Rev Col Med Fis Rehab 2026;36(2):e519 - http://revistacmfr.org
http://doi.org/10.28957/rcmfr.519

Asociación Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación

Investigación original

Rehabilitación funcional de fracturas de radio distal complementada con órtesis robótica

Functional rehabilitation of distal radius fractures complemented with robotic orthosis

José Fernando Gómez Rendón[1] Gilberto Andrés Gil Henao[2] Juan David Moreno Arango[3] Jimena Becerra Velásquez[4] José Fernando Giraldo Cardona[5] María Alejandra Gil Guerrero[6] Alejandro Angelillis[7]

[1] Médico fisiatra. Fundación Centro de Investigación Biomédica, Electrónica y Robótica, Manizales, Colombia.
[2] Médico ortopedista, cirujano de mano y miembro superior. Fundación Centro de Investigación Biomédica, Electrónica y Robótica, Manizales, Colombia.
[3] Médico general e ingeniero electrónico. Fundación Centro de Investigación Biomédica, Electrónica y Robótica, Manizales, Colombia.
[4] Fisioterapeuta especialista en intervención terapéutica en ortopedia y traumatología. Fundación Centro de Investigación Biomédica, Electrónica y Robótica, Manizales.
[5] Medico epidemiólogo clínico. Fundación Centro de Investigación Biomédica, Electrónica y Robótica, Manizales, Colombia.
[6] Médica general. Fundación Centro de Investigación Biomédica, Electrónica y Robótica, Manizales, Colombia.
[7] Médico general. Fundación Centro de Investigación Biomédica, Electrónica y Robótica, Manizales, Colombia.

Resumen

Introducción. Las fracturas de radio distal (FRD) son las fracturas más comunes en adultos. Se clasifican en extraarticulares e intraarticulares, siendo estas últimas las más difíciles de tratar. El tratamiento de las FRD debe ser temprano e individualizado para asegurar una recuperación efectiva y rápida.
Objetivo. Evaluar la utilidad de la movilización pasiva temprana con órtesis robóticas como complemento de la rehabilitación funcional en pacientes en posoperatorios por FRD.
Métodos. Ensayo clínico controlado aleatorizado realizado en pacientes posquirúrgicos de FRD intervenidos por el servicio de ortopedia especialista en cirugía de mano y miembro superior, y rehabilitados por terapia física en una institución de salud en Manizales (Colombia).
Resultados. Con ambos protocolos de rehabilitación se logró una mejoría estadísticamente significativa ($p<0,05$) en la recuperación de la funcionalidad, el dolor y los arcos de movilidad articular. El GE presentó una mayor ganancia de medias en la funcionalidad (48,47 puntos) con respecto al GC (34,43 puntos), siendo esta estadísticamente significativa ($p<0,05$), con un efecto de los resultados grande (d de Cohen: 0,84).
Conclusiones. La rehabilitación funcional convencional complementada con órtesis robótica obtuvo mayor beneficio en la recuperación de la funcionalidad que la rehabilitación convencional exclusivamente. Con este estudio se generó evidencia clínica (nivel I) respecto a los beneficios de la movilización pasiva con órtesis robóticas como complemento en la rehabilitación funcional de pacientes en posoperatorio por FRD.
Palabras clave. Fracturas de radio distal, aparatos ortopédicos, dispositivo exoesqueleto, goniometría articular.

CC BY NC ND

Citación. Gómez Rendón JF, Gil Henao GA2, Moreno Arango JD, Becerra Velásquez J, Giraldo Cardona JF, Gil Guerrero MA, Angelillis A. Rehabilitación funcional de fracturas de radio distal complementada con órtesis robótica. Rev Col Med Fis Rehab. 2026;36(2):e519. http://doi.org/10.28957/rcmfr.519.

Correspondencia. José Fernando Gómez Rendón. Correo electrónico: gomezjfdo@gmail.com.
Recibido. 09.08.25. **Aceptado.** 09.06.26. **Publicado.** 23.07.26.
ISSN impreso. 0121-0041. **ISSN electrónico.** 2256-5655.

http://doi.org/10.28957/rcmfr.519

Abstract

Introduction. Distal radius fractures (DRF) are the most common fractures in adults. They are classified into extra-articular and intra-articular fractures, the latter being the most difficult to treat. Treatment of DRF should be early and individualized to ensure effective and rapid recovery.

Objective. To evalúate the usefulness of early passive mobilization with robotic orthoses as a complement to functional rehabilitation in postoperative DRF patients.

Methods. Randomized controlled clinical trial conducted in post-surgical patients of FRD, operated by the orthopedic service specializing in hand and upper limb surgery, and rehabilitated by physical therapy in a health institution in Manizales (Colombia).

Results. With both rehabilitation protocols, a statistically significant improvement ($p<0.05$) was achieved in the recovery of functionality, pain and joint mobility arcs. The EG showed a higher average gain in functionality (48.47 points) with respect to the CG (34.43 points), this being statistically significant ($p<0.05$), with a large effect of the results (Cohen's d: 0.84).

Conclusions. Conventional functional rehabilitation complemented with robotic orthosis obtained greater benefit in the recovery of functionality than conventional rehabilitation exclusively. This study generated clinical evidence (level I) regarding the benefits of passive mobilization with robotic orthoses as a complement in the functional rehabilitation of DRF postoperative patients.

Keywords. Distal radius fractures, orthopedic appliances, exoskeleton device, joint goniometry.

CC BY NC ND

Introducción

Las fracturas de radio distal (FRD), que representan las fracturas más comunes en adultos[1], tienen una distribución bimodal: en adultos jóvenes se presentan 1,4 veces más en hombres por trauma de alta energía, mientras que en personas de edad avanzada se dan 6,2 veces más en mujeres posmenopáusicas por traumas de baja energía[2-4]. Aunque el mecanismo de lesión predominante suele ser una caída simple en el domicilio del paciente (74,6%)[1], en la actualidad se registra una tendencia creciente en la prevalencia de estas fracturas debido al incremento de la práctica de deportes extremos en la población joven y del número de personas activas de edad avanzada[1,3,5].

