

IMPACTO DEL ENTRENAMIENTO EN PLATAFORMAS VIBRATORIAS EN LA REHABILITACIÓN POST-QUIRÚRGICA DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA
IMPACT OF VIBRATION PLATFORM TRAINING ON POSTOPERATIVE ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT REHABILITATION. A SYSTEMATIC REVIEW

Gema Santamaría Gómez

Universidad de Valladolid, España

(gema.santamaria@uva.es) (<https://orcid.org/0000-0001-6521-2053>)

Álvaro López-Llorente

Universidad de Valladolid, España

(alvaro.lopez.llorente@estudiantes.uva.es) (<https://orcid.org/0009-0006-6565-9270>)

Evelina Garrosa

Universidad de Salamanca, España

(evelinags17@gmail.com) (<https://orcid.org/0009-0003-5139-2366>)

Diego Fernández-Lázaro

Universidad de Valladolid, España

(diego.fernandez.lazaro@uva.es) (<https://orcid.org/0000-0002-6522-8896>)

Información del manuscrito:

Recibido/Received: 18/11/2024

Revisado/Reviewed: 19/11/2024

Aceptado/Accepted: 21/11/2024

RESUMEN

Palabras clave:

plataforma vibratoria, rehabilitación, ligamento cruzado anterior, vibración a cuerpo entero, fuerza

El objetivo de este estudio fue revisar la evidencia disponible sobre la efectividad del entrenamiento en plataformas de vibración de cuerpo entero (WBV) en comparación con la rehabilitación convencional en la recuperación postquirúrgica del ligamento cruzado anterior (LCA). Siguiendo las directrices "Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-analysis" (PRISMA) se realizó una búsqueda sistemática en las bases de datos PubMed, Cochrane, Scopus, Web of Science y "Physiotherapy Evidence Database" (PEDro) hasta julio de 2024. Se incluyeron todos los ensayos clínicos aleatorizados cuyo grupo intervención realizara WBV postcirugía de LCA. Se comprobó la calidad metodológica mediante la escala CASPe, PEDro y Cochrane. De los 470 registros identificados 7 cumplieron los criterios de selección. En general, a pesar de haber una tendencia a la mejora ($p > 0,05$) de la fuerza respecto al grupo control, no se observaron aumentos significativos. Por otro lado, se encontraron incrementos significativos ($p < 0,05$) del equilibrio y la Escala Lysholm de funcionalidad de la rodilla respecto al grupo control. En conclusión, la terapia de WBV puede constituir una estrategia efectiva en la rehabilitación de pacientes con reconstrucción de LCA, mostrando resultados positivos en la fuerza de la musculatura de la rodilla, el equilibrio, el control postural y la Escala de Lysholm. Además, la WBV ha demostrado ser superior a la rehabilitación convencional en el aumento de la fuerza, equilibrio y la Escala de Lysholm. Sin embargo, no hay consenso sobre la efectividad de ambas terapias en el control postural y la oscilación del centro de presiones.

ABSTRACT

Keywords:

vibration platform, rehabilitation, anterior cruciate ligament, whole body vibration, strength.

The primary aim of the study was to review the available evidence on the effectiveness of whole-body vibration (WBV) training in comparison with conventional rehabilitation in the postoperative recovery of the anterior cruciate ligament (LCA). Following the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines, a systematic search was conducted in the databases PubMed, Cochrane, Scopus, Web of Science and Physiotherapy Evidence Database (PEDro) until July 2024. All randomized clinical trials in which intervention group performed WBV after ACL surgery were included. In order to check the methodological quality of the included studies, the CASPe scale, PEDro scale and the Cochrane bias assessment tool were used. Of the 470 records identified, 7 met the selection criteria. In general, despite there being a trend towards improvement ($p>0,05$) in strength with respect to the control group, no significant increases were observed. On the other hand, the studies found statistically significant ($p<0,05$) increases in balance and the Lysholm Scale compared to the control group. In conclusion, WBV therapy may constitute an effective strategy in the rehabilitation of patients with ACL reconstruction, showing positive results in knee musculature strength, balance, postural control and Lysholm Scale. In addition, WBV has been shown to be superior to conventional rehabilitation in increasing strength, balance and Lysholm Scale. However, there is no consensus on the effectiveness of both therapies on postural control and center of pressure oscillation. Future clinical trials are needed to substantiate the findings of this systematic review.

Introducción

Las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) representan un desafío en el ámbito de la práctica clínica habitual en medicina y fisioterapia deportiva (Kakavas et al., 2020). Estas lesiones son comunes en personas físicamente activas, con una incidencia aproximada de 250.000 lesiones anuales en Estados Unidos (Acevedo et al., 2014). Afectan especialmente a personas que participan en actividades de alta intensidad y cambios bruscos de dirección (Kakavas et al., 2020). En el 70% de los casos el mecanismo lesional es indirecto, dañándose durante acciones de aceleración, desaceleración y giros en los que el pie se queda fijo en el suelo y la rodilla sufre hiperextensión, valgo y rotación interna, suponiendo una tensión excesiva para el LCA (Cimino et al., 2010; Kaeding et al., 2017; Letafatkar et al., 2019). La lesión del LCA produce una alteración en la biomecánica de la rodilla dando lugar a patrones de movimiento anormales e inestabilidad crónica (Lohmander et al., 2007). Con el paso del tiempo esta alteración biomecánica puede derivar en lesiones meniscales y del cartílago articular que originarán al cabo de 15-20 años artrosis (Kaeding et al., 2017; Lohmander et al., 2007). Para evitar estas complicaciones, el 50% de los pacientes se someten a una reconstrucción quirúrgica del LCA para restaurar la estabilidad de la rodilla (Acevedo et al., 2014). Sin embargo, la rehabilitación postquirúrgica es fundamental para garantizar una recuperación completa y efectiva (Diermeier et al., 2021).

Tradicionalmente, la fisioterapia convencional ha sido el pilar de la rehabilitación postquirúrgica del LCA. Este enfoque va dirigido a restaurar la movilidad y la estabilidad articular, fortalecer la musculatura, mejorar la propiocepción y reducir el riesgo de recaídas (Seixas et al., 2020). A pesar de sus buenos resultados, la búsqueda de otros procedimientos de fisioterapia complementarios que puedan acelerar y optimizar la rehabilitación, sigue siendo una prioridad en la investigación de esta lesión. En este contexto, las plataformas vibratorias que permiten la vibración a cuerpo completo (WBV), han surgido como una herramienta potencialmente eficaz en la rehabilitación musculoesquelética (Van Heuvelen et al., 2021). La WBV es una modalidad de ejercicio en el que los sujetos están expuestos a vibraciones mecánicas por medio de una plataforma, que pueden ser verticales o laterales y alternas o basculantes (Oroszi et al., 2020). Se ha observado que la WBV puede mejorar la activación de las fibras musculares rápidas y la fuerza de la musculatura de la extremidad inferior (Annino et al., 2017; Cardinale y Bosco, 2003; Zhang et al., 2021), siendo esencial recuperar la fuerza de la musculatura extensora de rodilla tras la reconstrucción del LCA (Sogut et al., 2022). Adicionalmente, la WBV parece ser beneficiosa en la mejora del equilibrio, la propiocepción y la estabilidad articular (Sierra-Guzmán et al., 2018), efectos particularmente importantes para la recuperación del LCA, dado que la estabilidad y el control neuromuscular son imprescindibles para el retorno seguro a las actividades deportivas (Kakavas et al., 2020). Las propiedades de la WBV se fundamentan en que la vibración proporciona un estímulo sensorial específico que desencadena respuestas neuromusculares y musculoesqueléticas, a través del reflejo de estiramiento (Seixas et al., 2020). Así, se ha reportado que los cambios agudos en la producción motora están relacionados con un aumento en la sensibilidad de los husos musculares (Seixas et al., 2020).

La comprensión de los efectos y la aplicación de las plataformas vibratorias en la rehabilitación de LCA podría tener un impacto significativo en la práctica clínica y mejorar los resultados de los pacientes, ofreciendo una recuperación más rápida y efectiva. Además, podría traducirse en una menor incidencia de la recidiva lesional, mejor calidad de vida y reducción de los costes asociados a tratamientos prolongados. Por todo lo anterior, el objetivo de esta investigación fue revisar sistemáticamente la evidencia

científica disponible sobre la efectividad del tratamiento sobre WBV en parámetros de fuerza y neuromusculares en adultos físicamente activos en la rehabilitación postquirúrgica del LCA. De forma complementaria se revisó la efectividad de la WBV en comparación con la rehabilitación tradicional en la rehabilitación postquirúrgica del LCA.

