los tejidos en la zona lumbar pero con mecanismos diferentes. Estos resultados respaldan la teoría propuesta por Hodges y Tucker (2011), donde la adaptación al dolor se ve como una estrategia de protección que puede tener consecuencias negativas a largo plazo.

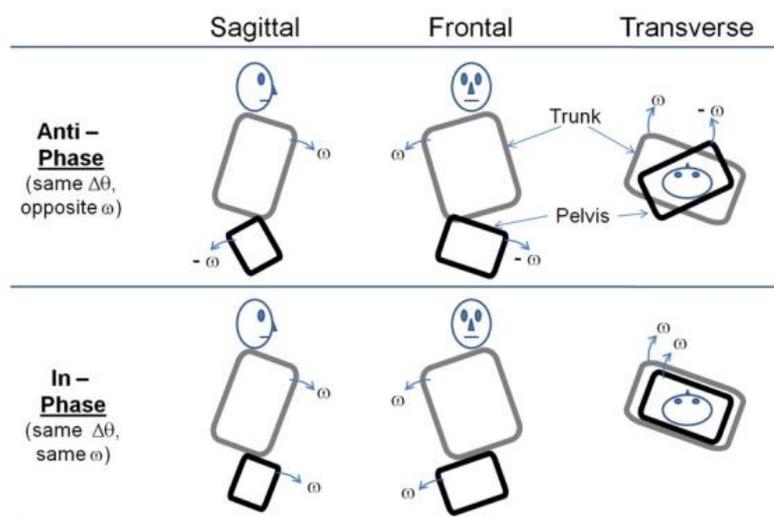
Los resultados presentados muestran diferencias en la variabilidad y coordinación del movimiento lumbar entre individuos con dolor lumbar crónico (CLBP) y sujetos sanos. Vogt et al. (2001) informaron que la variabilidad del movimiento lumbar durante la marcha es significativamente mayor en participantes con CLBP en comparación con controles

asintomáticos. Además, encontraron que tanto la variabilidad en el plano sagital como en el transversal fue mayor que en el plano frontal. Este aumento de variabilidad podría reflejar una estrategia compensatoria ante la presencia de dolor. Steele et al. (2014) también encontraron que los sujetos con CLBP presentan mayor variabilidad en el plano sagital durante la marcha, lo cual puede interpretarse como una falta de control y estabilidad.

En contraste, Tsigkanos et al. (2021) mostraron que los sujetos sanos tienen valores más altos de Lyapunov Exponent (LyE), Approximate Entropy (ApEn) y Desviación Estándar (SD), lo que indica mayores niveles de variabilidad y un comportamiento cinemático más complejo comparado con los pacientes con CLBP. Podemos interpretar que los sujetos sanos tienen mayor capacidad para adaptarse a los cambios y perturbaciones del entorno, además, tienen un sistema más eficiente en cuanto al reparto del estrés en diferentes áreas articulares, sin sobrestresar un área concreta.

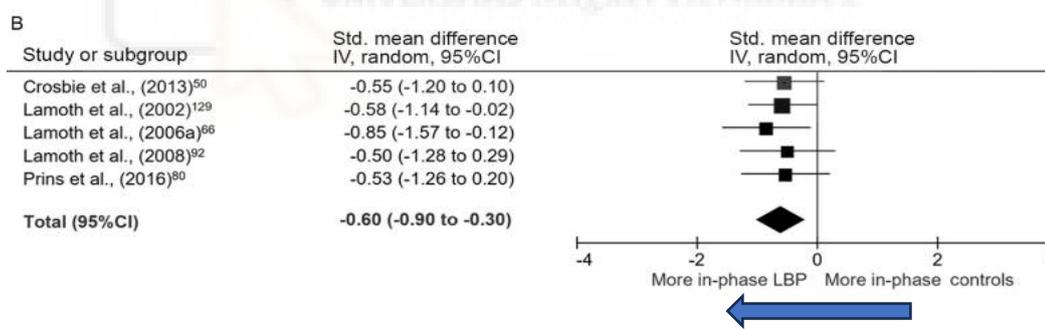
Por otro lado, Lamoth et al. (2006) y van den Hoorn et al. (2012) observaron que la amplitud de la variabilidad del tronco (movimiento relativo entre pelvis y tórax) es significativamente menor en el grupo CLBP, sugiriendo un patrón más "in-phase" o rígido. Los sujetos con CLBP mostraron un movimiento más rígido y acoplado en el plano transversal durante la marcha, pero mayor variabilidad en el plano frontal, lo que podría ser una estrategia compensatoria para contrarrestar la rigidez en el plano transversal. Además, los sujetos sanos tendían a seleccionar una velocidad de marcha más rápida que aquellos con CLBP (Lamoth et al., 2006).