Las FRD pueden clasificarse en extraarticulares (respetan la superficie articular) e intraarticulares (se extienden a la superficial articular), siendo estas últimas las más difíciles de tratar[6].

En pacientes con FRD, la historia clínica y la exploración física sugieren firmemente una fractura; las radiografías son la técnica de imagen estándar para su diagnóstico[7]. La estandarización de las técnicas de medición radiográfica y el análisis automatizado de imágenes podría ayudar a mejorar la precisión y la fiabilidad en la interpretación de la radiografía[8]. En algunos casos, cuando los hallazgos de la radiografía son dudosos, la tomografía computarizada puede ser útil en la planificación quirúrgica, especialmente en fracturas intraarticulares. La resonancia magnética aporta poca utilidad en comparación con la radiografía y la tomografía computarizada en el diagnóstico de FRD[7]. La inteligencia artificial, gracias a su utilidad y posibles aplicaciones en la medicina moderna, puede ser una herramienta valiosa para mejorar las capacidades diagnósticas en el campo de la imagenología médica[9].

El tratamiento de las FRD debe ser individualizado para asegurar una recuperación efectiva y rápida; de este modo, se debe considerar la salud del paciente, las características de la fractura y el estado del hueso osteoporótico[10]. Siempre que la fractura se reduzca correctamente, la osteosíntesis mejora el resultado funcional. La tasa de complicaciones oscila entre el 9% y el 15%, siendo la más común la irritación/rotura del tendón con retirada de la placa[11].

La cirugía temprana en FRD se asocia con mejores resultados informados por los pacientes[12]. La fijación con placa de bloqueo volar (VLP, por su sigla en inglés) es un tratamiento eficaz para las FRD intraarticulares[13]. Este tipo de implante supera al tratamiento conservador en la recuperación de la fuerza de agarre a 1 año y al menos a 2 años; además, tiene la menor cantidad de complicaciones[14,15]. En Colombia, la mayoría de las FRD son tratadas quirúrgicamente[4].

Rev Col Med Fis Rehab 2026;36(2):e519 - http://revistacmfr.org
http://doi.org/10.28957/rcmfr.519

Las FRD pueden causar deterioro físico crónico, dificultar la realización de actividades cotidianas y reducir el rendimiento laboral[16], por lo cual, luego de los tratamientos de este tipo de fracturas (tanto quirúrgicos como no quirúrgicos), los fisioterapeutas deben realizar procedimientos de terapia manual según la tolerancia individual y los niveles de estabilidad de la fractura para lograr mejoras a corto plazo de los arcos de movilidad articular (AMA) de la muñeca[17]. La rehabilitación temprana tras la cirugía de FRD con VLP ha demostrado ser beneficiosa para mejorar la funcionalidad de las extremidades superiores[18]; los médicos especialistas en medicina física y rehabilitación pueden utilizar órtesis progresivas dinámicas y estáticas, junto con la atención estándar, para mejorar los rangos de movimiento pasivo de la muñeca[17].

La rehabilitación posoperatoria puede verse limitada por los costos y la disponibilidad de los equipos y el personal médico, siendo una alternativa el entrenamiento en casa o los dispositivos portátiles. Respecto a esto último, se ha establecido que la rehabilitación con un dispositivo portátil puede ser beneficiosa para la recuperación temprana después de una cirugía de FRD[19]. La movilización pasiva con órtesis robótica es un complemento eficaz de la fisioterapia en pacientes posoperatorios por FRD, ya que favorece la reducción del dolor, la recuperación de los AMA y la funcionalidad[20].

Estudios recientes plantean la posibilidad de que las órtesis presentan ventajas sobre la inmovilización con yeso[21]. En este sentido, para facilitar el progreso de la rehabilitación de las FRD se ha propuesto el desarrollo de órtesis de muñeca impresa en 3D[22], y de exoesqueletos portátiles; además, se recomienda que en la etapa inicial se utilice un dispositivo de fijación ajustable para brindar una protección fija con movilización limitada, mientras que en la etapa posterior se use un dispositivo de entrenamiento de resistencia para la recuperación funcional[23].

Las FRD constituyen una causa frecuente de consulta en los servicios de urgencias. Así mismo, se encuentran entre las lesiones ortopédicas de mayor impacto económico debido principalmente a la pérdida de productividad laboral y no tanto a los costos directos de la atención en salud. En este sentido, se debe tener presente que las complicaciones ocasionadas por un tratamiento conservador o excesivo pueden ocasionar pérdida funcional que afecta la capacidad laboral de los pacientes, por lo cual, para prevenir esto se debe implementar la movilización temprana en pacientes posquirúrgicos.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la utilidad de la movilización pasiva temprana con órtesis robóticas como complemento de la rehabilitación funcional en pacientes en posoperatorios por FRD.

Métodos

Participantes

El presente estudio se realizó en la ciudad de Manizales (Colombia) y tuvo una duración de 26 meses (junio de 2023 a julio de 2025). Participaron pacientes posquirúrgicos intervenidos para el manejo de FRD por el servicio de ortopedia especialista en cirugía de mano y miembro superior. Se consideraron los siguientes criterios de inclusión: tener entre 18 y 90 años, haber tenido FRD manejada quirúrgicamente mediante reducción abierta más osteosíntesis con VLP y vivir en el área de influencia de Manizales durante el proceso rehabilitación. Por su parte, los criterios de exclusión fueron: haber recibido tratamiento conservador no quirúrgico, haber sido tratado mediante reducción cerrada o abierta con fijación percutánea, tener fijador externo, haber sufrido fracturas abiertas o luxofracturas, así como fracturas ocasionadas en accidentes de trabajo o actos de violencia, tener politraumatismo, tener enfermedad sistémica incapacitante y llevar procesos jurídicos relacionados al trauma. Los criterios de salida del estudio fueron: decisión del paciente de retirarse del estudio y no participar en el 100% del protocolo de intervención.

