



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS DE LASALUD DE SORIA

GRADO EN FISIOTERAPIA

TRABAJO FIN DE GRADO

**EFFECTO DEL ENTRENAMIENTO SOBRE PLATAFORMAS
VIBRATORIAS EN LA REHABILITACIÓN POST-QUIRÚRGICA TRAS ROTURA
DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR EN PACIENTES MAYORES DE 18
AÑOS FÍSICAMENTE ACTIVOS. REVISIÓN SISTEMÁTICA**

Presentado por: Amira Haztani Haztani

Tutor: Dr. Diego Fernández Lázaro

Soria, a 13 de JULIO de 2023

RESUMEN

Introducción: la terapia de vibración de cuerpo entero (WBV) se utiliza en clínicas y centros deportivos para mejorar el rendimiento neuromuscular, de fuerza y el equilibrio. Sin embargo, aún hay incertidumbre sobre los efectos inmediatos de la WBV en el músculo esquelético en pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA).

Objetivo: analizar la eficacia comparativa del entrenamiento sobre WBV frente a un protocolo de ejercicios estándar sobre parámetros de fuerza y neuromusculares en adultos físicamente activos.

Metodología: bajo las directrices de Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses (PRISMA), se llevó a cabo una revisión sistemática de estudios en bases de datos como PubMed (Medline), Physiotherapy Evidence Database (PEDro), Biblioteca Cochrane, Scopus y Web of Science, durante el mes de mayo de 2023, para evaluar la eficacia comparativa del entrenamiento sobre WBV frente a un protocolo de ejercicios estándar en adultos físicamente activos, en parámetros de fuerza (pico de torque, amplitud electromiográfica, fuerza isométrica e isocinética, potencia máxima y tasa de desarrollo de torque) y neuromusculares (equilibrio, control postural y oscilación del centro de presiones). Se utilizó la escala Critical Appraisal Skills Programme español (CASPe), la escala PEDro y la herramienta de Cochrane para evaluar la calidad metodológica y el riesgo de sesgo, respectivamente.

Resultados: de entre los 468 estudios identificados en las bases de datos, únicamente 7 fueron seleccionados para ser incluidos en esta revisión sistemática, tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión. Algunos de los pacientes que utilizaron las WBV obtuvieron resultados significativamente positivos respecto al grupo control en el pico de torque, amplitud electromiográfica, tasa de desarrollo de torque, potencia máxima y equilibrio y control postural mientras que otros pacientes obtuvieron resultados similares en estos parámetros y en la oscilación del centro de presiones y en la fuerza isométrica e isocinética.

Conclusiones: la terapia de vibración mediante el uso de plataformas vibratorias puede ser una estrategia efectiva en la rehabilitación de pacientes con reconstrucción del LCA. Sin embargo, se requiere una mayor estandarización de los protocolos de aplicación.

Palabras clave: plataformas vibratorias, ligamento cruzado anterior, rehabilitación, fuerza.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Terapia de vibración	8
1.2 Vibración de cuerpo entero (WBV).....	9
2. JUSTIFICACIÓN	10
3. OBJETIVOS	11
3.1 Objetivo general	11
3.2 Objetivos específicos	11
4. METODOLOGÍA	11
4.1 Estrategia de búsqueda	11
4.2 Criterios de selección de los estudios.....	12
4.3 Evaluación de la calidad metodológica.....	12
4.4 Evaluación del riesgo de sesgo	13
5. RESULTADOS.....	13
5.1 Selección de los estudios	13
5.2 Evaluación de la calidad metodológica.....	14
5.3 Evaluación del riesgo de sesgo	16
5.4 Características de los pacientes y de la intervención	17
5.5 Evaluación de los resultados.....	18
6. DISCUSIÓN	26
6.1 Parámetros de fuerza	26
6.2 Parámetros neuromusculares	28
6.3 Limitaciones.....	28
7. CONCLUSIONES.....	29
8. BIBLIOGRAFÍA	31
9. ANEXOS	34
9.1 Anexo 1 – Ecuaciones de búsqueda.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Puntuación según el cuestionario CASPe para la evaluación metodológica de los artículos incluidos en la revisión.....	15
Tabla 2. Puntuación según la escala PEDro para la evaluación de la calidad metodológica de los estudios incluidos en la revisión.....	16
Tabla 3. Puntuación del sesgo de los estudios según la herramienta de Cochrane.....	17
Tabla 4. Resumen de los estudios seleccionados.....	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo que ilustra el proceso de identificación y selección de los estudios incluidos en esta revisión, siguiendo las directrices establecidas por Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses (PRISMA).....**14**

LISTADO DE ABREVIATURAS

CASPe: Critical Appraisal Skills Programme español.

EMG: actividad electromiográfica.

GC: grupo control.

GLMV: grupo de intervención vibración local.

GWBV: grupo de intervención plataformas vibratorias.

LCA: ligamento cruzado anterior.

LMV: vibración local.

PEDro: Physiotherapy Evidence Database.

PRISMA: Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses.

ROM: rango de movimiento.

WBV: vibración de cuerpo entero.

1. INTRODUCCIÓN

Las roturas de ligamento cruzado anterior (LCA) constituyen una de las lesiones más populares en el ámbito deportivo, haciendo que también sean una de las patologías más tratadas en fisioterapia, especialmente en fisioterapia deportiva. En general, suelen ser roturas que necesitan ser intervenidas mediante cirugía para su reconstrucción, y como consecuencia, el periodo de rehabilitación en fisioterapia dura varios meses, ya que es un proceso fundamental para la recuperación funcional y la reintegración deportiva de los individuos afectados (1).

Esta lesión de la rodilla, común en atletas y personas físicamente activas, requiere de un enfoque terapéutico integral que promueva la recuperación de la estabilidad articular, la fuerza muscular y la propiocepción. Así pues, el proceso de rehabilitación se divide en diferentes etapas, cada una con objetivos específicos. En las primeras etapas, el enfoque se centra en reducir la inflamación, restaurar la movilidad, fortalecer los músculos circundantes y mejorar la estabilidad y el equilibrio. A medida que avanza la rehabilitación, se incorporan ejercicios de mayor intensidad y demanda funcional, como el entrenamiento propioceptivo, el fortalecimiento de la musculatura específica y la progresión gradual hacia actividades deportivas específicas (1).

En este contexto, la vibración de cuerpo entero (WBV, por sus siglas en inglés) ha mostrado una amplia gama de efectos beneficiosos, abarcando tanto la prevención de enfermedades crónicas y degenerativas como el contrarresto de los cambios relacionados con el envejecimiento. También se utiliza de manera frecuente en el ámbito de la rehabilitación en deportistas que presentan diversas afecciones. Estos hallazgos sugieren que la WBV es una técnica versátil y prometedora, que se utiliza en diferentes áreas de la salud y el rendimiento deportivo. Su potencial se extiende más allá de la prevención y se adentra en la rehabilitación de lesiones y el mejoramiento de aspectos específicos del rendimiento físico (2).

1.1 Terapia de vibración

La terapia de vibración es un enfoque terapéutico que aplica estímulos mecánicos en forma de movimientos oscilatorios sobre el cuerpo. Se utiliza en diversos campos, como la rehabilitación física, el acondicionamiento atlético, la prevención de lesiones y el bienestar general. Se ha aplicado en la rehabilitación de lesiones musculoesqueléticas, como fracturas óseas, lesiones ligamentarias y desgarros musculares. También se ha utilizado en la mejora del equilibrio y la estabilidad, la recuperación después de la cirugía y la reducción del dolor (3).

Existe evidencia que respalda el impacto de la transmisión de vibraciones y oscilaciones al cuerpo en la estimulación de receptores cutáneos, husos musculares y el sistema vestibular. Estos estímulos generan una serie de cambios en la actividad cerebral, afectando áreas como la corteza somatosensorial, el tálamo, el hipocampo y la amígdala. Además, se ha observado que estas vibraciones también tienen influencia en la modulación de importantes neurotransmisores, como la dopamina y la serotonina, que actúan como mensajeros en las células nerviosas (2,4).

En cuanto al sistema musculoesquelético, se ha observado que puede contribuir al aumento de la masa muscular y la fuerza. Los estudios han demostrado que la vibración estimula la contracción muscular, lo que a su vez promueve el crecimiento y la fortaleza muscular (4,5).