Método

Estrategia de búsqueda

Para la selección de estudios se efectuó una búsqueda estructurada utilizando las bases de datos electrónicas Medline (PubMed), Cochrane, Scopus, “Physiotherapy Evidence Database” (PEDro) y “Web of Science” hasta julio de 2024. La búsqueda se ha llevado a cabo siguiendo las pautas metodológicas “Preferred Reporting Item Guidelines for Systematic Reviews and Meta-Analyses” (PRISMA) (Page et al., 2021) y el modelo de preguntas PICOS de la siguiente manera: P (población): adultos (≥ 18 años) físicamente activos intervenidos quirúrgicamente tras sufrir una lesión del LCA. I (intervención): WBV durante el período de recuperación postoperatoria. C (comparación): rehabilitación convencional o tratamiento placebo. O (resultados): parámetros de fuerza (pico de torque, amplitud electromiográfica, fuerza 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 aleatorizados.

La estrategia de búsqueda contenía una combinación de “Medical Subject Headings” (MeSH) y palabras libres para conceptos clave relacionados que incluían: (“Anterior Cruciate Ligament” OR “Anterior Cruciate Ligament Reconstruction” OR “Anterior Cruciate Ligament Injuries”) AND (“Whole Body Vibration” OR “Whole Body Vibration Training” OR “Whole Body Vibration Exercise” OR “Whole Body Vibration Therapy”). Dos autores realizaron de forma independiente la búsqueda en las 5 bases de datos y un tercer revisor resolvió los desacuerdos. Todos los estudios obtenidos fueron comparados con el fin de delimitar lo máximo posible la búsqueda y evitar la repetición de estudios. Adicionalmente, se revisaron las referencias bibliográficas de los estudios incluidos y de parte de los excluidos con el objetivo de identificar títulos relevantes que pudieran haber pasado desapercibidos con la estrategia de búsqueda.

Criterios de selección

Para la selección de artículos se establecieron los siguientes criterios de inclusión: 1) pacientes físicamente activos (≥ 18 años) intervenidos quirúrgicamente tras sufrir una lesión del LCA; 2) tratamiento con WBV durante la rehabilitación postoperatoria; 3) comparación con un grupo que reciba rehabilitación convencional (sin vibración) o tratamiento placebo; 4) registros originales (no se tendrán en cuenta metaanálisis, revisiones y editoriales); 5) información precisa del protocolo de WBV (tiempo de uso, frecuencia, vibración etc.); 6) reportar resultados primarios o secundarios relacionados con parámetros de fuerza (pico de torque, amplitud electromiográfica, fuerza isométrica e isocinética, potencia máxima y tasa de desarrollo de torque) y/o parámetros neuromusculares (equilibrio, control postural y oscilación del centro de presiones); 7) obtener una puntuación superior a seis en el cuestionario “Critical Appraisal Skills Programme español” (CASPe) (Cabello, 2021) y la escala PEDro (Moseley et al., 2020); 8) publicaciones en español, inglés, italiano, francés y portugués.

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

Extracción y síntesis de datos

De cada ensayo incluido en la revisión se extrajo la siguiente información: Apellido del primer autor, año de publicación, país donde se realizó el estudio, diseño, tamaño muestral, sexo, edad, estatura, peso corporal, pérdidas, intervención en el grupo control (GC) y en el grupo intervención (GI), parámetros evaluados y resultados obtenidos. Dos investigadores realizaron el proceso de extracción de datos con ayuda de una hoja de cálculo. En caso de desacuerdos, un tercer revisor participó en el proceso.

Evaluación de la calidad metodológica

Se procedió a una lectura crítica de los artículos seleccionados para evaluar su calidad metodológica utilizando las escalas PEDro (Moseley et al., 2020) y CASPe (Cabello, 2021). Adicionalmente, se evaluó el riesgo de sesgo utilizando la herramienta Cochrane (Higgins et al., 2011).

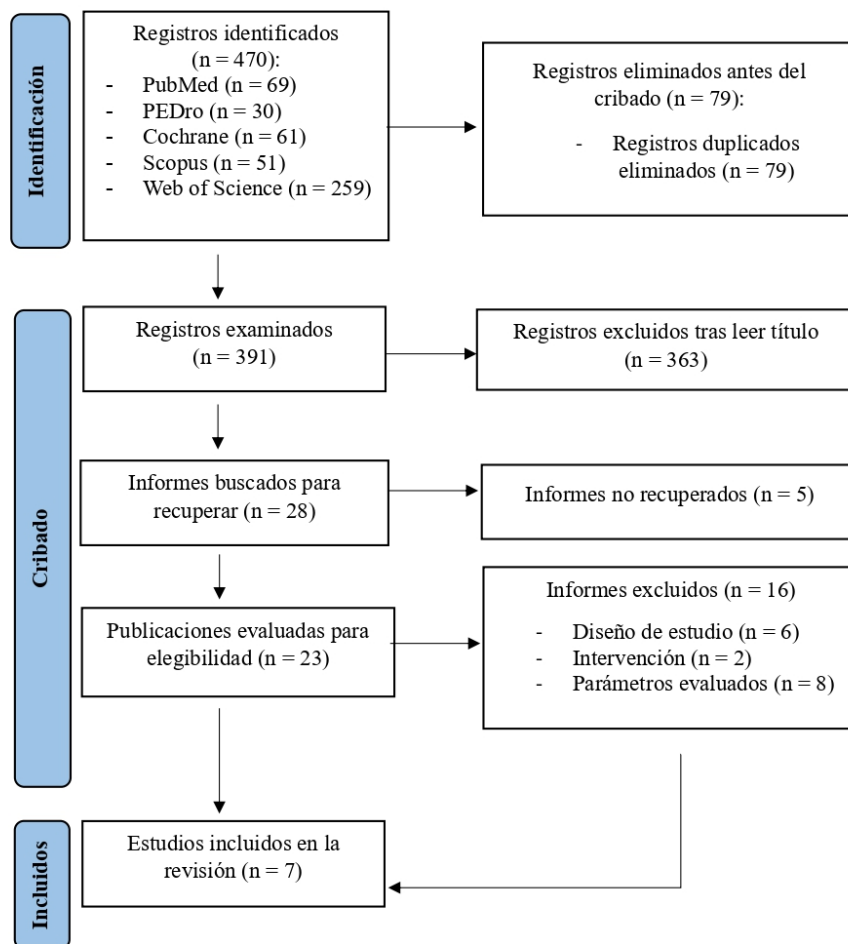
Resultados

Selección de estudios

La búsqueda bibliográfica resultó en un total de 470 estudios, 69 procedían de Medline (PubMed), 30 de PEDro, 61 de Cochrane, 51 de Scopus y 259 de Web of Science. Tras la eliminación de duplicados (n=79) se analizó el título y resumen de los 391 estudios restantes, eliminándose 363 por no cumplir los criterios de selección. En una segunda fase, se evaluaron 28 estudios a texto completo, descartándose 21 por no tener acceso al texto completo (n=5), no ser ensayos clínicos (n=6), no tratar la lesión de LCA con WBV (n=2) y no evaluar parámetros de fuerza o neuromusculares (n=8). Así mismo, se revisaron las referencias bibliográficas de los artículos incluidos y de parte de los excluidos con el objetivo de encontrar estudios adicionales relevantes, pero no hubo resultados. Por lo tanto, se incluyeron un total de 7 artículos (Berschlin et al., 2014; Blackburn et al., 2021; Costantino et al., 2018; da Costa et al., 2019; Pamukoff et al., 2016, 2017; Salvarani et al., 2003) que cumplieron todos los criterios de selección establecidos (Figura 1).