Seay et al. (2011) encontraron que la coordinación entre pelvis y tronco en el grupo control mostró una mayor variabilidad en la fase relativa continua (CRP), sugiriendo que los individuos sin dolor lumbar tienen una mayor capacidad para ajustar y adaptar sus movimientos, exhibiendo más flexibilidad y adaptabilidad en su coordinación. En la marcha, la restricción en el plano frontal y la dificultad para moverse en anti-phase contrastan con la carrera, donde el plano transversal muestra una mayor coordinación "in-phase" en los individuos con CLBP, indicando dificultades para coordinar movimientos de rotación opuestos entre segmentos del cuerpo a medida que aumentan las demandas de la tarea.



Imágen extraída de Seay et al., 2011. Representación visual de las relaciones en fase y antifase para la coordinación pelvis-tronco en los tres planos anatómicos.  $\theta$ , desplazamiento angular;  $\omega$ , velocidad angular.

En un análisis agrupado de 185 participantes que compara el movimiento entre la columna torácica y la columna lumbar/pelvis en individuos con dolor lumbar y un grupo de control. Los resultados sugieren que las personas con dolor lumbar tienen un movimiento más sincronizado entre la columna torácica y la columna lumbar/pelvis en comparación con las personas sin dolor lumbar, y esta diferencia es estadísticamente significativa y consistente entre los estudios analizados (Smith et al., 2022).



Asimismo, la amplitud de la variabilidad del tronco zancada a zancada es significativamente más baja en el grupo CLBP, mostrando patrones de movimiento del tronco más similares entre zancadas y, por tanto, más previsibles (van den Hoorn et al., 2012).

El patrón de actividad de los erectores espinales también se ve afectado en individuos con CLBP. Lamoth et al. (2006) reportaron un aumento en la variabilidad residual, déficits de tiempo, modificaciones de amplitud y cambios de frecuencia, sugiriendo una disfunción en la musculatura de los erectores espinales. Esta disfunción puede dificultar la capacidad de adaptarse a perturbaciones del entorno o cambios de velocidad (Lamoth et al., 2002). Steele et al. (2014) encontraron que una mayor fuerza de extensión lumbar (ILEX) se asocia con menor variabilidad en el plano transversal (-0.411), y que un mayor grado de discapacidad (ODI) se relaciona con mayor variabilidad en dicho plano (0.401). Sin embargo, no encontraron una

relación significativa entre el nivel de dolor (VAS) y la variabilidad en los patrones de movimiento (CVp).

Finalmente, Nishi et al. (2021) observaron que la complejidad del movimiento (entropía) no se vio afectada por el dolor lumbar ni por el entorno experimental en la dirección anteroposterior, pero sí en la dirección medio-lateral. La estabilidad del tronco (LyE) fue alta en personas con dolor lumbar crónico (CLBP) y se vio influenciada por el entorno en la dirección anteroposterior. Esto indica que los sujetos con dolor lumbar tienen dificultades para adaptar su comportamiento en el plano sagital (dirección anteroposterior) en entornos no estructurados.

