



RIDUNAJ
Repositorio Institucional
Digital UNAJ



Tesis de Grado

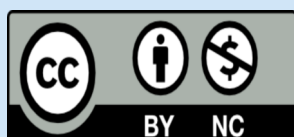
Durruty, Facundo y Landa, Valentín

La técnica de restricción del flujo sanguíneo, como complemento de la rehabilitación kinésica, en pacientes que fueron inmovilizados por fractura de radio distal

Instituto de Ciencias de la Salud

2025

*Carrera: Licenciatura en Kinesiología y
Fisiatría*



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons.

Atribución – No comercial 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Documento descargado de RID - UNAJ Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Arturo Jauretche

Cita recomendada:

Durruty, F. y Landa, V. (2025). *La técnica de restricción del flujo sanguíneo, como complemento de la rehabilitación kinésica, en pacientes que fueron inmovilizados por fractura de radio distal* [Tesis de grado, Universidad Nacional Arturo Jauretche]. <https://rid.unaj.edu.ar/handle/123456789/3672>



Instituto de Ciencias de la Salud

TESINA

presentada para acceder al título de grado de la Carrera:

LICENCIATURA EN KINESIOLOGÍA Y FISIATRÍA

Título: “La técnica de restricción del flujo sanguíneo, como complemento de la rehabilitación kinésica, en pacientes que fueron inmovilizados por fractura de radio distal”.

Autores:

Durruty, Facundo – Legajo N°:23063

Landa, Valentín – Legajo N°:28365

Directora: Lic. Victoria Sombra

Fecha de Presentación: 25/08/2025

Firma de los Autores

Agradecimientos

Este proyecto marca el final de una etapa importante en mi vida, una etapa extensa, llena de aprendizajes, muchos momentos positivos y otros no tanto, pero que han sido importantes para forjar la persona que soy hoy.

Por mi parte, agradecerles en primer lugar a mis papás, Jorge y Stella y a mi hermana, Ayelén, que me apoyaron en este camino y fueron un gran sostén todos estos años. También agradecerles a mis amigos/as, a mi novia y otros familiares que estuvieron presentes en éste y tantos otros proyectos personales.

Quiero hacer una mención especial a Valentín, mi compañero en esta Tesina y un hermano que me dió la vida, así como a Santiago, Leandro y Matías, sin los cuales mi carrera en la Universidad no hubiese sido la misma.

Por último, dedicarle este momento a mi abuela María, quien ya no está físicamente pero va a estar presente toda mi vida, y estoy seguro que estará muy contenta donde esté por este final de mi carrera como estudiante y el inicio de mi carrera profesional.

Durruty, Facundo

Finalizar este proyecto no sólo marca el cierre de una etapa académica, sino el resultado de un largo camino lleno de aprendizajes, desafíos y crecimiento personal. A lo largo de la Carrera atravesé momentos buenos y otros no tanto, pero estoy convencido de que todos ellos me formaron y me permitieron llegar hoy a ser un profesional de la salud.

Hago una mención especial a Facundo, hermano y futuro colega que me dio la facultad, junto con Leandro, Santiago y Matías.

Por mi parte, agradezco especialmente a Tatiana, Marcela y Juan Cruz y a toda mi familia que me acompañó lo largo de este recorrido. Por último, dedicarle este momento a mi papá y a mi abuela que ya no están físicamente pero presentes todos los días de mi vida y a Carlitos, mi abuelo, que estará orgulloso.

Landa, Valentín

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestra Directora, la Lic. Victoria Sombra, por su compromiso, dedicación, paciencia y calidad humana, no sólo a lo largo de este trabajo, sino también en nuestra formación académica a través de su rol docente.

Agradecemos también a la Universidad Nacional Arturo Jauretche, por formarnos como profesionales con educación integral, pensamiento crítico, social y humano.