Figura 1

Diagrama de flujo que ilustra el proceso de identificación y selección de estudios incluidos en esta revisión, siguiendo las directrices establecidas por "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses" (PRISMA) (Page et al., 2021)



Evaluación de la calidad metodológica

En la Tabla 1 se detallan las puntuaciones obtenidas en el cuestionario CASPe. Todos los estudios obtuvieron una puntuación igual o mayor a 9 (Berschin et al., 2014; Blackburn et al., 2021; Costantino et al., 2018; da Costa et al., 2019; Pamukoff et al., 2016, 2017; Salvarani et al., 2003). Solo Costantino et al. (2018) obtuvo la puntuación máxima. Las principales deficiencias en cuanto a la calidad metodológica se han encontrado en los ítems de cegamiento (Berschin et al., 2014; Blackburn et al., 2021; Salvarani et al., 2003), grupos similares al comienzo del estudio (da Costa et al., 2019; Salvarani et al., 2003), gran efecto del tratamiento (Berschin et al., 2014; da Costa et al., 2019; Pamukoff et al., 2016, 2017) y aplicabilidad a tu medio o población local (Pamukoff et al., 2016, 2017).

Respecto al cuestionario de calidad metodológica PEDro, todos los artículos seleccionados han obtenido una puntuación igual o superior a 6 (Berschin et al., 2014; Blackburn et al., 2021; Costantino et al., 2018; da Costa et al., 2019; Pamukoff et al., 2016, 2017; Salvarani et al., 2003). La puntuación más alta fue obtenida por el estudio de Costantino et al. (2018) con 11 puntos, en contraste con Salvarani et al. (2003) que tuvieron la puntuación más baja, con 6 puntos. Todos los estudios cumplieron los ítems de asignación aleatoria, seguimiento mínimo del 85%, análisis de datos por intención de

tratar, comparación estadística entre grupos y medidas puntuales y de variabilidad (Tabla 2).

Tabla 1

Calidad metodológica de los artículos incluidos en la revisión sistemática según el cuestionario CASPe

PRIMER AUTOR, AÑO DE PUBLICACIÓN Y PAÍS	ÍTEMS											Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Berschlin et al. (2014), Alemania	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	95% IC $p < 0,05$	SÍ	SÍ	SÍ	9
Costantino et al. (2018), Italia	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	95% IC $p < 0,05$	SÍ	SÍ	SÍ	11
da Costa et al. (2019), Brasil	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	95% IC $p < 0,05$	SÍ	SÍ	SÍ	9
Pamukoff et al. (2017), EEUU	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	95% IC $p < 0,05$	NO	SÍ	SÍ	9
Pamukoff et al. (2016), EEUU	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	95% IC $p < 0,05$	NO	SÍ	SÍ	9
Salvarani et al. (2003), Italia	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	95% IC $p < 0,05$	SÍ	SÍ	SÍ	9
Blackburn et al. (2021), EEUU	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	95% IC $p < 0,05$	SÍ	SÍ	SÍ	10

Nota. IC=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

Calidad metodológica de los artículos incluidos en la revisión sistemática según el cuestionario PEDro

PRIMER AUTOR, AÑO DE PUBLICACIÓN Y PAÍS	ÍTEMS											Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Berschlin et al. (2014), Alemania	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	8
Costantino et al. (2018), Italia	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	11
da Costa et al. (2019), Brasil	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	8
Pamukoff et al. (2017), EEUU	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	9
Pamukoff et al. (2016), EEUU	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	9
Salvarani et al. (2003), Italia	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6
Blackburn et al. (2021), EEUU	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	7

Nota. 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; 11=Medidas puntuales y de variabilidad.

Evaluación del riesgo de Sesgo

Para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios seleccionados se ha utilizado la herramienta de evaluación de sesgos de Cochrane (Higgins et al., 2011) quedando representada en la Tabla 3 y Figura 2. Los 7 estudios mostraron un bajo riesgo en los ítems de generación de secuencias aleatorias, seguimiento incompleto, notificación selectiva de los resultados y otros sesgos (Berschin et al., 2014; Blackburn et al., 2021; Costantino et al., 2018; da Costa et al., 2019; Pamukoff et al., 2016, 2017; Salvarani et al., 2003). Sin embargo, coincidiendo con lo encontrado en las escalas de PEDro y CASPe, el riesgo de sesgo por cegamiento de los participantes y evaluadores fue alto en 5 (Berschin et al., 2014; Blackburn et al., 2021; Pamukoff et al., 2016, 2017; Salvarani et al., 2003) y 4 estudios respectivamente (Berschin et al., 2014; Blackburn et al., 2021; da Costa et al., 2019; Salvarani et al., 2003).

Figura 2

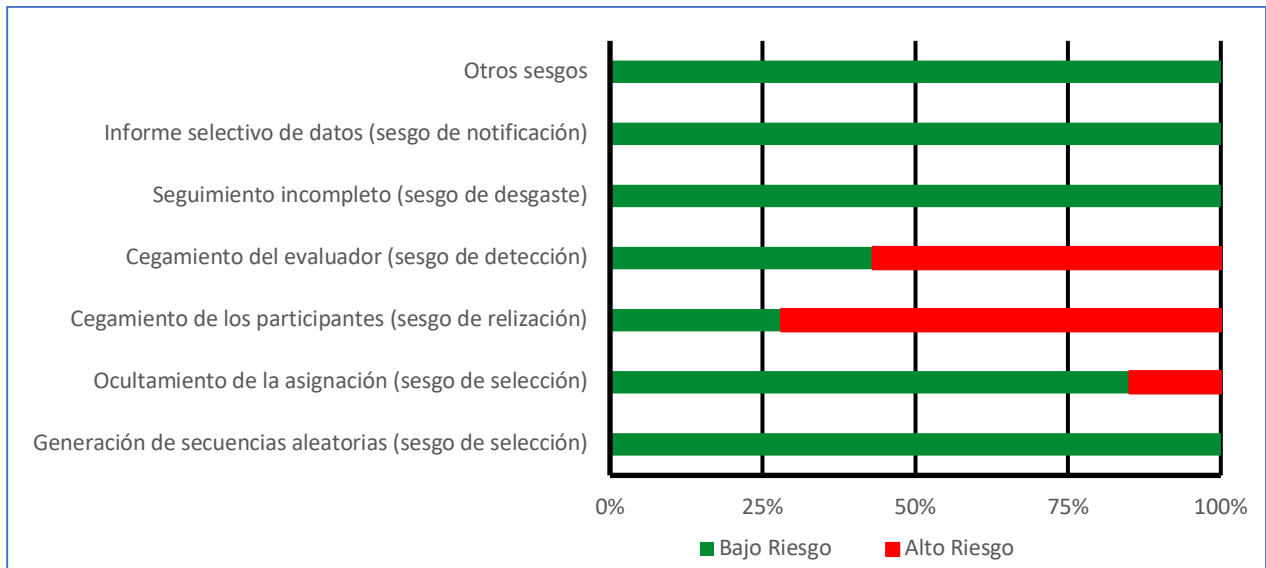
Evaluación de los sesgos de los artículos incluidos en la revisión sistemática según la herramienta de Cochrane

PRIMER AUTOR, AÑO DE PUBLICACIÓN Y PAÍS	1	2	3	4	5	6	7
Berschin et al. (2014), Alemania							
Costantino et al. (2018), Italia							
da Costa et al. (2019), Brasil							
Pamukoff et al. (2017), EEUU							
Pamukoff et al. (2016), EEUU							
Salvarani et al. (2003), Italia							
Blackburn et al. (2021), EEUU							

Nota. "+": sesgo de bajo riesgo; "-": alto riesgo de sesgo; "?": incertidumbre acerca del potencial de sesgo o falta de información al respecto; T: total de ítems cumplidos por estudio. 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=notificación selectiva de los resultados; 7=Otros sesgos.

Figura 3

Problemas encontrados en el riesgo de sesgo evaluado con la herramienta Cochrane



Características de los participantes e intervenciones

Un total de 207 participantes (111 ♂ y 96 ♀) de entre 20 y 30 años fueron reclutados al inicio del estudio. Solamente un participante no fue evaluado al final del estudio por no haber completado la intervención (Costantino et al., 2018). Los participantes eran personas físicamente activas que sufrieron una lesión del LCA y fueron sometidos a cirugía con un autoinjerto del tendón rotuliano (Berschlin et al., 2014; Blackburn et al., 2021; Costantino et al., 2018; Pamukoff et al., 2016, 2017; Salvarani et al., 2003), del tendón isquiotibial (Blackburn et al., 2021; Pamukoff et al., 2016, 2017) o un aloinjerto (Blackburn et al., 2021; Pamukoff et al., 2016, 2017). Todos los estudios incluyeron tanto a mujeres como a hombres, excepto Costantino et al. (2018) que evaluó únicamente mujeres y da Costa et al. (2019) que solo estudió a hombres (Tabla 4).