### **Limitaciones**

Los hallazgos de los obtenidos en los estudios están influenciados por propio azar intrínseco de los seres humanos, limitando su generalización. La presente revisión tiene las siguientes limitaciones: tamaño de la muestra relativamente pequeño y el potencial sesgo de publicación que esto conlleva. Además, la mayoría de los participantes mostraron niveles moderados a leves de dolor, impidiendo la extrapolación a casos con alta discapacidad. El hecho de que los estudios se realicen predominantemente en entornos controlados, como laboratorios, puede influir en las estrategias de movimiento de los participantes. Asimismo, la ausencia de subgrupos clasificados por el nivel de miedo al movimiento dificulta el análisis del impacto de este factor psicológico en dichas estrategias. Se requieren investigaciones futuras con muestras más representativas, incluyan categorías con diversos niveles de dolor y subcategorías en función del miedo al movimiento y estudien a los individuos en entornos de la vida diaria.

### **Conclusiones**

Estos hallazgos subrayan la complejidad de las adaptaciones y estrategias compensatorias en la marcha de individuos con CLBP. En base a los resultados de la revisión podemos extraer varias ideas clave: (1) Sujetos con LBP tienden a tener una coordinación más “in-phase”. Tienen dificultad para disociar los movimientos de los segmentos del tórax y pelvis. (2) La variabilidad en relación con el patrón de actividad de los erectores espinales se ve afectado. (3) La variabilidad del tronco en personas con LBP se ve afectada por el entorno en el que se realice el experimento. (4) Las diferencias en cuanto a la estrategia de protección (rigidizando o liberando grados de libertad) que utilizan las personas con dolor lumbar podrían depender del grado y duración de dolor, nivel de discapacidad, grado de miedo al movimiento y demandas de la tarea.

Los resultados resaltan la necesidad de un enfoque multidisciplinario e individualizado. Se requiere huir de una perspectiva reduccionista y ser capaces de ver las interacciones entre los factores biopsicosociales para poder abordar el problema desde una visión holística.

## Propuesta de intervención

Observado un comportamiento común en personas con dolor lumbar donde tienen dificultad en la coordinación de los movimientos relativos del tórax y pelvis durante el patrón de la marcha y carrera. La intervención que se propone es un estudio experimental en que se clasificarían los participantes con dolor lumbar crónico en grupos según intensidad del dolor, subgrupos según el miedo al movimiento y estrategias de movimiento que se aprecian en el pre-test (congela o libera grados de libertad). El grupo control serían sujetos sanos sin dolor lumbar.

Como inicio se realizaría un pre-test en el que de manera cuantitativa y cualitativa los evaluadores observan las estrategias de movimiento a las que estos acceden en varias tareas, desde bajas a altas demandas a nivel muscular y coordinativo. Realizado el pre-test, se harían subgrupos en aquellos sujetos con dolor lumbar que presentan mayor dificultad para disociar o asociar los movimientos relativos de pelvis y tronco. Para aquellos que presente la dificultad de disociar, pasarán un período de tres semanas en los que tendrán que realizar una propuesta de ejercicios que facilite este comportamiento al igual que aquellos con dificultades para asociar. Finalizado el período de tres semanas se volverá a realizar un post-test en el que contrastaremos los resultados de cada participante con el test inicial para ver los resultados tanto de la modificación de las estrategias de movimiento, como de la evolución del dolor y su miedo al movimiento. De esta manera podremos ver si un trabajo individualizado en base a las estrategias de movimiento observadas podría mejorar la sintomatología, discapacidad y evolución del dolor lumbar.



## Referencias

Alsubaie, A. M., Mazaheri, M., Martinez-Valdes, E., & Falla, D. (2023). Is movement variability altered in people with chronic non-specific low back pain? A systematic review. *PLoS ONE*, 18(6 June). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287029>

Amir-Behghadami, M., & Janati, A. (2020). Population, Intervention, Comparison, Outcomes and Study (PICOS) design as a framework to formulate eligibility criteria in systematic reviews. *Emergency medicine journal : EMJ*, 37(6), 387. <https://doi.org/10.1136/emered-2020-209567>

Arjunan, S. P., Kumar, D., Poon, W. M., Rudolph, H., & Hu, Y. (2010). Variability in surface electromyogram during gait analysis of low back pain patients. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 30(3), 133-138.