El presente estudio corresponde a un ensayo clínico controlado interino. Ya que se hará uno mayor, no se hizo cálculo de tamaño de muestra, sino un muestreo por conveniencia. Los pacientes se dividieron en dos grupos para obtener una población controlada aleatorizada. El grupo experimental (GE) consistió en 14 pacientes intervenidos quirúrgicamente para el manejo de FRD que recibieron tratamiento mediante el programa de rehabilitación funcional

de fisioterapia convencional más movilización pasiva con órtesis robótica. El grupo control (GC) consistió en 14 pacientes intervenidos quirúrgicamente para el manejo de FRD que únicamente recibieron el programa de rehabilitación funcional con fisioterapia convencional.

La aleatorización se realizó de acuerdo con la fecha de ingreso al estudio: los pacientes que ingresaron al estudio en número impar (paciente 1, paciente 3, paciente 5,..., paciente n) se asignaron a un grupo y los que ingresaron en número par (paciente 2, paciente 4, paciente 6,..., paciente n) se asignaron al grupo contrario; la asignación del primer paciente al GE vs. GC la realizaron los médicos generales al azar (cara y sello).

El enmascaramiento se hizo con los investigadores clínicos y participantes. Los médicos especialistas que evaluaron las variables clínicas (ortopedista y fisiatra) desconocían la asignación de los pacientes a los grupos (GE y GC) y no fueron informados sobre el tipo de intervención realizada durante el proceso de rehabilitación; igualmente, los pacientes del GE asistían a rehabilitación en jornadas diferentes a las del GC para evitar que conocieran que existían diferencias en el protocolo de rehabilitación.

Intervención terapéutica

A continuación, se presentan las intervenciones practicadas a los pacientes por parte del equipo interdisciplinario de salud:

1) El médico ortopedista realizó reducción abierta de la fractura más osteosíntesis con VLP y seguimiento clínico posquirúrgico.

2) Los médicos generales seleccionaron los pacientes que cumplían con los criterios de inclusión y los invitaron a participar en el estudio, brindándoles la información necesaria para obtener la firma del consentimiento informado.

3) El médico fisiatra realizó la medición de variables antes de iniciar el protocolo de rehabilitación (T0) y al finalizar la intervención (T1).

4) La fisioterapeuta supervisó al grupo de fisioterapeutas que aplicaron el protocolo de rehabilitación funcional.

5) El ingeniero electrónico supervisó las sesiones de terapia robótica y realizó mantenimiento preventivo y correctivo a la órtesis robótica.

6) Los médicos generales recolectaron y validaron los datos con las variables de estudio tomadas de las historias clínicas de ortopedia, fisiatría y fisioterapia.

7) Un epidemiólogo clínico realizó el análisis estadístico.

Todos los pacientes (GE y GC) recibieron 10 sesiones de terapia física convencional de 45 minutos, con frecuencia de dos a tres veces por semana, en un periodo de cuatro semanas. El GE recibió terapia robótica de 30 minutos de duración luego de finalizar cada sesión de fisioterapia convencional.

Antes del inicio del estudio, los autores diseñaron el protocolo de intervención para el GE y el GC. La terapia de rehabilitación convencional se dividió en tres fases: la fase 1 (semana 1) consistió en aplicación de medios físicos analgésicos, medidas anti edema, movilidad articular pasiva y activa asistida a tolerancia del paciente, estimulación sensitiva, ejercicio terapéutico y trabajo de flexibilidad; la fase 2 (semana 2) consistió en continuar las actividades de la fase 1 con intensificación tónica, ejercicios funcionales de mano y muñeca y manejo de cicatriz, y la fase 3 (semana 3 y 4) consistió en continuar las actividades de las fases 1 y 2 y el inició de ejercicios activos resistidos con carga, propiocepción en cadena cinética abierta y plan de terapia en casa.

La rehabilitación con la órtesis robótica consistió en la movilización pasiva en arco libre de dolor, ganancias durante las sesiones de 5 a 10 grados en flexión y/o extensión de acuerdo a la tolerancia del dolor, posibilidad de ampliar los AMA hasta 90 grados (45 en extensión y 45 en flexión) e incrementos graduales del torque y tiempo de duración del movimiento en flexión o extensión.

Rev Col Med Fis Rehab 2026;36(2):e519 - http://revistacmfr.org
http://doi.org/10.28957/rcmfr.519

Para la movilización pasiva se utilizó la ortesis robótica "PRO-DWix"[24] (Figura 1, 2 y 3), que es un exoesqueleto de mano y muñeca que cuenta con cuatro grados de libertad (GDL) para la movilización pasiva de la muñeca (flexión, extensión, desviación radial y desviación cubital) y cuenta con un módulo de control electrónico que permite al terapeuta graduar manualmente el ángulo del movimiento para incrementar los AMA, el torque para vencer la resistencia al movimiento pasivo y el tiempo de giro del servomotor para programar el tiempo de flexión y extensión. La órtesis robótica PRO-DWix fue diseñada y fabricada por el grupo de investigación F-CIBER-INNOVATION de la Fundación Centro de Investigación Biomédica, Electrónica y Robótica en Manizales F-CIBER.

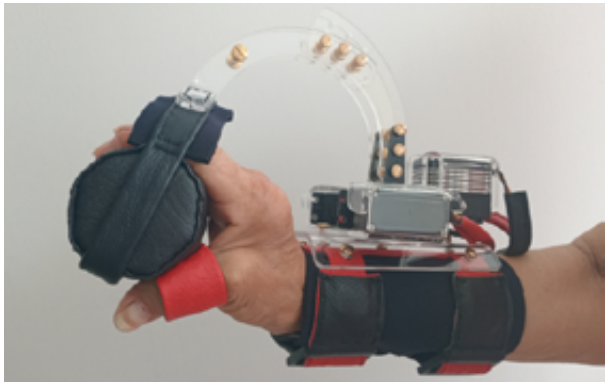


Figura 1. Movimiento pasivo en extensión de la órtesis robótica PRO-Dwix.
Fuente: imagen obtenida durante la realización del estudio.