En todos los estudios se comparó el efecto de procedimientos de fisioterapia convencional de forma aislada con el efecto de la fisioterapia convencional combinada con la WBV (Berschlin et al., 2014; Blackburn et al., 2021; Costantino et al., 2018; da Costa et al., 2019; Pamukoff et al., 2016, 2017; Salvarani et al., 2003). Los procedimientos de fisioterapia convencional incluían métodos como cinesiterapia pasiva, electroestimulación nerviosa transcutánea (TENS), estiramientos, fortalecimiento de flexores y extensores de rodilla y cadera, propiocepción y ejercicio aeróbico. De forma complementaria Pamukoff et al. (2016,2017) y Blackburn et al. (2021) compararon con un tercer grupo que recibió vibración localizada en la zona del tendón cuadriceps. La duración de la intervención varió de 11 semanas (Berschlin et al., 2014) a 1 semana (Blackburn et al., 2021). La frecuencia semanal fue de 5 sesiones (Salvarani et al., 2003) a 1 sesión (Blackburn et al., 2021) con una duración de 40 (Berschlin et al., 2014) a 10 minutos (Salvarani et al., 2003). Se emplearon frecuencias de vibración de 26 Hz (Costantino et al., 2018), 30 Hz (Berschlin et al., 2014; Blackburn et al., 2021; Pamukoff et al., 2016, 2017; Salvarani et al., 2003) y 50 Hz (da Costa et al., 2019). La posición elegida para la vibración fue bipedestación (Berschlin et al., 2014; Blackburn et al., 2021) y sentadilla isométrica (Costantino et al., 2018; da Costa et al., 2019; Pamukoff et al., 2016, 2017; Salvarani et al., 2003) (Tabla 5).

Evaluación de los resultados

Los resultados obtenidos tras las intervenciones han sido reflejados en la Tabla 4.

Fuerza

Los cambios producidos en la fuerza fueron evaluados por los 7 estudios (Berschin et al., 2014; Blackburn et al., 2021; Costantino et al., 2018; da Costa et al., 2019; Pamukoff et al., 2016, 2017; Salvarani et al., 2003). Se analizó la fuerza isométrica (Berschin et al., 2014; Blackburn et al., 2021; da Costa et al., 2019; Pamukoff et al., 2016; Salvarani et al., 2003) e isocinética (Berschin et al., 2014; Costantino et al., 2018; da Costa et al., 2019; Pamukoff et al., 2016, 2017). Los 7 estudios reportaron incrementos de la fuerza respecto a la línea base siendo significativos ($p < 0,05$) en 4 de ellos (Berschin et al., 2014; Costantino et al., 2018; Pamukoff et al., 2016; Salvarani et al., 2003). Mientras que 5 estudios encontraron mejoras respecto al GC (Blackburn et al., 2021; Costantino et al., 2018; Pamukoff et al., 2016, 2017; Salvarani et al., 2003) siendo significativas ($p < 0,05$) solo en 2 de ellos (Costantino et al., 2018; Pamukoff et al., 2016).

La fuerza isocinética de los músculos extensores de rodilla aumentó respecto a la línea base en los 5 estudios que la evaluaron (Berschin et al., 2014; Costantino et al., 2018; da Costa et al., 2019; Pamukoff et al., 2016, 2017) siendo estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en 3 de ellos (Berschin et al., 2014; Costantino et al., 2018; Pamukoff et al., 2016). Sin embargo, solamente Costantino et al. (2018) y Pamukoff et al. (2016) reportaron mejoras significativas ($p < 0,05$) respecto al GC. Por otra parte, todos los estudios que evaluaron la fuerza isométrica de los extensores de rodilla encontraron incrementos respecto a la línea base excepto da Costa et al. (2019). Respecto al GC, solo 3 estudios informaron mejoras (Blackburn et al., 2021; Pamukoff et al., 2016; Salvarani et al., 2003) siendo significativas ($p < 0,05$) las halladas por Pamukoff et al. (2016).

La fuerza de los flexores de rodilla fue evaluada por 4 estudios (Berschin et al., 2014; Costantino et al., 2018; Pamukoff et al., 2016; Salvarani et al., 2003). Tres reportaron mejoras significativas ($p < 0,05$) mientras que Pamukoff et al. (2016) no encontró cambios respecto a la línea base. Respecto al GC, Costantino et al. (2018) y Salvarani et al. (2003) reportaron incrementos ($p < 0,05$) de la fuerza isocinética e isométrica respectivamente, mientras que Berschin et al. (2014) y Pamukoff et al. (2016) no informaron cambios.

Parámetros neuromusculares

Únicamente 2 de los 7 estudios (Berschin et al., 2014; da Costa et al., 2019) evaluaron parámetros neuromusculares. Berschin et al. (2014) reportó incrementos significativos ($p < 0,05$) del equilibrio respecto a la línea base y al GC. Da Costa et al. (2019) encontró mejoras no significativas ($p > 0,05$) de la oscilación del centro de presiones respecto a la línea base que no se extendieron al GC.

Otros parámetros

Berschin et al. (2014) evaluaron el efecto de la WBV en el ROM, cajón anterior y Escala Lysholm. Encontraron mejoras no significativas ($p > 0,05$) respecto a la línea base y no hallaron cambios respecto al GC en el ROM y cajón anterior. No obstante, reportaron mejoras significativas ($p < 0,05$) respecto a la línea base y al GC en la Escala de Lysholm que evalúa la funcionalidad de la rodilla.

Tabla 3

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. (2014), Alemania	Ensayo clínico aleatorizado	<p>$n_i=40$ (29 ♂ y 11 ♀), Qx: autoinjerto con T. rotuliano</p> <p>GC:</p> <p>$n_i= 20$ (15 ♂ y 5 ♀); 0 pérdidas → $n_f=20$</p> <p>Edad (media ± SD): 28 ± 6,8 años</p> <p>IMC (media ± SD): 24,3 ± 2,8 Kg/m²</p> <p>Días desde la lesión hasta la cirugía (media ± SD): 90,7 ± 47,9 días</p> <p>GI_{WBV}:</p> <p>$n_i= 20$ (14 ♂ y 6 ♀); 0 pérdidas → $n_f=20$</p> <p>Edad (media ± SD): 27 ± 4,2 años</p> <p>IMC (media ± SD): 23,2 ± 3,4 Kg/m²</p> <p>Días desde la lesión hasta la Qx (media ± SD): 82,4 ± 39,2 días</p>	<p>GC:</p> <p>Protocolo de rehabilitación tras Qx de LCA (Programa de ejercicios de fortalecimiento de la musculatura de la cadera y rodilla. Trabajo de equilibrio y propiocepción).</p> <p>GI_{WBV}:</p> <p>WBV bipedestación y sentadillas</p>	<p>Fuerza flexores y extensores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Isocinética - Isométrica <p>Neuromusculares:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equilibrio <p>Clínicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ROM activo - Cajón anterior - Lachman - Escala Lysholm 	<p>GI_{WBV}: cambios respecto al inicio</p> <p>↑* Fuerza isocinética e isométrica</p> <p>↑* Equilibrio</p> <p>↑ ROM activo</p> <p>↑ Cajón anterior</p> <p>↑* Lysholm</p> <p style="text-align: center;">GI_{WBV} vs GC</p> <p>↔ Fuerza isocinética e isométrica</p> <p>↑* Equilibrio</p> <p>↔ ROM activo</p> <p>↔ Cajón anterior</p> <p>↔ Lysholm</p>
Costantino et al. (2018), Italia	Ensayo clínico aleatorizado	<p>$n_i = 39$ (39 ♀), Qx: autoinjerto T. rotuliano</p> <p>GC:</p> <p>$n_i= 19$ (19 ♀); 0 pérdidas → $n_f=19$</p> <p>Edad (media ± SD): 25,42 ± 2,39 años</p> <p>IMC (media ± SD): 20,06 ± 1,80 Kg/m²</p>	<p>GC:</p> <p>Protocolo de rehabilitación tras Qx de LCA (Cinesiterapia pasiva, TENS, estiramientos, ejercicios de fortalecimiento de flexores y extensores, propiocepción, ej. aeróbico).</p> <p>Tto placebo en plataforma vibratoria apagada.</p>	<p>Fuerza isocinética flexores y extensores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pico de torque (Peak torque) - Potencia máxima 	<p>GI_{WBV}: cambios respecto al inicio</p> <p>↑* Fuerza isocinética flexores (pico de torque y potencia máxima)</p> <p>↑* Fuerza isocinética extensores (pico de torque y potencia máxima)</p>