Bartlett, R., Wheat, J., & Robins, M. (2007). Is movement variability important for sports biomechanists?. *Sports biomechanics*, 6(2), 224–243. <https://doi.org/10.1080/14763140701322994>

Cholewicki, J., Breen, A., Popovich, J. M., Peter Reeves, N., Sahrman, S. A., van Dillen, L. R., Vleeming, A., & Hodges, P. W. (2019). Can biomechanics research lead to more effective treatment of low back pain? A point-counterpoint debate. In *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* (Vol. 49, Issue 6, pp. 425–436). Movement Science Media. <https://doi.org/10.2519/jospt.2019.8825>

Cholewicki, J., Breen, A., Popovich, J. M., Peter Reeves, N., Sahrman, S. A., van Dillen, L. R., Vleeming, A., & Hodges, P. W. (2019). Can biomechanics research lead to more effective treatment of low back pain? A point-counterpoint debate. In *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* (Vol. 49, Issue 6, pp. 425–436). Movement Science Media. <https://doi.org/10.2519/jospt.2019.8825>

Cholewicki, J., Popovich, J. M., Aminpour, P., Gray, S. A., Lee, A. S., & Hodges, P. W. (2019). Development of a collaborative model of low back pain: report from the 2017 NASS consensus meeting. *Spine Journal*, 19(6), 1029–1040. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2018.11.014>

Danneels, L. A., Vanderstraeten, G. G., Cambier, D. C., Witvrouw, E. E., & De Cuyper, H. J. (2000). CT imaging of trunk muscles in chronic low back pain patients and healthy control subjects. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 9(4), 266–272. <https://doi.org/10.1007/s005860000190>

Davids, K., Glazier, P., Araújo, D., & Bartlett, R. (2003). Movement systems as dynamical systems: the functional role of variability and its implications for sports medicine. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(4), 245–260. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333040-00001>

Fatoye, F., Gebrye, T., Ryan, C. G., Useh, U., & Mbada, C. (2023). Global and regional estimates of clinical and economic burden of low back pain in high-income countries: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in public health*, 11, 1098100. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1098100>

Ferrari, A. J., Santomauro, D. F., Aali, A., Abate, Y. H., Abbafati, C., Abbastabar, H., Abd ElHafeez, S., Abdelmasseh, M., Abd-Elsalam, S., Abdollahi, A., Abdullahi, A., Abegaz, K. H., Abeldaño Zuñiga, R. A., Aboagye, R. G., Abolhassani, H., Abreu, L. G., Abualruz, H., Abu-Gharbieh, E., Abu-Rmeileh, N. M., ... Murray, C. J. L. (2024). Global incidence, prevalence, years lived with disability (YLDs), disability-adjusted life-years (DALYs), and healthy life expectancy (HALE) for 371

diseases and injuries in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet*. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)00757-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)00757-8)

Gray R. (2020). Changes in Movement Coordination Associated With Skill Acquisition in Baseball Batting: Freezing/Freeing Degrees of Freedom and Functional Variability. *Frontiers in psychology*, 11, 1295. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01295>

Hamill, J., Palmer, C., & Van Emmerik, R. E. (2012). Coordinative variability and overuse injury. *Sports medicine, arthroscopy, rehabilitation, therapy & technology : SMARTT*, 4(1), 45. <https://doi.org/10.1186/1758-2555-4-45>

Harbourne, R. T., & Stergiou, N. (2009). Movement variability and the use of nonlinear tools: principles to guide physical therapist practice. *Physical therapy*, 89(3), 267–282. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080130>