Además, se ha observado un aumento en la densidad mineral ósea, lo que indica un efecto positivo en la salud ósea (5).

Otro beneficio destacado es la mejora del rendimiento motor. Los sujetos expuestos a la vibración han mostrado mejoras en la coordinación, el equilibrio y la estabilidad, lo que se traduce en un mejor desempeño en actividades físicas y deportivas.

Además, se ha observado una mejora en la circulación sanguínea y en la oxigenación de los tejidos, lo que puede favorecer la recuperación y reducir el riesgo de lesiones. También se han reportado beneficios en la función cardiovascular y metabólica, lo que indica un impacto positivo en la salud en general (4).

1.2 Vibración de cuerpo entero (WBV)

La WBV es un estímulo mecánico caracterizado por movimientos oscilatorios aplicados a todo el cuerpo a través de una plataforma. Actualmente, existen dos tipos principales de dispositivos de WBV disponibles: plataformas de vibración vertical, donde toda la placa se mueve de manera uniforme hacia arriba y hacia abajo a lo largo del eje vertical, y plataformas oscilantes, que generan desplazamientos verticales en los lados izquierdo y derecho de un punto de apoyo, lo que resulta en mayores aceleraciones laterales (6).

Es un método de entrenamiento neuromuscular que recientemente ha ganado bastante popularidad como un método adicional a los métodos de entrenamiento y terapias convencionales en diferentes ámbitos, incluido el de la fisioterapia, con el objetivo de mejorar la fuerza y la potencia muscular (4). Diversos parámetros biomecánicos entran en juego, incluyendo la posición corporal, la amplitud (rango de movimiento de la plataforma), la frecuencia (número de oscilaciones por segundo), la magnitud (intensidad de las vibraciones) y la duración (tiempo de cada sesión de WBV). Estos parámetros se pueden ajustar para cumplir con objetivos de entrenamiento específicos y necesidades individuales (6).

La aplicación del entrenamiento sobre plataformas vibratorias en la rehabilitación postquirúrgica de LCA ofrece ventajas potenciales en comparación con los métodos tradicionales de ejercicio terapéutico. Las vibraciones inducen contracciones musculares involuntarias, lo que puede resultar en un aumento de la fuerza muscular, la activación de las fibras musculares de contracción rápida y la mejora de la estabilidad articular (4,7).

Estas plataformas, diseñadas para generar vibraciones mecánicas de alta frecuencia y baja amplitud, proporcionan un estímulo sensorial específico que desencadena respuestas neuromusculares y musculoesqueléticas. Se cree que esto ocurre a través de la vía del reflejo de estiramiento. Algunos estudios han demostrado que los cambios agudos en la producción motora están relacionados con un aumento en la sensibilidad de los husos musculares (1).

El reflejo de estiramiento es una respuesta automática del cuerpo ante el estiramiento o elongación de un músculo. En el caso de la WBV, la vibración estimula los husos musculares, que son receptores sensoriales presentes en los músculos, y estos envían señales al sistema nervioso central. Como resultado, se produce una respuesta de contracción muscular involuntaria y rápida. La sensibilidad de los husos musculares aumenta durante la WBV, lo que implica una mayor respuesta a la estimulación vibratoria. Esto puede ser una de las razones por

las cuales se mejora la contracción muscular durante este tipo de entrenamiento. La vibración estimula de manera efectiva los husos musculares, lo que a su vez promueve una mayor activación muscular y una respuesta de contracción más eficiente (1,7).

En resumen, se ha observado que la contracción muscular mejora durante la WBV, y se cree que esto está relacionado con el aumento de la sensibilidad de los husos musculares. Estos receptores juegan un papel importante en la regulación de la actividad muscular y su estimulación durante la vibración puede tener efectos beneficiosos en la contracción muscular y el rendimiento motor. Además, pueden desempeñar un papel importante en la mejora de la propiocepción, es decir, la capacidad del cuerpo para percibir y responder a los cambios en la posición y movimiento de las articulaciones. La estimulación vibratoria puede ayudar a restaurar la percepción y control propioceptivo, lo cual es esencial para recuperar la estabilidad y prevenir lesiones futuras (7).

La comprensión de los efectos y la aplicación de las plataformas vibratorias en la rehabilitación de LCA puede tener un impacto significativo en la práctica clínica y mejorar los resultados de los pacientes.

2. JUSTIFICACIÓN

La fisioterapia después de una lesión LCA es un proceso clave que implica una combinación de técnicas de terapia física y ejercicios específicos para mejorar la fuerza, la estabilidad y en definitiva, la función de la rodilla. En los últimos años, se ha investigado el uso de la plataforma vibratoria como una herramienta adicional en la rehabilitación del LCA.

El objetivo del entrenamiento sobre plataformas vibratorias en la rehabilitación del LCA es mejorar la función neuromuscular, la fuerza muscular y la estabilidad de la rodilla, lo que a su vez puede mejorar la capacidad del paciente para realizar actividades diarias y deportivas. Se cree que el uso de plataformas vibratorias puede estimular las fibras musculares y mejorar la coordinación neuromuscular, lo que puede tener efectos beneficiosos en la rehabilitación de lesiones del LCA. Además, se ha demostrado que puede aumentar la densidad ósea y mejorar la circulación sanguínea, lo que puede ser beneficioso en la rehabilitación de lesiones musculoesqueléticas en general.

Algunos estudios sugieren que el uso de la plataforma vibratoria durante el entrenamiento de fuerza puede mejorar la estabilidad de la rodilla y la fuerza muscular en comparación con el entrenamiento de fuerza tradicional sin plataforma vibratoria. También se ha encontrado que el uso de la plataforma vibratoria puede ayudar a reducir la atrofia muscular y mejorar la coordinación neuromuscular después de una lesión del LCA. Sin embargo, otros estudios no han encontrado diferencias significativas en la recuperación de la fuerza y la función muscular entre la rehabilitación con plataforma vibratoria y la rehabilitación tradicional.

Es por esto por lo que surge el motivo de realizar esta revisión sistemática: recopilar la bibliografía científica existente acerca de la mejora en los parámetros de fuerza del entrenamiento sobre plataformas vibratorias de cuerpo entero, durante el periodo de rehabilitación en fisioterapia, comparado con un protocolo de ejercicios habitual, tras una reconstrucción del LCA en adultos físicamente activos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

El objetivo de esta revisión sistemática, realizada durante los meses de mayo y julio de 2023, es analizar críticamente la evidencia científica existente para evaluar el efecto del entrenamiento sobre plataformas vibratorias en la rehabilitación post-quirúrgica en adultos mayores de 18 años físicamente activos tras rotura de ligamento cruzado anterior.

3.2 Objetivos específicos

Analizar la eficacia comparativa del entrenamiento sobre plataformas vibratorias frente a un protocolo de ejercicios estándar sobre:

- Parámetros de fuerza.
- Parámetros neuromusculares.

4. METODOLOGÍA

4.1 Estrategia de búsqueda

Esta revisión sistemática se centra en el estudio de la efectividad del uso de plataformas vibratorias para la rehabilitación post-quirúrgica tras la rotura de ligamento cruzado anterior en personas mayores de 18 años y físicamente activas. Para realizar la búsqueda bibliográfica se han utilizado las siguientes bases de datos científicas: PubMed (Medline), Biblioteca Cochrane, Scopus, PEDro (Physiotherapy Evidence Database) y Web of Science; durante el mes de mayo de 2023. La búsqueda ha llevado a cabo siguiendo las pautas metodológicas específicas PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses) (8) y el método PICOS (9) de la siguiente manera:

P (población): adultos mayores de 18 años intervenidos mediante cirugía tras sufrir una rotura de ligamento cruzado anterior. I (intervención): uso de plataformas vibratorias durante el periodo de tratamiento fisioterapéutico. C (comparación): protocolo de ejercicios estándar. O (resultados): parámetros de fuerza (pico de torque, amplitud electromiográfica, fuera isométrica e isocinética, potencia máxima y tasa de desarrollo de torque) y parámetros neuromusculares (equilibrio, control postural y oscilación del centro de presiones). S (diseño del estudio): ensayos clínicos, ensayos cruzados, ensayos aleatorios y no aleatorios y, estudios de diseño pre-test/post-test.