		GI_{WBV}:	GI_{WBV}:		GI_{WBV} vs GC
		<p>n_i= 20 (20 ♀); 1 pérdidas → n_f=19</p> <p>Edad (media ± SD): 25,47 ± 2,01 años</p> <p>IMC (media ± SD): 20,29 ± 1,28 Kg/m²</p>	<p>Protocolo de rehabilitación tras Qx de LCA + WBV en posición de sentadilla y sentadilla monopodal (25^º de flexión).</p>		<p>↑* Fuerza isocinética flexores (pico de torque y potencia máxima)</p> <p>↑* Fuerza isocinética extensores (pico de torque y potencia máxima)</p>
da Costa et al. (2019), Brasil	Ensayo clínico aleatorizado ciego	<p>n_i=44 (44 ♂), Qx: no especifica</p> <p>GC:</p> <p>n_i= 22 (22 ♂); 0 pérdidas → n_f=22</p> <p>Edad (media ± SD): 26,8 ± 6,83 años</p> <p>IMC (media ± SD): 26,5 ± 2,96 Kg/m²</p> <p>Tiempo postoperatorio (media ± SD): 17 ± 1,26 semanas</p> <p>GI_{WBV}:</p> <p>n_i= 22 (22 ♂); 0 pérdidas → n_f=22</p> <p>Edad (media ± SD): 28 ± 5,52 años</p> <p>IMC (media ± SD): 27,1 ± 4,49 Kg/m²</p> <p>Tiempo postoperatorio (media ± SD): 16,8 ± 1,55 semanas</p>	<p>GC:</p> <p>Tto placebo en plataforma vibratoria apagada.</p> <p>GI_{WBV}:</p> <p>WBV en posición de sentadilla monopodal (40^º flexión).</p>	<p>Fuerza isocinética extensores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pico de torque - Trabajo total <p>Fuerza isométrica extensores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - EMG (vasto lateral y medial) <p>Neuromuscular:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Oscilación del centro de presiones (A-P y lateral) 	<p>GI_{WBV}: cambios respecto al inicio</p> <p>↑ Fuerza isocinética extensores (pico de torque y trabajo total)</p> <p>↔ Fuerza isométrica extensores</p> <p>↑ Oscilación del centro de presiones A-P</p> <p>↔ Oscilación del centro de presiones lateral</p> <p>GI_{WBV} vs GC</p> <p>↔ Fuerza isocinética extensores (pico de torque y trabajo total)</p> <p>↔ Fuerza isométrica extensores</p> <p>↔ Oscilación del centro de presiones A-P</p> <p>↔ Oscilación del centro de presiones lateral</p>

Pamukoff et al. (2017), EEUU	Ensayo clínico aleatorizado simple ciego	<p>$n_i=20$ (6 ♂ y 14 ♀), Qx: 16 autoinjerto con T. rotuliano, 3 autoinjerto con T. isquiotibial y 1 aloinjerto; 0 pérdidas → $n_r=20$</p> <p>Edad (media ± SD): 21,1 ± 0,5 años</p> <p>Altura (media ± SD): 168,4 ± 4,2 cm</p> <p>Peso (media ± SD): 68,3 ± 6,5 kg</p> <p>Tiempo postoperatorio (media ± SD): 50,6 ± 9,3 meses</p> <p>Los 20 pacientes se asignaron aleatoriamente a los 3 grupos (GI_{WBV}, GI_{LV} y GC); tras la intervención se dejó una semana de descanso y se volvió a asignar a los 20 pacientes en otro grupo y se repitió el proceso una tercera vez.</p>	<p>GC:</p> <p>Sentadilla isométrica (60° de flexión) sin ninguna vibración</p> <p>GI_{WBV}:</p> <p>WBV en posición de sentadilla (60° de flexión)</p> <p>GI_{LV}:</p> <p>Vibración local antero-posterior en el tendón cuadriceps en posición de sentadilla (60° de flexión)</p>	<p>Fuerza isocinética extensores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - RTD temprano - RTD tardío <p>Retraso electromecánico: diferencia de tiempo entre el inicio de la actividad EMG y el inicio del torque</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vasto lateral - Vasto medio - Recto anterior 	<p>GI_{WBV}: cambios respecto al inicio</p> <p>↑* RTD temprano</p> <p>↑ Retraso electromecánico vasto lateral y medial</p> <p>↔ RTD tardío, retraso electromecánico recto anterior</p> <p>GI_{WBV} vs GC</p> <p>↑ RTD temprano</p> <p>↑ Retraso electromecánico vasto lateral y medial</p> <p>↔ RTD tardío, retraso electromecánico recto anterior</p>
Pamukoff et al. (2016), EEUU	Ensayo clínico aleatorizado simple ciego	<p>$n_i=20$ (6 ♂ y 14 ♀), Qx: 16 autoinjerto con T. rotuliano, 3 autoinjerto con t. isquiotibial y 1 aloinjerto; 0 pérdidas → $n_r=20$</p> <p>Edad (media ± SD): 21,1 ± 1,2 años</p> <p>Altura (media ± SD): 168,4 ± 9,5 cm</p> <p>Peso (media ± SD): 68,3 ± 14,9 Kg</p> <p>Tiempo postoperatorio (media ± SD): 50,6 ± 21,3 meses</p> <p>Los 20 pacientes fueron aleatoriamente asignados a uno de los 3 grupos (GI_{WBV}, GI_{LV} y GC) tras la intervención se dejó una semana de descanso y se volvió a asignar a los 20 pacientes en otro grupo y se repitió el proceso una tercera vez.</p>	<p>GC:</p> <p>Sentadilla isométrica (60° de flexión) sin ninguna vibración</p> <p>GI_{WBV}:</p> <p>WBV en posición de sentadilla (60° de flexión)</p> <p>GI_{LV}:</p> <p>Vibración local antero-posterior en el tendón cuadriceps en posición de sentadilla (60° de flexión)</p>	<p>Fuerza isocinética extensores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pico de torque - RTD <p>Fuerza isométrica extensores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amplitud EMG máxima - CAR (Ratio central de activación) <p>Fuerza isométrica flexores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amplitud EMG 	<p>GI_{WBV}: cambios respecto al inicio</p> <p>↑* pico de torque, amplitud EMG extensores, CAR</p> <p>↔ RTD, amplitud EMG flexores</p> <p>GI_{WBV} vs GC</p> <p>↑* Pico de torque, amplitud EMG extensores, CAR</p> <p>↔ RTD, amplitud EMG flexores</p>

Impacto del entrenamiento en plataformas vibratorias en la rehabilitación post-quirúrgica del ligamento cruzado anterior. Una revisión sistemática