Hides, J., Stanton, W., Mendis, M. D., & Sexton, M. (2011). The relationship of transversus abdominis and lumbar multifidus clinical muscle tests in patients with chronic low back pain. *Manual therapy*, 16(6), 573–577. <https://doi.org/10.1016/j.math.2011.05.007>

Hodges, P. W., & Richardson, C. A. (1996). Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. *Spine*, 21(22), 2640–2650. <https://doi.org/10.1097/00007632-199611150-00014>

Homs, A. F., Dupeyron, A., & Torre, K. (2022). Relationship between gait complexity and pain attention in chronic low back pain. *Pain*, 163(1), E31–E39. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000002303>

Ippersiel, P., Teoli, A., Wideman, T. H., Preuss, R. A., & Robbins, S. M. (2022). The Relationship between Pain-Related Threat and Motor Behavior in Nonspecific Low Back Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Physical Therapy*, 102(2). <https://doi.org/10.1093/ptj/pzab274>

J D G T (1989). *The spinal engine* Serge Gracovetsky Springer-Verlag, Wien, New York, 505 pp, 176 figures, £34.00. *Clinical biomechanics* (Bristol, Avon), 4(2), 127. [https://doi.org/10.1016/0268-0033\(89\)90057-0](https://doi.org/10.1016/0268-0033(89)90057-0)

Koch, C., & Hänsel, F. (2018). Chronic Non-specific Low Back Pain and Motor Control During Gait. *Frontiers in Psychology*, 9(NOV), 2236. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02236>

Lacquaniti, F., Ivanenko, Y. P., & Zago, M. (2012). Patterned control of human locomotion. *The Journal of physiology*, 590(10), 2189–2199. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.215137>

Lamoth, C. J. C., Daffertshofer, A., Meijer, O. G., Lorimer Moseley, G., Wuisman, P. I. J. M., & Beek, P. J. (2004). Effects of experimentally induced pain and fear of pain on trunk coordination and back muscle activity during walking. *Clinical Biomechanics*, 19(6), 551–563. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2003.10.006>

Lamoth, C. J. C., Meijer, O. G., Daffertshofer, A., Wuisman, P. I. J. M., & Beek, P. J. (2006). Effects of chronic low back pain on trunk coordination and back muscle activity during walking: Changes in motor control. *European Spine Journal*, 15(1), 23–40. <https://doi.org/10.1007/s00586-004-0825-y>

Lamoth, C. J. C., Meijer, O. G., Wuisman, P. I. J. M., van Dieën, J. H., Levin, M. F., & Beek, P. J. (2002). Pelvis-thorax coordination in the transverse plane during walking in persons with nonspecific low back pain. *Spine*, 27(4). <https://doi.org/10.1097/00007632-200202150-00016>

Lipsitz, L. A., & Goldberger, A. L. (1992). Loss of 'complexity' and aging. Potential applications of fractals and chaos theory to senescence. *JAMA*, 267(13), 1806–1809.

Nishi, Y., Shigetoh, H., Fujii, R., Osumi, M., & Morioka, S. (2021). Changes in Trunk Variability and Stability of Gait in Patients with Chronic Low Back Pain: Impact of Laboratory versus Daily-Living Environments. *Journal of Pain Research*, 14, 1675. <https://doi.org/10.2147/JPR.S310775>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ (Clinical research ed.)*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Pakzad, M., Fung, J., & Preuss, R. (2016). Pain catastrophizing and trunk muscle activation during walking in patients with chronic low back pain. *Gait & posture*, 49, 73–77. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.06.025>

Pelegriñelli, A. R. M., Silva, M. F., Guenka, L. C., Carrasco, A. C., Moura, F. A., & Cardoso, J. R. (2020). Low back pain affects coordination between the trunk segments but not variability during running. *Journal of Biomechanics*, 101. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOMECH.2020.109605>

Santos, C., Donoso, R., Ganga, M., Eugenin, O., Lira, F., & Santelices, J. P. (2020). low back pain: review and evidence of treatment. *Revista Medica Clinica Las Condes*, 31(5–6), 387–395. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2020.03.008>