Para la selección de los artículos se ha realizado una búsqueda avanzada en las bases de datos mencionadas anteriormente (PubMed, Cochrane, Scopus, PEDro y Web of Science) desde el inicio de las bases hasta el 31 de mayo de 2023 y, además, se revisaron los apartados de bibliografía de los artículos incluidos para tratar de identificar otros estudios que fueran de utilidad. La estrategia de búsqueda utilizada para cada base de datos se detalla en el Anexo I, en la que se utilizó una combinación de términos de encabezados de materia médica (MeSH, por sus siglas en inglés) y palabras clave relevantes para identificar los conceptos clave relacionados. Los detalles específicos de esta última combinación se pueden encontrar también en el Anexo I.

En esta búsqueda, se identificaron varios artículos relacionados con el tema que se pretende abordar. Posteriormente, se llevó a cabo una revisión de los títulos y/o resúmenes para eliminar duplicados y seleccionar aquellos que cumplieran con los criterios de inclusión. A continuación, se procedió a la lectura completa de los textos seleccionados.

4.2 Criterios de selección de los estudios

4.2.1 Criterios de inclusión

Para la selección de los artículos, se han incluido en la revisión aquellos que cumplieran con las siguientes características: a) personas físicamente activas mayores de 18 años intervenidas quirúrgicamente tras sufrir una rotura de ligamento cruzado anterior; b) uso de plataformas vibratorias durante el periodo de rehabilitación; c) comparación con grupo sin intervención; d) que midan la función muscular con herramientas válidas y objetivas; e) registros originales con ensayos aleatorios y no aleatorios, diseño controlado doble ciego o paralelo (no se tendrán en cuenta metaanálisis, revisiones, estudios no originales y editoriales); f) información clara del protocolo de uso de plataforma vibratoria (tiempo de uso, frecuencia); g) que describan resultados (1º o 2º) sobre grupos de la "O" de PICOS; h) puntuación de 6 o más en el cuestionario CASPe y la escala PEDro (10,11) y i) publicaciones en inglés o español.

No se aplicaron filtros en cuanto al sexo de los participantes, la duración de la intervención ni la antigüedad de los estudios.

4.2.2 Criterios de exclusión

En cuanto a los criterios de exclusión, se desecharon de esta revisión sistemática todos aquellos escritos que no cumplieran con los criterios de inclusión citados anteriormente.

4.3 Evaluación de la calidad metodológica

Se procedió a una lectura crítica de los artículos seleccionados para evaluar su calidad científica. Para ello se utilizaron las escalas CASPe (Critical Appraisal Skills Programme español) y PEDro (10,11).

La escala CASPe, desarrollada por Cabello et al. (10), se utiliza en este estudio y consta de 11 preguntas. Las primeras tres preguntas se utilizan como criterio de eliminación para determinar si se debe descartar o continuar con las preguntas restantes. Cada pregunta se puntúa con un punto cuando la respuesta es "sí" y cero cuando la respuesta es "no" o "no lo sé". La puntuación total puede llegar hasta 11 puntos, siendo una puntuación más alta indicativa de una mayor calidad metodológica del estudio. Para esta investigación, se consideraron como estudios adecuados aquellos que obtuvieron una puntuación de 8 o más sobre 11 (12-18).

La escala PEDro (11) está compuesta por 11 ítems. Cada ítem se puntúa con un punto si la respuesta es "sí" y cero si la respuesta es "no" o no se especifica. La puntuación total del estudio se clasifica en diferentes categorías de calidad metodológica. Los estudios con una puntuación de 9-10 se consideran de excelente calidad, aquellos con una puntuación de 6-8 son de buena calidad, los estudios con una puntuación de 4-5 tienen una calidad regular, y aquellos con una puntuación inferior a 4 se consideran de mala calidad. Para esta revisión, se

consideraron como estudios aptos aquellos que obtuvieron una puntuación igual o mayor que 6 (12-18).

4.4 Evaluación del riesgo de sesgo

La evaluación del sesgo en los artículos seleccionados se realizó utilizando la herramienta de Cochrane (19).

5. RESULTADOS

5.1 Selección de los estudios

Al realizar la búsqueda en diversas bases de datos, se identificaron un total de 468 estudios relevantes: 69 en PubMed (Medline), 29 en PEDro, 61 en Cochrane, 51 en Scopus y 258 en Web of Science.

En una etapa inicial, se procedió a revisar los títulos de los artículos encontrados en cada base de datos y se eliminaron los duplicados, lo que resultó en la exclusión de 440 estudios. Posteriormente, se llevó a cabo una segunda fase en la cual se descartaron 16 estudios por diferentes razones: 6 no cumplían con el tipo de estudio buscado, 1 no utilizaban la intervención específica de interés, 8 no evaluaban las variables de interés, y 1 no cumplía con el criterio de idioma. Asimismo, se revisaron las referencias bibliográficas de los artículos incluidos y de algunos excluidos para buscar estudios adicionales relevantes, pero no se encontraron nuevos estudios de interés que no hubieran sido obtenidos previamente en las búsquedas en las bases de datos.

En consecuencia, se obtuvieron un total de 7 artículos (12-18) que cumplen todos los criterios de inclusión establecidos y son considerados relevantes para la investigación en curso (Figura 1).

Identificación de estudios a través de bases de datos y registros

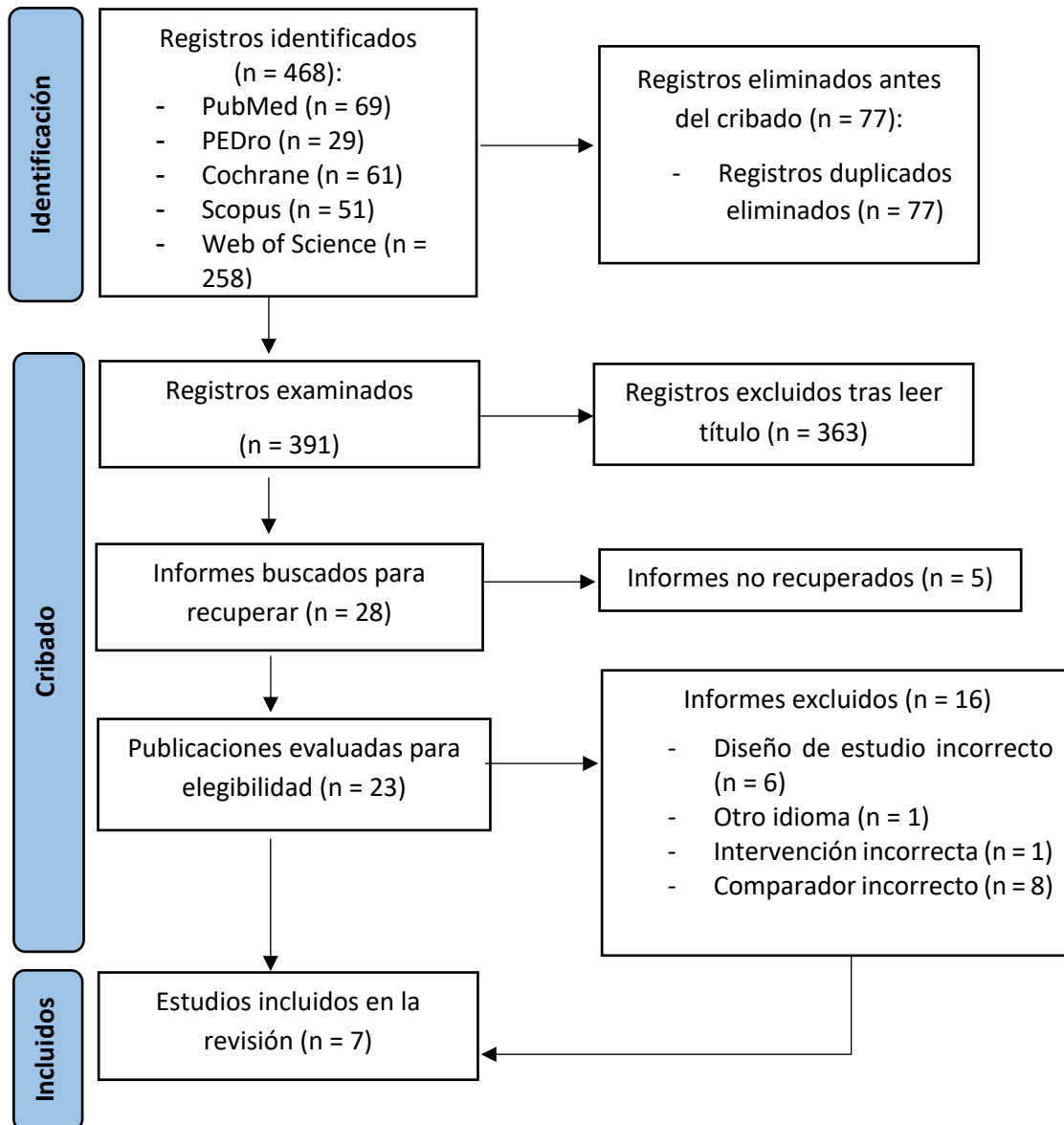


Figura 1. Diagrama de flujo que ilustra el proceso de identificación y selección de los estudios incluidos en esta revisión, siguiendo las directrices establecidas por Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA).