Salvarani et al. (2003), Italia	Ensayo clínico aleatorizado	<p>$n_i=20$ (17 ♂, 3 ♀), Qx: autoinjerto con T. rotuliano.</p> <p>GC:</p> <p>$n_i=10$; 0 pérdidas → $n_f=10$</p> <p>Edad (media ± SD): 26,8 ± 5,2 años</p> <p>Altura (media ± SD): 175,2 ± 8,3 cm</p> <p>Peso (media ± SD): 73,2 ± 7,9 kg</p> <p>Tiempo postoperatorio: 1 mes</p> <p>GI_{WBV}:</p> <p>$n_i=10$; 0 pérdidas → $n_f=10$</p> <p>Edad (media ± SD): 29,7 ± 7,8 años</p> <p>Altura (media ± SD): 174,1 ± 7,7 cm</p> <p>Peso (media ± SD): 72 ± 7,6 kg</p> <p>Tiempo postoperatorio: 1 mes</p>	<p>GC:</p> <p>Protocolo de rehabilitación tras Qx de LCA (cinesiterapia pasiva, electroestimulación, estiramientos, crioterapia, isométricos, isotónicos e isocinéticos, propiocepción).</p> <p>Sentadilla isométrica (25° de flexión) sin ninguna vibración</p> <p>GI_{WBV}:</p> <p>Protocolo de rehabilitación tras Qx de LCA + WBV en posición de sentadilla (25° de flexión).</p>	<p>Fuerza isométrica extensores y flexores (EMG vasto medial, bíceps femoral y soleo):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pico de fuerza - Fuerza media - Fuerza durante la mitad del primer segundo 	<p>GI_{WBV}: cambios respecto al inicio</p> <p>↑* Pico de fuerza</p> <p>↑* Fuerza media</p> <p>↑* Fuerza durante la mitad del primer segundo</p> <p>GI_{WBV} vs GC</p> <p>↑* Pico de fuerza</p> <p>↑ Fuerza media</p> <p>↑ Fuerza durante la mitad del primer segundo</p>
Blackburn et al. (2021), EEUU	Ensayo clínico aleatorizado cruzado	<p>$n_i=24$ (9 ♂ y 15 ♀), Qx: 16 autoinjerto con T. rotuliano, 3 autoinjerto con T. isquiotibial y 1 aloinjerto; 0 pérdidas → $n_f=20$</p> <p>Edad (media ± SD): 22 ± 4 años</p> <p>Tiempo postoperatorio (media ± SD): 50 ± 41 meses</p> <p>Los 24 pacientes fueron aleatoriamente asignados a uno de los 3 grupos (GI_{WBV}, GI_{LV} y GC) tras la intervención se dejó una semana de descanso y se volvió a asignar a los 20 pacientes en otro grupo y se repitió el proceso una tercera vez</p>	<p>GC:</p> <p>Bipedestación con ligera flexión sin ninguna vibración</p> <p>GI_{WBV}:</p> <p>WBV en bipedestación con ligera flexión</p> <p>GI_{LV}:</p> <p>Vibración local antero-posterior en el tendón cuadriceps en bipedestación con ligera flexión</p>	<p>Fuerza isométrica extensores (dinamometría):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pico de torque - RTD - Amplitud EMG máxima (vasto lateral y medial) 	<p>GI_{WBV}: cambios respecto al inicio</p> <p>↑* Pico de torque</p> <p>↑RTD, amplitud EMG vasto medial</p> <p>↔Amplitud EMG vasto lateral</p> <p>GI_{WBV} vs GC</p> <p>↑* Pico de torque</p> <p>↑ RTD, amplitud EMG vasto medial</p> <p>↔ amplitud EMG vasto lateral</p>

Nota. ↑: aumento; ↑*: aumento significativo; ↔: ausencia de diferencias entre grupos; ♂: hombre; ♀: mujer; A-P: antero-posterior; EMG: electromiografía; GC: grupo control; GILV: grupo intervención con vibración local; GI_{WBV}: grupo intervención con vibración a cuerpo completo; IMC: índice de masa corporal; kg/m²: kilogramos entre metros al cuadrado; LCA: ligamento cruzado anterior; nf: tamaño muestral final; ni: tamaño muestral inicial; Qx: cirugía; ROM: rango de movimiento; RTD: tasa de desarrollo de torque; SD: desviación estándar; t: tendón; TENS: estimulación eléctrica nerviosa transcutánea; to: tratamiento.

Tabla 4
Características de las intervenciones sobre plataformas vibratorias

Autor, año y país	Ejercicios	Parámetros específicos de la vibración	Volumen e intensidad	Frecuencia (días/semana)	Tiempo (minutos/sesión)	Duración (semanas)	Supervisión
Berschin et al. (2014), Alemania	Sem 2-4: Bipedestación isométrica Sem 5-7: Bipedestación isométrica Sem 8-11: Sentadillas (carga 10% RM)	Sem 2-4: 10-15 Hz Sem 5-7: 30 Hz Sem 8-11: 30 Hz Amplitud: 5-9 mm	Sem 2-4: 2-6 reps de 1 min Sem 5-7: 5 reps de 1,5-2 min Sem 8-11: 5-7 reps de 2 min	3-4	40	11	Sí
Costantino et al. (2018), Italia	Sentadilla isométrica con 25º de flexión de rodilla Sentadilla isométrica monopodal con 25º de flexión de rodilla	Frecuencia: 26 Hz Amplitud: 4mm	6 reps de 1 min 1 min de descanso entre reps y 2 min entre ejercicios	3	No especifica	8	Sí
da Costa et al. (2019), Brasil	Sentadilla isométrica monopodal con 40º de flexión de rodilla	Frecuencia: 50 Hz Amplitud: 4 mm	10 reps de 30 seg 30 seg de descanso	No especifica	No especifica	No especifica	Sí
Pamukoff et al. (2017), EEUU	Sentadilla isométrica con 60º de flexión de rodilla	Frecuencia: 30Hz Aceleración: 2g	6 reps de 60 seg 2 min de descanso entre reps	No especifica	20	No especifica	Sí
Pamukoff et al. (2016), EEUU	Sentadilla isométrica con 60º de flexión de rodilla	Frecuencia: 30Hz Aceleración: 2g	6 reps de 60 seg 2 min de descanso entre reps	No especifica	20	No especifica	Sí
Salvarani, et al. (2003), Italia	Sentadilla isométrica con 25º de flexión de rodilla	Frecuencia: 30Hz	5 reps de 60 seg 1 min descanso entre reps	5	10	2	Sí
Blackburn et al. (2021), EEUU	Bipedestación con ligera flexión de rodilla	Frecuencia: 30Hz Aceleración: 2g	6 reps de 60 seg 2 min de descanso entre reps	1-3 (3 sesiones en total con un descanso de 2-7 días)	20	1-3	Sí

Nota. g: aceleración de la gravedad (9,8m/s²); Hz: hercios; min: minutos; mm: milímetros; RM: repetición máxima; seg: segundos; sem: semana.

Discusión y conclusiones

El objetivo de esta revisión sistemática fue evaluar críticamente la eficacia comparativa del entrenamiento sobre plataformas vibratorias (GIWBV) respecto a un protocolo de ejercicios estándar (GC) en la mejora de fuerza y parámetros neuromusculares en adultos físicamente activos en la rehabilitación postquirúrgica del LCA. Siete estudios cumplieron los criterios de selección y fueron incluidos en la revisión. En general, a pesar de observar una tendencia a la mejora ($p > 0,05$) de la fuerza en los participantes que utilizaron las plataformas vibratorias respecto al GC, no se observaron aumentos estadísticamente significativos (Blackburn et al., 2021; Pamukoff et al., 2017; Salvarani et al., 2003). En relación al equilibrio y la Escala de Lysholm de funcionalidad de la rodilla, se han reportado incrementos estadísticamente significativos ($p < 0,05$) respecto al GC (Berschin et al., 2014).

Parámetros de fuerza

La fuerza es una de las principales capacidades funcionales que se ven comprometidas en pacientes sometidos a una reconstrucción del LCA, por lo que su restauración es una necesidad durante el proceso de rehabilitación. 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, readaptación y ayuda a los pacientes a recuperar su función y rendimiento óptimos para la vuelta a la actividad deportiva (Buckthorpe et al., 2019).

La dinamometría isocinética se considera la prueba gold standard para evaluar de manera objetiva la fuerza muscular ya que permite medir la fuerza muscular en diferentes ángulos de movimiento y velocidades de contracción (Stark et al., 2011). Esta prueba proporciona información detallada sobre la capacidad de un músculo para generar fuerza de manera controlada y precisa. La dinamometría isocinética es particularmente útil para evaluar la asimetría muscular, identificar déficits de fuerza y monitorizar el progreso en la rehabilitación de lesiones musculares y articulares (Montejo et al., 2019). De hecho, todos los artículos incluidos en esta revisión evaluaron diferentes parámetros de fuerza en general. Cuatro estudios evaluaron el pico de torque o “peak torque” en inglés (Blackburn et al., 2021; Costantino et al., 2018; da Costa et al., 2019; Pamukoff et al., 2016), es decir, el valor de fuerza o torque producido por un músculo o grupo muscular durante una contracción muscular máxima. La fuerza de torque es una medida clave 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 (Buckthorpe et al., 2019; Simpson et al., 2019). En el estudio de Costantino et al. (2018) los sujetos experimentaron un aumento significativo tanto en flexores como en extensores de rodilla en este parámetro respecto al GC. Similares resultados obtuvieron Pamukoff et al. (2017) y Blackburn et al. (2021), estudios en los que también hubo un aumento no significativo en el pico de torque de los músculos extensores. Sin embargo, da Costa et al. (2019) no obtuvieron diferencias respecto al GC, también en extensores, después de una sesión de WBV. Las variaciones en el protocolo de aplicación de la frecuencia, desde los 26 Hz hasta los 50 Hz y el momento en el que se aplicó la intervención con WBV a los pacientes, así como la respuesta interindividual de los sujetos podría explicar la divergencia de los resultados obtenidos en los distintos estudios.