Figura 2. Movimiento pasivo en flexión de la órtesis robótica PRO-Dwix.
Fuente: imagen obtenida durante la realización del estudio.



Figura 3. Movimiento pasivo en flexión y desviación cubital de la órtesis robótica PRO-Dwix
Fuente: imagen obtenida durante la realización del estudio.

Medición de resultados

Para ambos grupos (GE y GC) se realizó una consulta individual por el mismo médico especialista en medicina física y rehabilitación, antes (T0) y después (T1) de la intervención, con el fin de consignar en la historia clínica los resultados de la medición de las siguientes variables: 1) epidemiológicas: sexo (H: hombre, M: mujer), edad en años, ocupación, lateralidad dominante (D: derecha, I: izquierda) y lado de la fractura (D: derecho, I: izquierdo); 2) de respuesta a la intervención: funcionalidad, dolor y rango de AMA. La clasificación de la variable tipo de fractura (intra articular, extra articular) se obtuvo de la revisión de la radiografía de cada paciente por parte del médico ortopedista.

Se creó una base de datos en el programa Microsoft Excel con el resultado de la medición de variables en T0 y T1 para cada paciente; además, se consignaron la fecha de la cirugía, la fecha de inicio de la fisioterapia, la cantidad de terapias recibidas y los eventos adversos para validar las variables relacionadas con el proceso de rehabilitación (oportunidad de inicio de la rehabilitación y adherencia), y las variables relacionadas con la seguridad del paciente (eventos adversos).

Para la medición de resultados se utilizaron los siguientes instrumentos: 1) historia clínica de ortopedia, fisiatría y fisioterapia; 2) cuestionario

Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand score (DASH) para medir los cambios en la funcionalidad del miembro superior[25,26], cuyo resultado varía desde 0 (sin discapacidad) hasta 100 (discapacidad severa) y a medida que incrementa el puntaje de la escala, se refleja mayor discapacidad y dificultad en el uso del miembro superior; 3) escala visual análoga del dolor (EVA) para medir la percepción de la intensidad del dolor, cuyo resultado varia desde 0 (sin dolor) hasta 10 (el peor dolor imaginable) y a medida que incrementa el puntaje de la escala, se refleja el incremento en la intensidad del dolor; 4) goniometría para medir los rangos de los AMA de la muñeca, y 5) formato de registro de terapias con la órtesis robótica para registrar el progreso en los incrementos de la amplitud, el torque y el tiempo de duración de los movimientos pasivos de extensión y flexión de la muñeca.

Análisis de datos y método estadístico

Los datos consignados en la hoja de cálculo de Microsoft Excel fueron validados nuevamente por los médicos generales en las historias clínicas de ortopedia, fisiatría y fisioterapia antes del análisis de datos. Los datos fueron procesados utilizando el programa IBM SPSS Statistics versión 27[27]. Las variables de respuesta (dependientes) consideradas fueron: nivel de funcionalidad según la escala DASH, AMA (en grados) según goniometría y nivel de dolor según escala EVA. Se realizó un análisis descriptivo con tablas de frecuencia para las variables categóricas. Para las variables numéricas se utilizó la prueba t de Student. En todos los casos se consideró un nivel de significancia estadística de $p<0,05$ y se reportaron intervalos de confianza al 95% (IC95%).

La distribución normal de las variables continuas se verificó con la prueba Liliefors[28,29] y la homocedasticidad, mediante la prueba de Levene[30]. Las variables que tuvieron distribución normal se analizaron mediante la prueba t de Student[31] para muestras independientes y para muestras emparejadas. El tratamiento de las variables no paramétricas se hizo mediante la prueba U de Mann Whitney[32]. De igual forma, se calculó el tamaño del efecto (d de Cohen)[33] para cuantificar la magnitud de las diferencias entre grupos más allá del valor de la significancia (no solo si son significativas).

Resultados

En el estudio participaron 28 pacientes distribuidos en dos grupos de 14 personas: el GE, que contó con 9 (64,29%) mujeres y 5 (35,71%) hombres con edades entre los 19 y los 82 años (media: 48,6), y el GC, que contó con 10 mujeres (71,43%) y 4 hombres (28,57%) con edades entre los 28 y los 85 años (media: 61,3). En cuanto a la ocupación, se encontró que en el GE se incluyeron 7 (50%) personas activas laboralmente, 5 (35,72%) dedicados a actividades del hogar y 2 (14.28) estudiantes; en el GC hubo 6 (42,86%) personas activas laboralmente y 8 (57,14%) dedicados a actividades del hogar (Tabla 1).

La FRD ocurrió en el lado dominante en el 50% de los participantes del GE y en el 28,5% de los del GC. La lateralidad de la FRD fue principalmente izquierda (GE: 50% y GC: 78,57). Respecto a la complejidad de la fractura, en ambos grupos fue intraarticular en el 57,1% y extraarticular en el 42,9%. La oportunidad del inicio de la rehabilitación luego de la cirugía fue de 19,9 días para el GE y de 19,1 días para el GC (Tabla 1).

Los pacientes de ambos grupos tuvieron una mejoría importante de su funcionalidad según la escala DASH (disminución del valor final [T1] con respecto al valor inicial [T0]), con una media de la disminución en la puntuación del DASH de 48,5 para el GE y de 34,4 para el GC). El GE presentó una ganancia de la media de 14,05 mayor con respecto al GC, siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($p<0,05$), con un tamaño del efecto d de Cohen grande ($d=0,84$), lo cual indica que la diferencia de los resultados obtenidos en el GE con respecto al GC tiene una magnitud de efecto alta, a pesar del tamaño muestral pequeño (Tablas 2 y 3).

En ambos grupos los pacientes presentaron una leve mejoría del dolor según la escala EVA (disminución del valor final [T1] con respecto al valor inicial [T0]). El GE presentó una ganancia de la media de 0,86 mayor con respecto al GC estadísticamente no significativa ($p>0,05$) (Tabla 2).