5.2 Evaluación de la calidad metodológica

Todos los estudios incluidos en la revisión cumplían con los requisitos mínimos de calidad metodológica, obteniendo una puntuación igual o superior a 6 en las escalas de evaluación utilizadas. En la escala CASPe (10) (Tabla 1), las puntuaciones variaron entre 8 (17), 9 (12,14-16) y 10 (13,18) puntos, mientras que en la escala PEDro (11) (Tabla 2) oscilaron entre 6 (17) y 7 (12-16,18) puntos. Todos los artículos evaluados presentaron una calidad metodológica considerada como "buena" o superior, por lo que ninguno fue excluido de la revisión por no alcanzar el umbral mínimo de calidad.

Tabla 1. Puntuación según el cuestionario CASPe para la evaluación metodológica de los artículos incluidos en la revisión.

PRIMER AUTOR, AÑO DE PUBLICACIÓN Y PAÍS	ÍTEMS											Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Berschin et al. (12), (2014) Alemania	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	95% CI p < 0.05	SÍ	SÍ	SÍ	9
Constantino et al. (13), (2018) Italia	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	95% CI p < 0.05	SÍ	SÍ	SÍ	10
da Costa et al. (14), (2017) Brasil	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	p < 0.05	SÍ	SÍ	SÍ	9
Pamukoff et al. (15), (2017) Estados Unidos	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	95% CI	NO	SÍ	SÍ	9
Pamukoff et al. (16), (2016) Estados Unidos	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	95% CI	NO	SÍ	SÍ	9
Salvarani et al. (17), (2003) Italia	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	95% CI	SÍ	SÍ	SÍ	9
Troy Blackburn et al. (18), (2021) Estados Unidos	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	95% CI	SÍ	SÍ	SÍ	10

Abreviaturas: CI = Intervalo de Confianza.

Ítems del cuestionario CASPe: 1 = Pregunta claramente definida; 2 = Asignación aleatoria; 3 = Pacientes considerados hasta el final; 4 = Cegamiento; 5 = Grupos similares al comienzo; 6 = Grupos tratados de igual modo; 7 = Gran efecto del tratamiento; 8 = Precisión del efecto; 9 = Aplicabilidad a tu medio o población local; 10 = En cuenta todos los resultados; 11 = Beneficios justifican riesgos y costes.

Tabla 2. Puntuación según la escala PEDro para la evaluación de la calidad metodológica de los estudios incluidos en la revisión.

PRIMER AUTOR, AÑO DE PUBLICACIÓN Y PAÍS	ÍTEMS											T	CM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Berschlin et al. (12), (2014) Alemania	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	7	B
Constantino et al. (13), (2018) Italia	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	7	B
da Costa et al. (14), (2017) Brasil	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	7	B
Pamukoff et al. (15), (2017) Estados Unidos	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	7	B
Pamukoff et al. (16), (2016) Estados Unidos	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	7	B
Salvarani et al. (17), (2003) Italia	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6	B
Troy Blackburn et al. (18), (2021) Estados Unidos	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	7	B

Abreviaturas: T: Total de ítems cumplidos por estudio; CM: Calidad Metodológica; B: Calidad Buena; R: Calidad Regular; 1: ítem cumplido; 0: ítem no cumplido.

Ítems de la escala PEDro: 1 = Criterios de elección; 2 = Asignación aleatoria; 3 = Asignación oculta; 4 = Similitud de grupos al inicio; 5 = Cegamiento de los participantes; 6 = Cegamiento del terapeuta; 7 = Cegamiento del evaluador; 8 = Mínimo del 85% de seguimiento; 9 = Análisis de los datos por intención de tratar; 10 = Comparación estadística entre grupos; y 11 = Medidas puntuales y de variabilidad.

5.3 Evaluación del riesgo de sesgo

Gracias a la herramienta de evaluación del riesgo de sesgo de Cochrane (19), se pudo evaluar los estudios incluidos en esta revisión sistemática.

Las puntuaciones obtenidas oscilaron entre 5 (12-14,17,18) y 6 (15,16) puntos, observando los principales sesgos en los ítems 2, 3 y 4 (Tabla 3).

Tabla 3. Puntuación del sesgo de los estudios según la herramienta de Cochrane.

PRIMER AUTOR, AÑO DE PUBLICACIÓN Y PAÍS	ÍTEMS								T
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Berschlin et al. (12), (2014) Alemania									5
Constantino et al. (13), (2018) Italia									5
da Costa et al. (14), (2017) Brasil									5
Pamukoff et al. (15), (2017) Estados Unidos									6
Pamukoff et al. (16), (2016) Estados Unidos									6
Salvarani et al. (17), (2003) Italia									5
Troy Blackburn et al. (18), (2021) Estados Unidos									5

Abreviaturas: T: total de ítems cumplidos por estudio; "+": sesgo de bajo riesgo; "-": alto riesgo de sesgo; "?": incertidumbre acerca del potencial de sesgo o falta de información al respecto.

Ítems de la herramienta Cochrane: 1 = generación de secuencias aleatorias; 2 = ocultamiento de la asignación; 3 = cegamiento de los participantes; 4 = cegamiento del evaluador; 5 = seguimiento incompleto; 6 = informe de datos; 7 = sesgo de publicación; 8 = sesgo del observador.

5.4 Características de los pacientes y de la intervención

En la Tabla 4 está detallado el resumen de los estudios seleccionados, aunque cabe destacar algunos detalles generales.

De los 244 participantes incluidos en la muestra inicial de los estudios, un total de 206 sujetos formaron parte de la muestra final, resultando ser 111 hombres (53,88%) y 95 mujeres (46,12%).

Dentro de los siete estudios seleccionados, cinco de ellos (12,15,16-18) tuvieron una población mixta, siendo mayor el número de hombres en solo dos (12,17) mientras que en los demás (15,16,18) eran más mujeres. También hubo poblaciones del mismo sexo (13,14) en los que uno era población femenina (13) y el otro población masculina (14). Todos los participantes eran adultos mayores de 18 años, con reconstrucción del LCA y físicamente activos e incluso deportistas.

En cuanto al tipo de estudio, fueron ensayos clínicos aleatorios controlados (12,17), ensayos clínicos aleatorios controlados doble (13) o simple (14) ciego, ensayos clínicos cruzados

aleatorios (15) y simple ciego (16) y de medidas repetidas (18). En todos ellos, se realiza una intervención comparando al grupo intervención o grupo de vibración de cuerpo entero (GWBV) frente al grupo control o grupo de protocolo de ejercicios estándar (GC) (12-18), siendo únicamente GWBV versus GC en cuatro de ellos (12-14,17), ya que los demás (15,16,18) también incluían un grupo de intervención de vibración local (GLMV).

La mayoría de los participantes habían recibido injerto para su LCA del tendón rotuliano únicamente (12,13,17), en el estudio de da Costa et al. (14) todos utilizaron los isquiotibiales (tendones del grácil y semitendinoso) y los demás (15,16,18) cualquier tipo de injerto, teniendo mayor prevalencia el del tendón rotuliano.

5.5 Evaluación de los resultados

Los resultados de los siete estudios seleccionados para esta revisión (12-18) han sido detallados en la Tabla 4, habiendo sido divididos en parámetros de fuerza, clínicos y neuromusculares.

Tabla 4. Resumen de los estudios seleccionados.