La electromiografía es un procedimiento utilizado 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. Esta prueba permite detectar y registrar los potenciales de acción musculares, proporcionando información sobre la activación, coordinación y función de los músculos (Gila et al., 2009). Este parámetro, fue evaluado en cuatro estudios. Salvarani et al. (2003), Pamukoff et al. (2017) y Blackburn et al. (2021) informaron un aumento de la amplitud electromiográfica respecto al GC, mientras que da Costa et al. (2019) no reportó diferencias entre grupos.

La principal diferencia entre estos estudios (Blackburn et al., 2021; da Costa et al., 2019; Pamukoff et al., 2016; Salvarani et al., 2003) es el tiempo transcurrido desde la reconstrucción del ligamento hasta la intervención, siendo mucho menor en el estudio de da Costa et al. (2019) (entre 15 y 19 semanas), que en los estudios de Pamukoff et al. (2016) y Blackburn et al. (2021) varía de los nueve a los 91 meses.

Finalmente, otros parámetros como la potencia máxima de flexores y extensores, evaluada por Costantino et al. (2018) encontró incrementos significativos ($p < 0,05$) en comparación con el GC. La tasa de desarrollo de torque fue evaluada en tres de los estudios seleccionados, obteniendo mejoras Pamukoff et al. (2017) y Blackburn et al. (2021) 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. (2016).

Todas estas mejoras se pueden explicar gracias a la respuesta muscular a la vibración, al realizar 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 (Alguacil et al., 2009). 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. Los husos musculares 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 (Albasini et al., 2010; Cardinale y Bosco, 2003; Seixas et al., 2020).

A continuación, se desencadena un reflejo tónico vibratorio que es el 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 (Albasini et al., 2010; Alguacil et al., 2009; Cardinale y Bosco, 2003; Seixas et al., 2020).

En otras investigaciones no se han obtenido aumento de fuerza en el cuádriceps (Pistone et al., 2016; Rowe et al., 2022). A su vez, en investigaciones en deportistas dirigidas a evaluar programas de WBV tampoco se obtuvieron mejorías respecto al entrenamiento de fuerza convencional (Fernández-Rio et al., 2010).

Parámetros neuromusculares

En cuanto al equilibrio y control postural (Berschin et al., 2014) y a la oscilación del centro de presiones (da Costa et al., 2019) se obtuvieron resultados discrepantes. En cuanto al equilibrio, sí se obtuvo una mejora significativa ($p < 0,05$). En cambio, en la oscilación del centro de presiones, los resultados se mantuvieron similares respecto al GC. Esta diferencia puede deberse a la clara variación de frecuencias utilizadas en ambos estudios, ya que en Berschin et al. (2014) se inició el tratamiento a los 10 Hz y ascendió

hasta los 30 Hz; mientras que da Costa et al. (2019) mantuvo una frecuencia de 50 Hz durante toda la intervención.

Estudios anteriores (Fu et al., 2013; Moezy et al., 2008) observaron mejorías significativas en la estabilidad general y los índices anteroposterior y mediolateral. Sin embargo, el reciente metaanálisis realizado por Rowe et al. (2022) establece que este tipo de terapia no mejora la estabilidad anteroposterior, pero sí puede mejorar la estabilidad general y mediolateral.

Las mejoras en el equilibrio y el control postural podrían ser atribuidas a los movimientos oscilatorios proporcionados por las plataformas vibratorias. Estas vibraciones mecánicas generan múltiples y repetitivas situaciones de inestabilidad, lo que estimula 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 periférico y central y muscular se adaptan y aprenden a responder de manera más eficiente para mantener el equilibrio y estabilizar el cuerpo (Alguacil et al., 2009).

Limitaciones

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 GC y las características de las cohortes. Todo lo cual dificulta la comparación entre estudios y la interpretación de los efectos de la WBV, motivo por el cual no se ha podido realizar metaanálisis. Además, los ensayos incluidos tenían tamaños muestrales pequeños y las muestras eran heterogéneas, y en algunos casos, no se proporcionaron datos demográficos detallados.

Teniendo en cuenta estas limitaciones, se recomienda precaución al interpretar los resultados. Además, a pesar de la popularidad de la WBV como modalidad terapéutica, vista la insuficiente evidencia científica actualmente disponible al respecto, su eficacia no está aun suficientemente demostrada por la falta de protocolos estandarizados (Wang et al., 2020). El planteamiento de protocolos personalizados a las necesidades individuales podría resultar útil en la rehabilitación de trastornos musculoesqueléticos, así como mejorar el rendimiento deportivo (Bonanni et al., 2022).

Se sugiere que se realicen más investigaciones en esta área para obtener una comprensión más sólida de los efectos y beneficios potenciales de la WBV.

Conclusiones

La terapia de WBV, mediante el uso de plataformas vibratorias, puede constituir una estrategia efectiva en la rehabilitación de pacientes con reconstrucción del LCA. La WBV ha demostrado resultados positivos en la fuerza de la musculatura de la rodilla, el equilibrio, el control postural y la Escala de Lysholm de funcionalidad de la rodilla. Además, la WBV ha mostrado ser superior a la rehabilitación convencional en el aumento de la fuerza, equilibrio y Escala de Lysholm. Sin embargo, no hay consenso sobre la efectividad de ambas terapias en el control postural y la oscilación del centro de presiones. Es necesario que futuros ensayos clínicos abalen lo encontrado en esta revisión sistemática.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Grupo Investigador de Neurobiología, Facultad de Medicina, Universidad de Valladolid y a la Catedra Conocimiento e investigación de la Caja Rural de Soria, por haber hecho posible esta revisión.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias

- Acevedo, R., Rivera-Vega, A., Miranda, G. y Micheo, W. (2014). Anterior cruciate ligament injury: identification of risk factors and prevention strategies. *Current Sports Medicine Reports*, 13(3), 186-191. <https://doi.org/10.1249/jsr.0000000000000053>
- Albasini, A., Krause, M. y Rembitzki, I.V. (2010). *Using whole body vibration in physical therapy and sport* (1st ed.). Clinical Practice and Treatment Exercise. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-3173-1.X0001-4>
- Alguacil, M.I., Gómez, M., Fraile, A.M. y Morales, M. (2009). Vibratory platforms: Neurophysiological bases, physiological effects and therapeutic applications. *Archivos de Medicina del Deporte*, 27(130), 119-129. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2967074>
- Annino, G., Iellamo, F., Palazzo, F., Fusco, A., Lombardo, M., Campoli, F. y Padua, E. (2017). Acute changes in neuromuscular activity in vertical jump and flexibility after exposure to whole body vibration. *Medicine*, 96(33), e7629. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000007629>
- Berschin, G., Sommer, B., Behrens, A. y Sommer, H.M. (2014). Whole Body Vibration Exercise Protocol versus a Standard Exercise Protocol after ACL Reconstruction: A Clinical Randomized Controlled Trial with Short Term Follow-Up. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(3), 580. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25177185/>
- Blackburn, T.J., Dewig, D. R. y Johnston, C. D. (2021). Time course of the effects of vibration on quadriceps function in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 56, 102508. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2020.102508>
- Bonanni, R., Cariati, I., Romagnoli, C., D'Arcangelo, G., Annino, G. y Tancredi, V. (2022). Whole Body Vibration: A Valid Alternative Strategy to Exercise? *Journal of functional morphology and kinesiology*, 7(4), 99. <https://doi.org/10.3390/JFMK7040099>
- Buckthorpe, M., LaRosa, G. y Della Villa, F. (2019). Restoring knee extensor strength after anterior cruciate ligament reconstruction: a clinical commentary. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 14(1), 159. <https://doi.org/10.26603/ijsp20190159>
- Cabello, J. (2021). *Lectura crítica de la evidencia clínica* (2nd ed.). Elsevier.
- Cardinale, M. y Bosco, C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exercise and sport sciences reviews*, 31(1), 3-7. <https://doi.org/10.1097/00003677-200301000-00002>
- Cimino, F., Volk, B. y Setter, D. (2010). Anterior cruciate ligament injury: diagnosis, management, and prevention. *American Family Physician*, 82(8), 917-922. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20949884/>