Los pacientes de ambos grupos (GE y GC) presentaron una importante recuperación de los AMA según goniometría (aumento del valor final

Rev Col Med Fis Rehab 2026;36(2):e519 - http://revistacmfr.org
http://doi.org/10.28957/rcmfr.519

[T1] con respecto al valor inicial [T0]), con una media del incremento de los grados de los AMA en extensión (GE: 32,5 y GC: 31,1), flexión (GE: 14,3 y GC: 13,4), desviación radial (GE: 8,6 y GC: 10,7) y desviación cubital (GE: 19,3 y GC: 11,4). El GE tuvo una ganancia de la media mayor en la extensión y flexión con respecto al GC estadísticamente no significativa (p>0,05) y una ganancia en la desviación cubital estadísticamente significativa (p<0,05) (Tabla 2).

Todos los pacientes, tanto los del GE como los del GC, completaron el total de 10 sesiones programadas durante el proceso de rehabilitación funcional y solamente se presentó un evento adverso descrito como dermatitis alérgica en una paciente del GC, quien utilizó en casa "crema de coco" sin informar al equipo de investigación; esta presentó mejoría de esta reacción al suspender la aplicación del producto, realizar terapia física seca y aplicarse esteroide local.

Tabla 1. Características de los participantes del estudio (n=28).

Características		Grupo experimental (n=14)	Grupo control (n=14)
Edad, años, mean (SD)		48,6 (18,7)	61,3 (16,1)
Sexo, n (%)	Femenino	9 (64,29)	10 (71,43)
	Masculino	5 (35,71)	4 (28,57)
Dominancia, n (%)	Derecha	12 (85,72)	13 (92,86)
	Izquierda	2 (14,28)	1 (7,14)
Lado fracturado, n (%)	Derecho	7 (50,0)	3 (21,43)
	Izquierdo	7 (50,0)	11 (50,57)
Complejidad de la fractura, n (%)	Intraarticular	8 (57,1)	8 (57,1)
	Extraarticular	6 (42,9)	6 (42,9)
Inicio rehabilitación en días, media (SD)		19,9 (4,2)	19,1 (3,6)
Ocupación, n (%)	Trabajador activo	7 (50,0)	6 (42,9)
	Actividades del hogar	5 (35,7)	8 (57,1)
	Estudiante	2 (14,3)	0 (0,0)

SD: desviación estándar.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Análisis de variables antes y después de la rehabilitación y prueba t de student para la igualdad de medias.

	Grupos T (0)		Grupos T (1)		Diferencia en los grupos T(0) - T(1)		Diferencia entre grupos T(0) - T(1)
	Experimental	Control	Experimental	Control	Experimental	Control	Experimental menos control
Resultado media (SD)	(n=14)	(n=14)	(n=14)	(n=14)			media (IC95%) p valor
DASH media (SD)	76,3 (12,7)	64,7 (21,0)	27,8 (14,0)	30,3 (13,9)	48,5 (12,6)	34,4 (18,8)	- 14,05 (-26,96 a -1,14) p=0,034
EVA media (SD)	2,8 (3,2)	3,1 (3,1)	0,9 (1,8)	2,0 (2,2)	1,9 (3,5)	1,1 (2,9)	- 0,86 (-3,42 a 1,71) p=0,499
Resultado media (SD)	(n=14)	(n=14)	(n=14)	(n=14)			media (IC95%) p valor
Extensión en grados	17,1 (14,1)	17,5 (16,8)	49,6 (12,0)	48,6 (10,8)	32,5 (12,4)	31,1 (17,0)	1,43 (-10,27 a 13,13) p=0,804
Flexión en grados	32,1 (11,8)	25,9 (9,1)	46,4 (11,6)	39,3 (13,0)	14,3 (8,6)	13,4 (10,8)	0,93 (-6,88 a 8,73) p=0,809
Desviación radial en grados	7,9 (4,1)	9,3 (7,7)	16,4 (5,5)	20,0 (7,6)	8,6 (4,8)	10,7 (7,5)	- 2,14 (-7,34 a 3,06) p=0,405

Tabla 2. Análisis de variables antes y después de la rehabilitación y prueba t de student para la igualdad de medias. (continuación)

	Grupos		Grupos		Diferencia en los grupos		Diferencia entre grupos
	T (0)		T (1)		T(0) - T(1)		T(0) - T(1)
Desviación cubital en grados	14,6 (10,1)	18,2 (7,5)	33,9 (8,7)	29,6 (3,5)	19,3 (8,8)	11,4 (7,7)	7,86 (1,28 a 14,44) p=0,021

SD: desviación estándar; IC95%: intervalo de confianza del 95%; p: significancia estadística; T0: evaluación de variables antes de iniciar la rehabilitación; T1: evaluación de variables al final de la rehabilitación.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Efecto d de Cohen en la diferencia de medias del cuestionario DASH para el grupo experimental y el grupo control.

Grupos evaluados		(n)	($\bar{x}$)	(S)	Efecto d de Cohen	Formulas aplicadas
Diferencia DASH	Grupo experimental	14	-48,47	13,080	d=0,84	$d = \frac{\bar{x}1 - \bar{x}2}{S\ pooled}$
	Grupo control	14	-34,43	19,528		$S\ pooled = \sqrt{\frac{(S_1^2 + S_2^2)}{2}}$

DASH: Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand; S: desviación estándar; $\bar{x}$: media.
Fuente: elaboración propia.

Discusión

El presente estudio corresponde a un análisis interino del ensayo clínico aleatorizado, controlado y doble ciego titulado "rehabilitación funcional de posquirúrgicos de fracturas de radio distal con órtesis robóticas", para el cual se ha implementado un análisis estadístico en muestras pequeñas (GE: 14 pacientes y GC: 14 pacientes) con comparativos intra e intergrupos, aplicando el tamaño del efecto d de Cohen para observar el comportamiento de la diferencia de medias (Tabla 3).