PRIMER AUTOR, AÑO DE PUBLICACIÓN Y PAÍS	TIPO DE ESTUDIO	PARTICIPANTES (TAMAÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA)	INTERVENCIÓN	PARÁMETROS EVALUADOS	RESULTADOS
Berschin et al. (12), (2014) Alemania	Ensayo aleatorio controlado	<p>n inicial = 60 pacientes con reconstrucción de LCA</p> <p>n final = 40 pacientes con reconstrucción de LCA → (29 ♂ y 11 ♀)</p> <p>GWBV (n=20):</p> <p>Edad (media ± DE): 27 ± 4,2 años</p> <p>IMC (media ± DE): 23,2 ± 3,4</p> <p>Días desde la lesión hasta la cirugía (media ± DE): 82,4 ± 39,2 días</p> <p>♂: Peso (media ± DE): 86,4 ± 7,9 kg</p> <p>♀: Peso (media ± DE): 67,5 ± 5,3 kg</p> <p>GC (n=20):</p> <p>Edad (media ± DE): 28 ± 6,8 años</p> <p>IMC (media ± DE): 24,3 ± 2,8</p> <p>Días desde la lesión hasta la cirugía (media ± DE): 90,7 ± 47,9 días</p> <p>♂: Peso (media ± DE): 87,1 ± 6,2 kg</p> <p>♀: Peso (media ± DE): 65,3 ± 4,6 kg</p>	<p>Vibración de todo el cuerpo (GWBV) y protocolo estándar de ejercicios (GC) 2 semanas después de la cirugía.</p> <p>GWBV:</p> <p>Semanas 2-4: bipedestación isométrica 10-15 Hz 1 minuto (2-6 series)</p> <p>Semanas 5-7: bipedestación isométrica aumento 5Hz todos los días hasta 30Hz 1,5-2 minutos (5 series)</p> <p>Semanas 8-11: sentadillas 30Hz 2 minutos (5-7 series)</p> <p>GC:</p> <p>Fase 1 (hasta la 6ª semana): 50-60% RM</p> <p>Fase 2: 60-80% RM</p>	<p>Fuerza flexores y extensores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Isocinética - Isométrica <p>Neuromusculares:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Control postural/equilibrio - Puntaje de Lysholm - Tiempo dedicado a la sesión <p>Clínicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ROM - Cajón anterior - Lachman 	<p><u>GWBV vs GC</u></p> <p>Fuerza isocinética:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Extensión ↔ - Flexión ↔ <p>Fuerza isométrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Extensión ↔ - Flexión ↔ <p>Control postural: ↑*</p> <p>Puntaje de Lysholm: ↔</p> <p>Tiempo/sesión: ↓*</p> <p>ROM: ↔</p> <p>Cajón anterior: ↔</p> <p>Lachman: ↔</p>

**Constantino et al. (13),
(2018) Italia**

Ensayo
aleatorio
controlado
doble ciego

n inicial = 48 pacientes con
reconstrucción de LCA

n final = 38 pacientes con
reconstrucción de LCA → (38 ♀)

GWBV (n=19):

Edad (media ± DE): 25,47 ± 2,01 años
Altura (media ± DE): 166,16 ± 5,18 cm
Peso (media ± DE): 56 ± 3,92 kg
IMC (media ± DE): 20,29 ± 1,28

GC (n=19):

Edad (media ± DE): 25,42 ± 2,39 años
Altura (media ± DE): 166,11 ± 5,34 cm
Peso (media ± DE): 55,32 ± 5,18 kg
IMC (media ± DE): 20,06 ± 1,8

Vibración de todo el
cuerpo (GWBV) y
protocolo estándar de
ejercicios (GC) 13
semanas después de la
cirugía.

GWBV: 13 semanas de
protocolo estándar de
ejercicios + 8 semanas (3
sesiones/semana) de
tratamiento adicional con
WBV (6 series de 60
segundos con 1 minuto de
descanso entre series,
frecuencia 26Hz 4 mm
amplitud). Posición:
flexión de rodilla 25°.

GC: 13 semanas de
protocolo estándar de
ejercicios + 8 semanas (3
sesiones/semana) de
tratamiento adicional con
WBV apagado. Posición:
flexión de rodilla 25°.

Fuerza flexores y extensores:

- Pico de torque
- Potencia máxima

GWBV vs GC

Pico de torque flexores: ↑*
Pico de torque extensores: ↑*
Potencia máxima flexores: ↑*
Potencia máxima extensores: ↑*

**da Costa et al. (14),
(2017) Brasil**

Ensayo
controlado
aleatorio ciego

n inicial = 48 pacientes con
reconstrucción de LCA

Vibración de todo el
cuerpo (GWBV) y

Fuerza extensores:

- Pico de torque
- Trabajo total/EMG

GWBV vs GC

Pico de torque: ↔

		<p>n final = 44 pacientes con protocolo estándar de reconstrucción de LCA → (44 ♂)</p> <p>GWBV (n = 22): Edad (media ± DE): 28 ± 5,52 años Altura (media ± DE): 1,75 ± 0,79 m IMC (media ± DE): 27,1 ± 4,49 Tiempo postoperatorio (media ± DE): 16,8 ± 1,55 semanas</p> <p>GC (n = 22): Edad (media ± DE): 28 ± 5,52 años Altura (media ± DE): 1,75 ± 0,79 m IMC (media ± DE): 27,1 ± 4,49 Tiempo postoperatorio (media ± DE): 17 ± 1,26 semanas</p>	<p>con protocolo estándar de ejercicios (GC)</p> <p>GWBV: frecuencia 50 Hz y 4 mm de amplitud sentadilla unipodal 10 series de 30 segundos con descanso 30 segundos entre series. Posición: sentadilla unipodal flexión de rodilla 40°.</p> <p>GC: 10 series de 30 segundos con descanso 30 segundos entre series con WBV apagado. Posición: sentadilla unipodal flexión de rodilla 40°.</p>	<p>Neuromuscular:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Oscilación del centro de presiones 	<p>Trabajo total/EMG: ↔</p> <p>Oscilación del centro de presiones: ↔</p>
<p>Pamukoff et al. (15), (2017) Estados Unidos</p>	<p>Ensayo cruzado aleatorio</p>	<p>n inicial = 22 pacientes con reconstrucción de LCA</p> <p>n final = 20 pacientes con reconstrucción de LCA → (6 ♂ y 14 ♀)</p>	<p>Vibración de todo el cuerpo (GWBV), vibración local (GLMV) y protocolo estándar de ejercicios (GC) una única sesión.</p>	<p>Fuerza extensores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tasa de desarrollo de torque temprana y tardía - Retraso electromecánico 	<p><u>GWBV vs GC</u></p> <p>Tasa de desarrollo de torque:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temprana: ↑ - Tardía: ↔ <p>Retraso electromecánico: ↔</p>

Edad (media ± DE): 21,1 ± 0,5 años
 Altura (media ± DE): 168,4 ± 4,2 cm
 Peso (media ± DE): 68,3 ± 6,5 kg
 Tiempo desde la reconstrucción (media ± DE): 50,6 ± 9,3 meses

GWBV: 6 series de 60 segundos con 2 minutos de descanso entre series frecuencia 30 Hz. Posición: flexión de rodilla 60°.

GLMV vs GC

Tasa de desarrollo de torque:
 - Temprana: ↔
 - Tardía: ↔

Retraso electromecánico: ↔

GWBV (n = 10)

GFR (n = 10)

GLMV: 6 series de 60 segundos con 2 minutos de descanso entre series frecuencia 30 Hz. Posición: flexión de rodilla 60°.