Seay, J. F., van Emmerik, R. E. A., & Hamill, J. (2011). Low back pain status affects pelvis-trunk coordination and variability during walking and running. *Clinical Biomechanics*, 26(6), 572–578. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2010.11.012>

Selles, R. W., Wagenaar, R. C., Smit, T. H., & Wuisman, P. I. (2001). Disorders in trunk rotation during walking in patients with low back pain: a dynamical systems approach. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 16(3), 175–181. [https://doi.org/10.1016/s0268-0033\(00\)00080-2](https://doi.org/10.1016/s0268-0033(00)00080-2)

Selles, R. W., Wagenaar, R. C., Smit, T. H., & Wuisman, P. I. J. M. (n.d.). Disorders in trunk rotation during walking in patients with low back pain: a dynamical systems approach. [www.elsevier.com/locate/clinbiomech](http://www.elsevier.com/locate/clinbiomech)

Smith, J. A., Stabbert, H., Bagwell, J. J., Teng, H.-L., Wade, V., & Lee, S.-P. (2022). Do people with low back pain walk differently? A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*, 11, 450–465. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2022.02.001>

Steele, J., Bruce-Low, S., Smith, D., Jessop, D., & Osborne, N. (2014). Lumbar kinematic variability during gait in chronic low back pain and associations with pain, disability and isolated lumbar extension strength. *Clinical Biomechanics*, 29(10), 1131–1138. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.09.013>

Steele, J., Bruce-Low, S., Smith, D., Jessop, D., & Osborne, N. (2016). A Randomized Controlled Trial of the Effects of Isolated Lumbar Extension Exercise on Lumbar Kinematic Pattern Variability During Gait in Chronic Low Back Pain. *PM and R*, 8(2), 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2015.06.012>

Tsigkanos, C., Demestih, T., Spiliopoulou, C., & Tsigkanos, G. (2021). Gait kinematics in Low Back Pain: A non-linear approach. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 34(4), 707–714. <https://doi.org/10.3233/BMR-200260>

van den Hoorn, W., Bruijn, S. M., Meijer, O. G., Hodges, P. W., & van Dieën, J. H. (2012). Mechanical coupling between transverse plane pelvis and thorax rotations during gait is higher in people with low back pain. *Journal of Biomechanics*, 45(2), 342–347. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2011.10.024>

van den Hoorn, W., Hug, F., Hodges, P. W., Bruijn, S. M., & van Dieën, J. H. (2015). Effects of noxious stimulation to the back or calf muscles on gait stability. *Journal of Biomechanics*, 48(15), 4109–4115. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.10.013>

van Dieën, J. H., Peter Reeves, N., Kawchuk, G., van Dillen, L. R., & Hodges, P. W. (2019). Motor Control Changes in Low Back Pain: Divergence in Presentations and Mechanisms. *https://Doi.Org/10.2519/Jospt.2019.7917*, 49(6), 370–379. <https://doi.org/10.2519/JOSPT.2019.7917>

Vaughan C. L. (2003). Theories of bipedal walking: an odyssey. *Journal of biomechanics*, 36(4), 513–523. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(02\)00419-0](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(02)00419-0)

Veeger, T. T. J., van Trigt, B., Hu, H., Bruijn, S. M., & van Dieën, J. H. (2020). Fear of movement is not associated with trunk movement variability during gait in patients with low back pain. *Spine Journal*, 20(12), 1986–1994. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2020.07.007>

Vogt, L., Pfeifer, K., Portscher, M., & Banzer, W. (n.d.). Influences of Nonspecific Low Back Pain on Three-Dimensional Lumbar Spine Kinematics in Locomotion. In *SPINE* (Vol. 26, Issue 17).

WHO guideline for non-surgical management of chronic primary low back pain in adults in primary and community care settings [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2023. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK599212/>