Con la aleatorización, hasta el momento se ha presentado homogeneidad en algunas características epidemiológicas y clínicas de la población entre los grupos (GE y GC), tales como sexo, dominancia, complejidad de la fractura (intraarticular o extraarticular) y tiempo de inicio de rehabilitación en días. En cuanto a la edad, se ha presentado una diferencia de 12,7 años mayor en la media del GC respecto a la del GE; también se presentan diferencias relativas entre grupos en relación a la ocupación y el lado de la fractura.

El análisis de comparación intra grupos con prueba de muestras emparejadas indica que los protocolos de rehabilitación aplicados tanto al GE como al GC generaron beneficios en la mejoría de la funcionalidad, la disminución del dolor y la recuperación de los AMA.

El análisis de comparación inter grupos con prueba de muestras independientes, según la Tabla 2, indica que en el GE existen diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) con respecto al GC en cuanto a la recuperación de la funcionalidad según la escala DASH y la recuperación del AMA para la desviación cubital según goniometría. En cuanto al dolor según la escala EVA y los AMA para la flexión, extensión y desviación radial, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el GE y el GC.

Con los resultados obtenidos al finalizar la fase III de investigación se pueden proponer nuevas investigaciones en fase IV del proyecto "rehabilitación de fracturas de radio distal con ortesis robóticas", esto con los objetivos de tratar de resolver interrogantes que surgirán en la comunidad científica; descubrir otros beneficios de la movilización pasiva de mano y muñeca con la órtesis robótica PRO-DWix; determinar y gestionar los riesgos del uso inadecuado de esta tecnología biomédica; modificar los protocolos de rehabilitación convencional complementados con órtesis robóticas; realizar análisis predictivos para encontrar la mejor forma de aplicación clínica de esta tecnología; entre otras.

Rev Col Med Fis Rehab 2026;36(2):e519 - http://revistacmfr.org
http://doi.org/10.28957/rcmfr.519

La evidencia científica sobre la aplicación de ortesis robóticas en la rehabilitación de fracturas de radio distal según la búsqueda de la literatura relevante en las bases de datos PubMed, Scopus, Ovid, Google Scholar, UpToDate y ScienceDirect es escasa. Algunas publicaciones describen el diseño de ortesis robóticas para la rehabilitación de FRD en fase de prototipado[23,34]. Otras, como el estudio de Tan *et al.*[35], han buscado determinar la eficacia de la terapia robótica con la prótesis asistida híbrida de una sola articulación para mejorar el nivel funcional, el rendimiento físico y la aptitud laboral de los trabajadores con fracturas de muñeca tras cuatro semanas de intervención utilizando la escala DASH para evaluar la funcionalidad, pero aún no publican resultados.

Por el contrario, Picelli *et al.*[36] publicaron un estudio realizado en 20 pacientes con FRD causada por traumatismo de muñeca que fueron asignados aleatoriamente a dos grupos: un GC (10 pacientes), que fue entrenado con un brazo ortésico convencional, y un GE (10 pacientes), que fue entrenado con un brazo ortésico robótico. En dicho estudio, los autores describen que no se encontraron diferencias entre los grupos en cuanto a los resultados primarios (rango de movimiento activo y pasivo de la muñeca) y secundarios (fuerza de prensión y pinza); además, el estudio no realiza evaluación de la funcionalidad con la escala DASH ni EVA[36].

El presente estudio presenta la limitación de tener una muestra de solo 14 pacientes por grupo, para un total de 28 participantes, lo cual refleja el control en el ingreso de participantes que se ha delimitado a pacientes en posoperatorio por FRD intervenidos por el mismo cirujano ortopedista especialista en mano y miembro superior. Sin embargo, la aleatorización y el enmascaramiento descrito han permitido que los resultados obtenidos de la diferencia de medias que resultan en la comparación de variables de respuesta a la intervención intergrupos con prueba de muestras independientes representen una mayor confiabilidad (95%).

Conclusiones

La rehabilitación funcional en pacientes en posoperatorio por FRD con terapia física convencional o terapia física complementada con órtesis robóticas contribuye a mejorar la recuperación funcional de la mano y la muñeca, disminuir el dolor y aumentar el rango de los AMA de la muñeca.

La movilización pasiva de mano y muñeca con la órtesis robótica, como complemento a la terapia convencional de rehabilitación funcional en pacientes en posoperatorio por FRD, presentó un mayor beneficio en la recuperación de la funcionalidad y en la ganancia de los arcos de movilidad para la desviación cubital.

La similitud en la cantidad de participantes respecto a la complejidad de la fractura (8 intraarticulares y 6 extraarticulares) tanto para el GE como para el GC permite observar en los pacientes con FRD complejas (intraarticulares) un mayor beneficio en la recuperación de la funcionalidad con la terapia física complementada con rehabilitación robótica. En este sentido, continuaremos con el estudio para aumentar la muestra poblacional con el propósito de establecer valores predictivos de la intervención en este grupo de pacientes.

Consideraciones éticas

El presente estudio fue aprobado por el comité de bioética de la Universidad de Caldas al cumplir con las normas nacionales (Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia[37]) e internacionales (Declaración de Helsinki[38]) de buenas prácticas de investigación clínica.

Conflicto de intereses

Los autores médico fisiatra, médico ortopedista, médico epidemiólogo, médicos generales y fisioterapeuta declaran no tener conflicto de intereses durante el desarrollo del presente estudio.

El autor ingeniero electrónico es quien desarrolló la órtesis robótica; su participación en el estudio es requerida para la supervisión de las sesiones de rehabilitación robótica por ser el exoesqueleto un dispositivo biomédico de tecnología controlada clasificación IIB.

La Fundación F-CIBER no participó en el desarrollo tecnológico de la órtesis robótica; su rol

en este estudio es proporcionar exclusivamente los recursos humanos y tecnológicos para el desarrollo de la investigación clínica a los grupos de innovación y rehabilitación.

Financiación

El presente estudio fue financiado por la Fundación F-CIBER, la fuente de financiamiento no desempeño ningún papel en el desarrollo de la investigación.

Agradecimientos

Al equipo administrativo y asistencial del Centro Médico Movimedic y del Centro de Rehabilitación Moviteam, por su dedicación, calidez y amabilidad con los pacientes que participaron en el presente estudio.