GC: 6 series de 60 segundos con 2 minutos de descanso entre series con WBV o LMV apagado

Pamukoff et al. (16), (2016) Estados Unidos	Ensayo cruzado aleatorio simple ciego	n inicial = 22 pacientes con reconstrucción de LCA	Vibración de todo el cuerpo (GWBV), vibración local (GLMV) y protocolo estándar de ejercicios (GC) una única sesión.	Fuerza:	<ul style="list-style-type: none"> - Umbral motor activo del cuádriceps (AMT) - Amplitud del potencial evocado del motor (MEP) - Amplitud del reflejo H - Pico de torque (PT) - Desarrollo de la tasa de par (RTD) 	<u>GWBV vs GC</u>
		n final = 20 pacientes con reconstrucción de LCA → (6 ♂ y 14 ♀)				Umbral motor activo del cuádriceps (AMT): ↓
		Edad (media ± DE): 21,1 ± 0,5 años				Amplitud del potencial evocado del motor (MEP): ↔
		Altura (media ± DE): 168,4 ± 4,2 cm				Amplitud del reflejo H: ↔
		Peso (media ± DE): 68,3 ± 6,5 kg	GWBV: 6 series de 60 segundos con 2 minutos de descanso entre series frecuencia 30 Hz.			Pico de torque (PT): ↑

		<p>Tiempo desde la reconstrucción (media \pm DE): 50,6 \pm 9,3 meses</p> <p>GWBV (n = 10)</p> <p>GFR (n = 10)</p>	<p>Posición: flexión de rodilla 60°.</p> <p>GLMV: 6 series de 60 segundos con 2 minutos de descanso entre series frecuencia 30 Hz. Posición: flexión de rodilla 60°.</p> <p>GC: 6 series de 60 segundos con 2 minutos de descanso entre series con WBV o LMV apagado</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Amplitud de electromiografía (EMG) - Relación de activación central (CAR). 	<p>Desarrollo de la tasa de par (RTD): \leftrightarrow</p> <p>Amplitud de electromiografía (EMG): \uparrow</p> <p>Relación de activación central (CAR): \uparrow</p> <p><u>GLMV vs GC</u></p> <p>Umbral motor activo del cuádriceps (AMT): \downarrow</p> <p>Amplitud del potencial evocado del motor (MEP): \leftrightarrow</p> <p>Amplitud del reflejo H: \leftrightarrow</p> <p>Pico de torque (PT): \uparrow</p> <p>Desarrollo de la tasa de par (RTD): \leftrightarrow</p> <p>Amplitud de electromiografía (EMG): \uparrow</p> <p>Relación de activación central (CAR): \uparrow</p>
<p>Salvarani et al. (17), (2003) Italia</p>	<p>Ensayo aleatorio controlado</p>	<p>n = 20 pacientes com reconstrucción de LCA \rightarrow (17 σ y 3 ♀)</p> <p>GWBV (n = 10):</p>	<p>Vibración de todo el cuerpo (GWBV) y protocolo estándar de ejercicios (GC) un mes después de la cirugía.</p>	<p>Fuerza flexores y extensores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Actividad muscular/EMG - Fuerza media ejercida - Fuerza media ejercida durante la mitad del 	<p><u>GWBV vs GC</u></p> <p>Actividad muscular/EMG: \uparrow</p> <p>Fuerza media ejercida: \uparrow</p>

Edad (media ± DE): 29,7 ± 7,8 años

Altura (media ± DE): 174,1 ± 7,7 cm

Peso (media ± DE): 72 ± 7,6 kg

GC (n = 10):

Edad (media ± DE): 26,8 ± 5,2 años

Altura (media ± DE): 175,2 ± 8,3 cm

Peso (media ± DE): 73,2 ± 7,9 kg

GWBV: programa de rehabilitación + tratamiento con WBV 2 semanas (1 sesión/día con 5 series de 1 minuto y 1 minuto de descanso entre series) frecuencia 30 Hz. Posición: flexión de rodilla 25°.

GC: programa de rehabilitación + entrenamiento isométrico con WBV apagado 2 semanas (10 sesiones espaciadas)

segundo de contracción

Fuerza media ejercida durante la mitad del segundo de contracción: ↑*

Troy Blackburn et al. (18), (2021) Estados Unidos	Ensayo cruzado de medidas repetidas	n = 24 pacientes con reconstrucción de LCA → (9 ♂ y 15 ♀)	Vibración de todo el cuerpo (GWBV), vibración local (GLMV) y protocolo estándar de ejercicios (GC)	Fuerza extensores: <ul style="list-style-type: none">- Pico de torque- Tasa de desarrollo de torque- Amplitud EMG: vasto medial y vasto lateral	<u>GWBV vs GC</u>
		Edad (media ± DE): 22 ± 4 años			Amplitud EMG: <ul style="list-style-type: none">- Vasto medial: ↑- Vasto lateral: ↔
		Tiempo desde la reconstrucción (media ± DE): 50 ± 41 meses	GWBV: bipedestación 6 series de 1 minuto con 2 minutos de descanso entre series frecuencia 30 Hz		<u>GLMV vs GC</u>
					Pico de torque: ↑*
					Tasa de desarrollo de torque: ↔
					Amplitud EMG:

GLMV: bipedestación 6 series de 1 minuto con 2 minutos de descanso entre series frecuencia 30 Hz

- Vasto medial: ↔
- Vasto lateral: ↔

GC: bipedestación 6 series de 1 minuto con 2 minutos de descanso entre series con WBV apagado

Abreviaturas: ↔: sin cambio significativo; ↑: incremento no significativo; ↓: disminución no significativa; ↑*: incremento significativo; ↓*: disminución significativa; GWBV: grupo plataforma vibratoria; GLMV: grupo vibración local; GC: grupo control; WBV: plataforma vibratoria; LMV: vibración local; EMG: actividad electromiográfica; LCA: ligamento cruzado anterior; ROM: rango de movimiento

6. DISCUSIÓN

El objetivo de esta revisión sistemática ha sido evaluar críticamente la eficacia comparativa del entrenamiento sobre plataformas vibratorias (GWBV) en comparación con un protocolo de ejercicios estándar (GC) en la mejora de fuerza en adultos físicamente activos.

Para ello, se seleccionaron siete estudios (12-18) que cumplieran los criterios de inclusión para esta investigación. En general, no se observó que los participantes que utilizaron las plataformas vibratorias experimentaran mejoras significativas en los parámetros de fuerza (pico de torque y actividad electromiográfica) en comparación con el tratamiento habitual en fisioterapia.

6.1 Parámetros de fuerza

La fuerza es una de las principales capacidades que se pierde en pacientes sometidos a una reconstrucción del ligamento cruzado anterior, por lo que es una prioridad durante el periodo de rehabilitación en fisioterapia. La ganancia de fuerza es esencial para mejorar la estabilidad de la rodilla, controlar los movimientos, facilitar el retorno a la actividad deportiva y prevenir lesiones secundarias. Es un componente clave en el proceso de recuperación y ayuda a los pacientes a recuperar su función y rendimiento óptimos para la vuelta al deporte (20).

La dinamometría isocinética se considera el gold estándar en las pruebas de medición de fuerza ya que permite medir la fuerza muscular en diferentes ángulos de movimiento y velocidades de contracción, lo que proporciona información detallada sobre la capacidad de un músculo para generar fuerza de manera controlada y precisa. Es particularmente útil para evaluar la asimetría muscular, identificar déficits de fuerza y monitorizar el progreso en la rehabilitación de lesiones musculares y articulares (21).

En este sentido, todos los artículos incluidos en esta revisión evaluaron diferentes parámetros de fuerza antes y después de recibir la intervención con plataformas vibratorias, respecto al grupo control.

Cuatro estudios evaluaron el pico de torque (13,14,16,18), es decir, el valor de fuerza o torque producido por un músculo o grupo muscular durante una contracción muscular máxima. Es una medida importante en la evaluación de la fuerza y es especialmente relevante en la rehabilitación de lesiones y en la evaluación del progreso durante un programa de entrenamiento de fuerza (20,21). Constantino et al. (13), experimentaron un aumento significativo tanto en flexores como en extensores de rodilla en este parámetro respecto al grupo control, resultado similar a los estudios de Troy Blackburn et al. (18) y Pamukoff et al. (16) en el que también hubo un aumento, pero no significativo en el pico de torque de los músculos extensores. Sin embargo, da Costa et al. (14) no obtuvo diferencias respecto al grupo control, también en extensores, después de una sesión de WBV.

Las variaciones de frecuencia, que variaron desde los 26 Hz hasta los 50 Hz (13,14), el protocolo de aplicación y el momento en el que se aplicó la intervención con WBV a los pacientes, podría explicar en cómo divergen los resultados obtenidos en los distintos estudios.

Berchin et al. (12) evaluaron la fuerza isométrica e isocinética en la que no se obtuvo diferencias respecto al grupo control tanto para flexores como para extensores de rodilla, que podría explicarse por ser el único estudio de los siete seleccionados en el que el grupo control realiza un programa de fortalecimiento habitual, sin utilizar la WBV apagada, como en todos los demás estudios (13-18).