- Costantino, C., Bertuletti, S. y Romiti, D. (2018). 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*, 28(4), 339-349. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000466>
- da Costa, K.S.A., Borges, D.T., Macedo, L.B., Lins, C.A. y Brasileiro, J.S. (2019). Whole-Body Vibration on Performance of Quadriceps After ACL Reconstruction: A Blinded Randomized Controlled Trial. *Journal of Sport Rehabilitation*, 28(1), 52-58. <https://doi.org/10.1123/JSR.2017-0063>
- Diermeier, T., Rothrauff, B., Engebretsen, L., Lynch, A., Svantesson, E., Hamrin, E., Meredith, S., Rauer, T., Ayeni, O., Paterno, M., Xerogeanes, J., Fu, F., Karlsson, J. y Musahl, V. (2021). Treatment after ACL injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *British Journal of Sports Medicine*, 55(1), 14-22. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102200>
- Fernandez-Rio, J., Terrados, N., Fernandez-Garcia, B. y Suman, O. E. (2010). Effects of vibration training on force production in female basketball players. *Journal of strength and conditioning research*, 24(5), 1373-1380. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E3181D1D2B1>
- Fu, C. L. A., Yung, S. H. P., Law, K. Y. B., Leung, K. H. H., Lui, P. Y. P., Siu, H. K. y Chan, K. M. (2013). The effect of early whole-body vibration therapy on neuromuscular control after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *The American journal of sports medicine*, 41(4), 804-814. <https://doi.org/10.1177/0363546513476473>
- Gila, L., Malanda, A., Rodríguez Carreño, I., Rodríguez Falces, J. y Navallas, J. (2009). Métodos de procesamiento y análisis de señales electromiográficas. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 32, 27-43. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272009000600003
- Higgins, J. P. T., Altman, D. G., Gøtzsche, P. C., Juni, P., Moher, D., Oxman, A. D., Savović, J., Schulz, K. F., Weeks, L. y Sterne, J. A. C. (2011). The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*, 343(7829), d5928. <https://doi.org/10.1136/BMJ.D5928>
- Kaeding, C. C., Léger-St-Jean, B. y Magnussen, R. A. (2017). Epidemiology and Diagnosis of Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Clinics in sports medicine*, 36(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/J.CSM.2016.08.001>
- Kakavas, G., Malliaropoulos, N., Pruna, R., Traster, D., Bikos, G. y Maffulli, N. (2020). Neuroplasticity and Anterior Cruciate Ligament Injury. *Indian Journal of Orthopaedics*, 54(3), 275-280. <https://doi.org/10.1007/s43465-020-00045-2>
- Letafatkar, A., Rajabi, R., Minoonejad, H. y Rabiei, P. (2019). Efficacy of perturbation-Enhance neuromuscular training on hamstring and quadriceps onset time, activation and knee flexion during a tuck-jump task. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 14(2), 214-227. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30997274/>
- Lohmander, L. S., Englund, P. M., Dahl, L. L. y Roos, E. M. (2007). The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: osteoarthritis. *The American journal of sports medicine*, 35(10), 1756-1769. <https://doi.org/10.1177/0363546507307396>
- Moezy, A., Olyaei, G., Hadian, M., Razi, M. y Faghizadeh, S. (2008). A comparative study of whole body vibration training and conventional training on knee proprioception

- and postural stability after anterior cruciate ligament reconstruction. *British journal of sports medicine*, 42(5), 373-378. <https://doi.org/10.1136/BJSM.2007.038554>
- Montejo González, J. C., Sánchez-Bayton Griffith, M. y Orejón García, L. (2019). Papel del músculo en el paciente crítico. *Nutrición hospitalaria*, 36(Spec No2), 12-17. <https://doi.org/10.20960/nh.02676>
- Moseley, A. M., Elkins, M. R., Van der Wees, P. J. y Pinheiro, M. B. (2020). Using research to guide practice: The Physiotherapy Evidence Database (PEDro). *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 24(5), 384. <https://doi.org/10.1016/j.BJPT.2019.11.002>
- Oroszi, T., van Heuvelen, M., Nyakas, C. y van der Zee, E. (2020). Vibration detection: its function and recent advances in medical applications. *F1000Research*, 9, 619. <https://doi.org/10.12688/f1000research.22649.1>
- 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., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ (Clinical research ed.)*, 10(1), 89. <https://doi.org/10.1136/BMJ.N71>
- Pamukoff, D. N., Pietrosimone, B., Lewek, M. D., Ryan, E. D., Weinhold, P. S., Lee, D. R. y Blackburn, J. T. (2016). Whole-Body and Local Muscle Vibration Immediately Improve Quadriceps Function in Individuals with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 97(7), 1121-1129. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.01.021>
- Pamukoff, D. N., Pietrosimone, B., Ryan, E. D., Lee, D. R., Brown, L. E. y Troy Blackburn, J. (2017). Whole-body vibration improves early rate of torque development in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(11), 2992-3000. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001740>
- Pistone, E. M., Laudani, L., Camillieri, G., Di Cagno, A., Tomassi, G., Macaluso, A. y Giombini, A. (2016). Effects of early whole-body vibration treatment on knee neuromuscular function and postural control after anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized controlled trial. *Journal of rehabilitation medicine*, 48(10), 880-886. <https://doi.org/10.2340/16501977-2150>
- Rowe, P. L., Taflan, S. y Hahne, A. J. (2022). Does the Addition of Whole-Body Vibration Training Improve Postural Stability and Lower Limb Strength During Rehabilitation Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review With Meta-analysis. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 32(6), 627-634. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000001001>
- Salvarani, A., Agosti, M., Zanré, A. y Ampollini, A. (2003). Mechanical vibration in the rehabilitation of patients with reconstructed anterior cruciate ligament. *Europa Medicophysica*, 39(1), 19-25. <https://www.semanticscholar.org/paper/Mechanical-vibration-in-the-rehabilitation-of-with-Salvarani-Agosti/af668c840c5c44d44d860326d3d2da8616a69d3e>
- Seixas, A., Sañudo, B., Caputo, D., Taiar, R. y Bernardo-Filho, M. (2020). Whole-Body Vibration for Individuals with Reconstructed Anterior Cruciate Ligament: A Systematic Review. *BioMed Research International*, 2020, 7362069. <https://doi.org/10.1155/2020/7362069>
- Sierra-Guzmán, R., Jiménez-Díaz, F., Ramírez, C., Esteban, P. y Abián-Vicén, J. (2018). Whole-Body-Vibration Training and Balance in Recreational Athletes With Chronic

- Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, 53(4), 355-363. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-547-16>
- Sogut, B., Ozsoy, H., Baloglu, R. y Harput, G. (2022). Effects of Whole-Body Vibration Training on Knee Muscle Strength After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Critically Appraised Topic. *Journal Sport Rehabilitation*, 31(3), 356-361. <https://doi.org/10.1123/jsr.2021-0210>
- Stark, T., Walker, B., Phillips, J. K., Fejer, R. y Beck, R. (2011). Hand-held dynamometry correlation with the gold standard isokinetic dynamometry: a systematic review. *PM&R*, 3(5), 472-479. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2010.10.025>
- Van Heuvelen, M.J.G., Rittweger, J., Judex, S., Sañudo, B., Seixas, A., Fuermaier, A.B.M., Tucha, O., Nyakas, C., Marín, P.J., Taiar, R., Stark, C., Schoenau, E., Sá-Caputo, D.C., Bernardo-Filho, M. y Van der Zee, E.A. (2021). Reporting Guidelines for Whole-Body Vibration Studies in Humans, Animals and Cell Cultures: A Consensus Statement from an International Group of Experts. *Biology (Basel)*, 10(10), 965. <https://doi.org/10.3390/biology10100965>
- Zhang, J., Wang, R., Zheng, Y., Xu, J., Wu, Y. y Wang, X. (2021). Effect of Whole-Body Vibration Training on Muscle Activation for Individuals with Knee Osteoarthritis. *BioMed Research International*, 2021, e6671390. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8019384/>