Contribución de los autores

José Fernando Gómez Rendón realizó la medición de variables clínicas al inicio y al final de la intervención. Gilberto Andrés Gil Henao realizó la reducción abierta de la fractura más osteosíntesis a todos los pacientes del estudio y el seguimiento clínico posquirúrgico. Jimena Becerra Velásquez lideró y supervisó el grupo de fisioterapeutas que aplicaron el protocolo de rehabilitación funcional. Juan David Moreno Arango participó en la búsqueda de información y referencias bibliográficas y supervisó las sesiones de movilización pasiva con la órtesis robótica. María Alejandra Gil Guerrero y Alejandro Angelillis llevaron a cabo la búsqueda de literatura y referencias bibliográficas, realizaron la aleatorización de los grupos de estudio, explicaron el consentimiento informado a los pacientes, recolectaron los datos de las variables de estudio de las historias clínicas y presentaron las tablas de datos validadas al estadístico. José Fernando Giraldo Cardona realizó el análisis estadístico.

Referencias

1. Sagerfors M, Jakobsson H, Thórdardóttir Á, Wretenberg P, Möller M. Distal radius fractures in the superelderly: an observational study of 8486 cases from the Swedish fracture register. BMC Geriatr. 2022;22(1):140. Disponible en: https://doi.org/10.1186/s12877-022-02825-x.

2. Wolfe SW, Penderson WC, Kozin SH, Cohen MS. Distal Radius Fractures. En: Green´s Operative Hand Surgery. 7th ed. Vol. 2. Elsevier; 2017.

3. Nellans KW, Kowalski E, Chung KC. The Epidemiology of Distal Radius Fractures. Hand Clinics. 2012;28(2):113-25. Disponible en: https://doi.org/10.1053/jhsu.2001.26322.5.

4. Vélez-Cuervo LM, López-Córdoba MA, Henao-Lopera HD. Características sociodemográficas, clínicas y radiológicas de mujeres mayores de 50 años con fracturas de radio distal por fragilidad ósea atendidas en un hospital de Medellín, Colombia. Rev. Colomb. Ortop. Traumatol. 2024;38(1):64. Disponible en: https://doi.org/10.58814/01208845.64.

5. Chung KC, Spilson SV. The frequency and epidemiology of hand and forearm fractures in the United States. J Hand Surg Am. 2001;26(5):908-915. Disponible en: https://doi.org/10.1053/jhsu.2001.26322.

6. Min H, Rabi Y, Wadhawan A, Bourgeat P, Dowling J, White J, *et al.* Automatic classification of distal radius fracture using a two-stage ensemble deep learning framework. Phys Eng Sci Med. 2023;46(2):877-86. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s13246-023-01261-4.

7. Corsino CB, Reeves RA, Sieg RN. Distal Radius Fractures. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [citado junio 27 de 2026]. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK536916/.

8. Suojärvi N, Waris E. Radiographic measurements in distal radius fracture evaluation: a review of current techniques and a recommendation for standardization. Acta Radiol. 2024;65(9):1065-79. Disponible en: https://doi.org/10.1177/02841851241266369.

9. Mert S, Stoerzer P, Brauer J, Fuchs B, Haas-Lützenberger EM, Demmer W, *et al.* Diagnostic power of ChatGPT 4 in distal radius fracture detection through wrist radiographs. Arch Orthop Trauma Surg. 2024;144(5):2461-2467. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s00402-024-05298-2. Retraction in: Arch Orthop Trauma Surg. 2024;144(9):4513. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s00402-024-05554-5.

10. Telenchana-Chimbo PF, Camacho-Silva AZ.. Manejo de fracturas del radio distal en adultos mayores. Revisión Bibliográfica. LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades. 2024;5(4):4226-35. Disponible en: https://doi.org/10.56712/latam.v5i4.2560.

11. van Veelen NM, Babst R, Link BC, van de Wall BJM, Beeres FJP. Distale Radiusfrakturen - Taktik und Zugangswahl [Distal radius fracture-tactic and approach]. Oper Orthop Traumatol. 2023;35(6):352-69. German. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s00064-023-00818-6.

12. Khan S, Persitz J, Shrouder-Henry J, Khan M, Chan A, Paul R. Effect of Time-To-Surgery on Distal Radius Fracture Outcomes: A Systematic Review. J Hand Surg Am. 2023;48(5):435-43. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2022.12.018.

13. Gao Y, Zhao Y, Liu Y, Lei S, Wang H, Lizhu Y, *et al.* A new distal radius fracture classification depending on the specific fragments through machine learning clustering method. BMC Musculoskelet Disord. 2024;25(1):1085. Disponible en: https://doi.org/10.1186/s12891-024-08215-1.

14. Gutiérrez-Espinoza H, Araya-Quintanilla F, Cuyul-Vásquez I, Gutiérrez-Monclus R, Reina-Gutiérrez S, Cavero-Redondo I, *et al.* Effectiveness and Safety of Different Treatment Modalities for Patients Older Than 60 Years with Distal Radius Fracture: A Network Meta-Analysis of Clinical Trials. Int J Environ Res Public Health. 2023;20(4):3697. Disponible en: https://doi.org/10.3390/ijerph20043697.

15. Shen O, Chen CT, Jupiter JB, Chen NC, Liu WC. Functional outcomes and complications after treatment of distal radius fracture in patients sixty years and over: A systematic review and network meta-analysis. Injury. 2023;54(7):110767. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.injury.2023.04.054.

16. Bredy TM, Glasgow C, Liddle J, Colwell S, Holding J, Swan S, *et al.* Considering occupational performance during recovery of distal radius fracture: A scoping review. Aust Occup Ther J. 2024;71(5):798-832. Disponible en: https://doi.org/10.1111/1440-1630.12965.

17. Mehta SP, Karagiannopoulos C, Pepin ME, Ballantyne BT, Michlovitz S, MacDermid JC, *et al.* Distal Radius Fracture Rehabilitation. J Orthop Sports Phys Ther. 2024;54(9):CPG1-CPG78. Disponible en: https://doi.org/10.2519/jospt.2024.0301.