La electromiografía, que es una técnica que se utiliza para medir y analizar la actividad bioeléctrica de los músculos mediante el uso de electrodos colocados en la superficie de la piel o a través de electrodos intramusculares, permite detectar y registrar los potenciales de acción musculares, proporcionando información sobre la activación, coordinación y función de los músculos (22). Este parámetro, evaluado en cuatro estudios (14,16-18), mientras que da Costa et al. (14) no informó de resultados mejores, los demás (16-18) sí obtuvieron un aumento de la amplitud electromiográfica con respecto al grupo control.

La principal diferencia entre estos estudios es el tiempo transcurrido desde la reconstrucción del ligamento, siendo mucho menor en el estudio de da Costa et al. (14) siendo de entre 15 y 19 semanas, mientras que en los otros estudios varía de los 9 a los 91 meses (16,18). Esto podría significar que una aplicación más temprana (14) de la WBV proporciona mejores resultados que una aplicación tardía para este parámetro (16,18).

Finalmente, otros parámetros como la potencia máxima de flexores y extensores, evaluada por Constantino et al. (13) obtuvo una mejora significativa en comparación con el grupo control. La tasa de desarrollo de torque, medida en otros estudios (15,16,18), también mejoró en los estudios de Pamukoff et al. (15) y Troy Blackburn et al. (18), especialmente la tasa de desarrollo de torque temprana en los músculos extensores. Sin embargo, no se obtuvo diferencias significativas en el estudio de Pamukoff et al. (16).

Todas estas mejoras se pueden explicar con cómo los músculos responden a la vibración, es decir, mediante contracciones y estiramientos automáticos. El estímulo mecánico generado por la plataforma vibratoria produce un reflejo de estiramiento y contracción en los músculos de 30 a 60 veces por segundo, lo que resulta en una contracción muscular continua (23).

Los movimientos oscilatorios sinusoidales generados por la plataforma vibratoria se transmiten a todo el cuerpo, lo que aumenta la carga gravitacional a la que se somete el sistema neuromuscular. Esto provoca que los músculos trabajen para vencer la fuerza de la gravedad.

Al entrar en contacto con la plataforma vibratoria, el estímulo mecánico de la vibración se transmite a lo largo del cuerpo, lo que activa diversos receptores cutáneos y sensoriales musculares, que incluyen los husos musculares que detectan los cambios en la longitud y velocidad de estiramiento muscular y los órganos tendinosos de Golgi que responden a la tensión y la carga en los tendones (1,6,7).

Se desencadena un reflejo tónico vibratorio que es responsable de la contracción y relajación muscular e implica una respuesta automática en los músculos, que se contraen y se relajan en sincronía con la vibración. Este a su vez desencadena una serie de respuestas neuromusculares, incluida la estimulación de las unidades motoras, la mejora de la coordinación muscular y la modulación de la activación muscular. Estas respuestas contribuyen al fortalecimiento y acondicionamiento muscular, así como a la mejora de la estabilidad y el equilibrio (1,6,7,23).

En resumen, al entrar en contacto con la plataforma vibratoria, la vibración mecánica activa los receptores sensoriales musculares, desencadenando un reflejo tónico vibratorio que resulta en la contracción y relajación muscular. Este fenómeno subyacente proporciona una base para los efectos terapéuticos y de fortalecimiento muscular asociados con el uso de la terapia de vibración en la práctica clínica y el entrenamiento deportivo.

6.2 Parámetros neuromusculares

Únicamente en dos de los siete estudios incluidos en esta revisión (12,14) midieron parámetros que no fueran de fuerza, es decir, parámetros neuromusculares y únicamente Berschin et al. (12) tuvo también en cuenta algunos parámetros clínicos.

En cuanto al equilibrio y control postural (12) y a la oscilación del centro de presiones (14) se obtuvo resultados divergentes. En el primer caso, sí se obtuvo una mejora significativa en estos parámetros neuromusculares mientras que, en el segundo caso, los resultados se mantuvieron similares respecto al grupo control.

Esta diferencia puede deberse a la clara variación de frecuencias utilizadas en ambos estudios, partiendo de los 10 Hz y ascendiendo hasta los 30 Hz (12) mientras que Constantino et al. (14) mantuvo una frecuencia de 50 Hz durante toda la intervención.

Las mejoras en el equilibrio y el control postural pueden ser atribuidas a los movimientos oscilatorios proporcionados por las plataformas vibratorias. Estas vibraciones mecánicas generan múltiples y repetitivas situaciones de inestabilidad, lo que promueve el proceso de aprendizaje motor. La aplicación de vibraciones mecánicas conduce a la adaptación de los reflejos neuromusculares, lo que resulta en un control más eficiente de los procesos de vibración desde un punto de vista mecánico. A medida que los individuos se exponen regularmente a las vibraciones mecánicas, su sistema nervioso y muscular se adaptan y aprenden a responder de manera más eficiente para mantener el equilibrio y estabilizar el cuerpo (23).

6.3 Limitaciones

Es importante interpretar los resultados de esta revisión sistemática con precaución. Aunque se utilizaron cinco bases de datos reconocidas: PubMed (Medline), Biblioteca Cochrane, Scopus, PEDro (Physiotherapy Evidence Database) y Web of Science; la inclusión de más fuentes de datos podría haber ampliado la cantidad de literatura incluida en la revisión. Además, aunque los términos de búsqueda fueron amplios, una estrategia de búsqueda más extensa podría haber arrojado resultados diferentes, lo que significa que es posible que no se hayan identificado todos los estudios relevantes.

Dentro de los estudios incluidos, se encontraron limitaciones en cuanto al diseño del estudio, la heterogeneidad de los protocolos de WBV, la variabilidad en los grupos de control y las características de las cohortes. Esta heterogeneidad dificulta la comparación entre estudios y la interpretación de los efectos de la WBV. Además, los ensayos incluidos tenían tamaños de muestra pequeños y muestras heterogéneas, y en algunos casos, no se proporcionaron datos demográficos detallados.

Teniendo en cuenta estas limitaciones, se recomienda precaución al interpretar los resultados y se sugiere que se realicen más investigaciones en esta área para abordar las limitaciones identificadas y obtener una comprensión más sólida de los efectos y beneficios potenciales de la WBV en la práctica clínica y el rendimiento deportivo.

Debido a la variabilidad en los protocolos de vibración de cuerpo entero, es necesario realizar más investigaciones con el fin de identificar el protocolo óptimo que se debe emplear en pacientes con rotura del LCA para la mejora de los parámetros de fuerza y la función neuromuscular.

En la literatura actual, existen diferentes enfoques en cuanto a la duración, frecuencia, amplitud y posición del cuerpo durante la terapia de vibración. Estas variaciones pueden influir en los resultados y en la efectividad de la intervención de los pacientes con reconstrucción de LCA.

7. CONCLUSIONES

Se describen las siguientes conclusiones para la eficacia comparativa del entrenamiento sobre plataformas vibratorias frente a un protocolo de ejercicios estándar:

- En cuanto al pico de torque, se observaron resultados diversos en los estudios analizados. Algunos informaron un aumento significativo de la fuerza en los músculos flexores y extensores de rodilla, mientras que otros no encontraron diferencias significativas respecto al grupo control. La variación en los protocolos de aplicación de las plataformas vibratorias y el tiempo transcurrido desde la reconstrucción del LCA pueden influir en los resultados obtenidos.
- Los estudios evaluados mostraron resultados positivos en cuanto a un aumento en la amplitud electromiográfica en los grupos que recibieron intervención con plataformas vibratorias. Sin embargo, la heterogeneidad en los tiempos transcurridos desde la reconstrucción del LCA puede influir en los resultados.
- Otros parámetros evaluados, como la potencia máxima y la tasa de desarrollo de torque, también mostraron mejoras significativas en algunos estudios. Sin embargo, se observó cierta variabilidad en los resultados, lo que podría estar relacionado con la diversidad en los protocolos de aplicación y la heterogeneidad de las cohortes de los estudios.
- También se observó una mejora significativa en el equilibrio y el control postural después de la intervención con plataformas vibratorias. Sin embargo, los resultados no mostraron diferencias significativas en la oscilación del centro de presiones en comparación con el grupo control. La divergencia en los resultados podría deberse a la variación en las frecuencias utilizadas en los estudios.
- La terapia de vibración mediante el uso de plataformas vibratorias puede ser una estrategia efectiva en la rehabilitación de pacientes con reconstrucción del LCA. Los efectos terapéuticos se atribuyen a la activación de receptores sensoriales musculares y a la inducción de reflejos tónicos vibratorios que promueven la contracción y relajación muscular.

- Se requiere una mayor estandarización de los protocolos de aplicación y una investigación adicional para determinar el momento óptimo de aplicación y maximizar los beneficios en la ganancia de fuerza y la recuperación funcional en esta población.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Seixas A; Sanudo B; Sa-Caputo D; Taiar R; Bernardo-Filho M. Whole-body vibration for individuals with reconstructed anterior cruciate ligament: a systematic review. *BioMed Research International* 2020;(7362069):Epub. 2020.
2. Bonanni R, Cariati I, Romagnoli C, D'Arcangelo G, Annino G, Tancredi V. Whole Body Vibration: A Valid Alternative Strategy to Exercise? *J Funct Morphol Kinesiol*. 3 de noviembre de 2022;7(4):99.
3. Cochrane DJ. Vibration Exercise: The Potential Benefits. *Int J Sports Med*. 16 de diciembre de 2010;75-99.
4. Zhang J, Wang R, Zheng Y, Xu J, Wu Y, Wang X. Effect of Whole-Body Vibration Training on Muscle Activation for Individuals with Knee Osteoarthritis. *BioMed Research International*. 27 de marzo de 2021;2021:e6671390.
5. Martínez-Pardo E, Martínez-Ruiz E, Alcaraz PE, Rubio-Arias JA. Efectos de las vibraciones de cuerpo completo sobre la composición corporal y las capacidades físicas en adultos jóvenes físicamente activos. *Nutrición Hospitalaria*. noviembre de 2015;32(5):1949-59.
6. Albasini A, Krause M, Rembitzki IV. Using whole body vibration in physical therapy and sport: clinical practice and treatment exercises. Edinburgh ; New York: Churchill Livingstone/Elsevier; 2010. 202 p.
7. Cardinale M, Bosco C. The Use of Vibration as an Exercise Intervention. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. enero de 2003;31(1):3.
8. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med*. 21 de julio de 2009;6(7):e1000097.
9. Santos CM da C, Pimenta CA de M, Nobre MRC. The PICO strategy for the research question construction and evidence search. *Rev Latino-Am Enfermagem*. junio de 2007;15:508-11.
10. Cabello- "López" JB, por CASPe. Plantilla para ayudarte a entender un Ensayo Clínico. En: CASPe. Guías CASPe de Lectura Crítica de la Literatura Médica. Alicante: CASPe; 2005. Cuaderno I. p.5-8.
11. Moseley AM, Elkins MR, Van der Wees PJ, Pinheiro MB. Using research to guide practice: The Physiotherapy Evidence Database (PEDro). *Braz J Phys Ther*. 2020;24(5):384-91.

12. Berschin G; Sommer B; Behrens A; Sommer H-M. Whole body vibration exercise protocol versus a standard exercise protocol after ACL reconstruction: a clinical randomized controlled trial with short term follow-up [with consumer summary]. *Journal of Sports Science & Medicine* 2014 Sep;13(3):580-589. 2014.
13. Costantino C; Bertuletti S; Romiti D. Efficacy of whole-body vibration board training on strength in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled study. *Clinical Journal of Sport Medicine* 2018 Jul;28(4):339-349. 2018.
14. da Costa KSA; Borges DT; de Brito Macedo L; de Almeida Lins CA; Brasileiro JS. Whole body vibration on performance of quadriceps after ACL reconstruction: a blinded randomized controlled trial. *Journal of Sport Rehabilitation* 2019 Jan;28(1):52-58. 2019.
15. Pamukoff DN, Pietrosimone B, Ryan ED, Lee DR, Brown LE, Blackburn JT. Whole-Body Vibration Improves Early Rate of Torque Development in Individuals With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Strength and Conditioning Research*. noviembre de 2017;31(11):2992-3000.
16. Pamukoff DN; Pietrosimone B; Lewek MD; Ryan ED; Weinhold PS; Lee DR; Blackburn JT. Whole body and local muscle vibration immediately improves quadriceps function in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2016 Jul;97(7):1121-1129. 2016.
17. Salvarani A, Agosti M, Zanré A, Ampollini A, Montagna L, Franceschini M. Mechanical vibration in the rehabilitation of patients with reconstructed anterior cruciate ligament. *Europa Medicophysica*. 2003;39(1):19-25.
18. Troy Blackburn J, Dewig DR, Johnston CD. Time course of the effects of vibration on quadriceps function in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Electromyogr Kinesiol*. febrero de 2021;56:102508.
19. Higgins JPT, Altman DG, Gøtzsche PC, Jüni P, Moher D, Oxman AD, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*. 18 de octubre de 2011;343:d5928.
20. Buckthorpe M, La Rosa G, Villa FD. RESTORING KNEE EXTENSOR STRENGTH AFTER ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION: A CLINICAL COMMENTARY. *Int J Sports Phys Ther*. febrero de 2019;14(1):159-72.
21. Simpson D, Ehrensberger M, Nulty C, Regan J, Broderick P, Blake C, et al. Peak torque, rate of torque development and average torque of isometric ankle and elbow contractions show excellent test–retest reliability. *Hong Kong Physiother J*. junio de 2019;39(1):67-76.

22. Gila L, Malanda A, Rodríguez Carreño I, Rodríguez Falces J, Navallas J. Métodos de procesamiento y análisis de señales electromiográficas. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*. 2009;32:27-43.
23. Alguacil IM, Conches MG, Fraile A, Morales M. Vibratory platforms: Neurophysiological bases, physiological effects and therapeutic applications. *Archivos de Medicina del Deporte*. 2009;26(130):119-29.

9. ANEXOS

9.1 Anexo 1 – Ecuaciones de búsqueda

Para ello, se han incluido los términos MeSH (Medical Subject Heading) “Anterior Cruciate Ligament” (ligamento cruzado anterior), “Anterior Cruciate Ligament Reconstruction” (reconstrucción de ligamento cruzado anterior) “Anterior Cruciate Ligament Injuries” (lesiones de ligamento cruzado anterior), en combinación con los operadores booleanos “AND” (y) y “OR” (o).

Además, se han realizado búsquedas con los términos “Whole Body Vibration” (plataforma de vibración), “Whole Body Vibration Training” (entrenamiento en plataforma de vibración), “Whole Body Vibration Exercise” (ejercicio en plataforma de vibración) y “Whole Body Vibration Therapy” (terapia en plataforma de vibración), en combinación con “AND”.

Para cada base de datos:

- Búsqueda en PubMed (Medline) = 69 resultados:
 - o whole body vibration AND anterior cruciate ligament = 23
 - o whole body vibration training AND anterior cruciate ligament = 12
 - o whole body vibration exercise AND anterior cruciate ligament = 13
 - o whole body vibration therapy and anterior cruciate ligament = 21
- Búsqueda en PEDro (Physiotherapy Evidence Database) = 29 resultados:
 - o whole body vibration* anterior cruciate ligament* = 11
 - o whole body vibration exercise* anterior cruciate ligament* = 7
 - o whole body vibration training* anterior cruciate ligament* = 7
 - o whole body vibration therapy* anterior cruciate ligament* = 4
- Búsqueda en Biblioteca Cochrane = 61 resultados:
 - o whole body vibration AND anterior cruciate ligament = 27
 - o whole body vibration training AND anterior cruciate ligament = 10
 - o whole body vibration exercise AND anterior cruciate ligament = 11
 - o whole body vibration therapy and anterior cruciate ligament = 13
- Búsqueda en Scopus = 51 resultados:
 - o "whole body vibration" "anterior cruciate ligament" = 34
 - o "whole body vibration training" "anterior cruciate ligament" = 10
 - o "whole body vibration exercise" "anterior cruciate ligament" = 1
 - o "whole body vibration therapy" "anterior cruciate ligament" = 6
- Búsqueda en Web of Science = 258 resultados:
 - o (whole body vibration or vibration exercise or vibration training) AND (anterior cruciate ligament) = 128
 - o (whole body vibration training) AND (anterior cruciate ligament) = 73
 - o (whole body vibration therapy) AND (anterior cruciate ligament) = 57