18. Zhou Z, Li X, Wu X, Wang X. Impact of early rehabilitation therapy on functional outcomes in patients post distal radius fracture surgery: a systematic review and meta-analysis. BMC Musculoskelet Disord. 2024;25(1):198. Disponible en: https://doi.org/10.1186/s12891-024-07317-0.

19. Choi S, Lee J, Bae KJ, Kim DK, Lee YH, Lee Y. Clinical effect of rehabilitation after distal radius fracture surgery using a wearable device: A comparative prospective cohort study. Hand Surg Rehabil. 2024;43(6):101779. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.hansur.2024.101779.

20. Gil-Henao GA, Moreno-Arango JD, Gómez-Rendón JF, Becerra-Velasquez J, Gil-Guerrero MA. Rehabilitación temprana de fracturas de radio distal con ortesis robóticas. Reporte de casos. Rev. Colomb. Ortop. Traumatol. 2021;35(2):147-54. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.rccot.2021.04.007.

21. Klopfer T, Hemmann P, Rupprecht V, Stuby F, Stöckle U, Meder A. Outcome Analysis of Distal Radius Fracture with Orthosis Versus Cast Immobilization after Palmar Plate Osteosynthesis: A Randomized Controlled Study. J Pers Med. 2023;13(1):130. Disponible en: https://doi.org/10.3390/jpm13010130.

22. D'Amado MP, Costa HCO, Annichino RF, Pulino BFB, Guerra R. Advancing Distal Radius Fracture Treatment with Direct-Molded 3D-Printed Orthoses without 3D Scanning Using FDM and PLA. A Novel Technology. Am J Biomed Sci & Res. 2024;23(5):AJBSR.MS.ID.003121. Disponible en: https://doi.org/10.34297/AJBSR.2024.23.003121.

23. Chen Z, Guo J, Liu Y, Tian M, Wang X. Design and analysis of exoskeleton devices for rehabilitation of distal radius fracture. Front Neurorobot. 2024;18:1477232. Disponible en: https://doi.org/10.3389/fnbot.2024.1477232.

24. Moreno A. Juan, Moreno A. Julian. Robots para rehabilitación y asistencia de mano y muñeca. En: IX Congreso Iberoamericano de Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad (Iberdiscap). Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana; 2017. p. 250-257.

25. Gummesson C, Atroshi I, Ekdahl C. The disabilities of the arm, shoulder and hand (DASH) outcome questionnaire: longitudinal construct validity and measuring self-rated health change after surgery. BMC Musculoskelet Disord. 2003;4:11. Disponible en: https://doi.org/10.1186/1471-2474-4-11.

26. García-González LA, Aguilar-Sierra FJ, Moreno-Serrano C, Enciso M. Traducción, adaptación cultural y validación de una escala de función del miembro superior: DASH. Rev Colomb Ortop Trau. 2020;34(3):231-40. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.rccot.2017.06.011.

27. International Business Machines Corporation Manual (IBM). IBM SPSS - Estadísticas avanzadas V27; [citado junio 27 de 2026]. Disponible de: https://www.ibm.com/docs/en/SSLVMB_27.0.0/pdf/es/IBM_SPSS_Advanced_Statistics.pdf.

28. Cardoso DO, Galeno TD. Online evaluation of the Kolmogorov-Smirnov test on arbitrarily large samples, Journal of Computational Science. 2023;67(2023):101959. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jocs.2023.101959.

29. Gonzalez T, Sahni S, Franta R. An Efficient Algorithm for the Kolmogorov-Smirnov and Lilliefors Tests. ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS). 1977;3(1):60-64. Disponible en: https://doi.org/10.1145/355719.355724.

30. Zhou Y, Zhu Y, Wong WK. Statistical tests for homogeneity of variance for clinical trials and recommendations. Contemp Clin Trials Commun. 2023;33:101119. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.conctc.2023.101119.

31. Mishra P, Singh U, Pandey CM, Mishra P, Pandey G. Application of student's t-test, analysis of variance, and covariance. Ann Card Anaesth. 2019;22(4):407-11. Disponible en: https://doi.org/10.4103/aca.ACA_94_19.

32. Sundjaja JH, Shrestha R, Krishan K. McNemar And Mann-Whitney U Tests. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [citado junio 27 de 2026]. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560699/.

33. Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. Front Psychol. 2013;4:863. Disponible en: https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863.

34. Zha Q, Xu Z, Yang H, Zhang G, Cai X, Zhang W, *et al*. Development of a robot-assisted reduction and rehabilitation system for distal radius fractures. Front Bioeng Biotechnol. 2024;11:1342229. Disponible en: https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1342229.

35. Tan EW, Chai SC, Sankai Y, Shingu M, Razaob NA, Hussain H. Single Joint Hybrid Assistive Limb (HAL-SJ) robotic exoskeleton therapy in improving functional outcomes among workers with wrist fractures: Study protocol for a randomized controlled trial. PLoS One. 2025;20(4):e0322191. Disponible en: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322191.

36. Picelli A, Daniele M, Modenese A, Filippetti M, Saggioro G, Gandolfi M, *et al*. Robot assisted arm training for treating adult patients with distal radius fracture: a proof of concept pilot study. Eur J Phys Rehabil Med. 2020;56(4):444-50. Disponible en: https://doi.org/10.23736/S1973-9087.20.06112-2.

37. Colombia. Ministerio de Salud. Resolución 8430 de 1993 (octubre 4): Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud [Internet]. Bogotá D.C.; octubre 4 de 1993 [citado junio 22 de 2026]. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/lists/bibliotecadigital/ride/de/dij/resolucion-8430-de-1993.pdf.

38. World Medical Association (WMA). WMA Declaration of Helsinki – Ethical principles for medical research involving human participants [Internet]. Helsinki: 75th WMA General Assembly; 2024 [citado junio 27 de 2026]. Disponible en: https://www.wma.net/es/policies-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/.