Durruty, Facundo- Landa, Valentín

Abreviaturas

AVD: Actividades de la Vida Diaria

BFR: Blood Flow Restriction

BFR-HL: Blood Flow Restriction High Load

BFR-LL: Blood Flow Restriction Low Load

BFR-RE: Blood Flow Restriction con Ejercicio de Resistencia

CFCT: Complejo Fibrocartilaginoso Triangular

CV: Coeficiente de Variación

DASH: Disabilities of the Arm Shoulder and Hand

EVA: Escala Visual Análoga

FCT: Fibrocartílago Triangular

FRD: Fracturas de Radio Distal

IMC: Índice de Masa Corporal

LOP: Limb Occlusion Pressure

MVC: Contracción Máxima Voluntaria

PRWE: Patient Rated Wrist Evaluation

RAFI: Reducción Abierta y Fijación Interna

RFS: Restricción del Flujo Sanguíneo

ROM: Rango Optimo de Movimiento

RT: Rehabilitación Tradicional

TVP: Trombosis Venosa Profunda

UM: Unidades Motor

Índice

I.	Introducción.....	7
II.	Objetivos.....	9
II.1.	Objetivo General.....	9
II.2.	Objetivos específicos.....	9
III.	Justificación del problema de investigación.....	10
IV.	Marco Teórico.....	11
IV.1.	Anatomía funcional y biomecánica de la muñeca.....	11
IV.2.	Fracturas de radio distal y epidemiología.	13
IV.3.	Factores de riesgo.	13
IV.4.	Mecanismos de lesión.	15
IV.5.	Cuadro clínico y complicaciones.	16
IV.6.	Lesiones asociadas.	18
IV.7.	Tratamientos.	18
IV.8.	Tratamiento conservador.	20
IV.9.	Tratamiento quirúrgico.	21
IV.10.	Resultados clínicos.	24
IV.11.	BFR.	24
IV.11.a.	Conceptos generales.	24
IV.11.b.	Historia.....	25
IV.11.c.	Beneficios.....	26
IV.11.d.	Mecanismos Fisiológicos.....	26

IV.11.e. Modo de uso.....	31
IV.11.f. Efectos secundarios.....	34
IV.11.g. Consideraciones.....	35
IV.11.h. Contraindicaciones.	37
V. Metodología.....	37
VI. Contexto de análisis.....	38
VII. Resultados.....	48
VIII. Conclusión.....	50
IX. Referencias Bibliográficas.....	52

Índice de figuras

Figura 1	16
Figura 2	22
Figura 3	25
Figura 4	27
Figura 5	28
Figura 6	29
Figura 7	30
Figura 8	32
Figura 9	36
Figura 10	43

Índice de Tablas

Tabla 1.....	39
--------------	----

I. Introducción

La fractura de la parte distal del radio es una de las lesiones óseas más atendidas en los servicios hospitalarios de todo el mundo; constituye, aproximadamente, el 70% de las fracturas del antebrazo y es considerada la más frecuente en adultos menores de 75 años. A partir de los 50 años, la incidencia de la lesión empieza a tener más relación con las mujeres, especialmente hacia los 65 años⁽¹⁾.

Los tipos de fracturas de radio distal, en función de sus características, se conocen como: Colles, Smith, Barton o Hutchinson⁽²⁾.

Tanto los factores propios de la lesión como los del/de la paciente impactan en el manejo y los resultados consecuentes a la fractura distal del radio; lograr recuperar la fuerza, el rango de movimiento y la funcionalidad de manera óptima conlleva un período de tiempo de tres a seis meses, independientemente del tratamiento llevado a cabo. Sin embargo, cerca del 20% de los/las pacientes manifiesta dolor y discapacidad hasta un año a contar a partir de la fractura, y complicaciones tales como: dificultad en la movilidad de las manos, síndrome de dolor regional complejo (atrofia ósea de Sudeck) o defectos en la consolidación, lo que provoca un retraso en el retorno a la actividad laboral⁽²⁾.

Como fue mencionado, la incidencia de esta lesión ósea aumenta en los/las adultos/as mayores. Su distribución es bimodal; el primer pico de frecuencia se da a edades tempranas (más frecuente en niños varones) y se produce por traumatismos de alta energía, es decir, aquellas fuerzas que superan la capacidad resistiva de las porciones distales del radio o de los huesos de la articulación radiocarpiana en conjunto; mientras que el segundo pico ocurre durante la tercera edad y se asocia a caídas o traumatismos de baja energía, con mayor frecuencia en mujeres⁽²⁾.

Las causas más comunes en pediátricos/as y adultos/as jóvenes están relacionadas a actividades deportivas o lúdicas y accidentes automovilísticos; por el contrario, las causas más frecuentes en adultos/as mayores se deben a los mencionados traumatismos de baja energía, en general, por una caída desde propia altura o incluso inferior a ésta⁽²⁾.

Desde la biomecánica, las lesiones son producidas cuando aparecen fuerzas en distintas direcciones que sobrepasan la capacidad que posee el sistema para mantenerse indemne y estable.

Dicha fractura se produce al apoyar la mano con una extensión dorsal de la muñeca, entre 40° y 90°. Por lo tanto, este modelo asume tres tipos de fracturas: por compresión en extensión, con aplastamiento o desplazamiento dorsal; por compresión en flexión, con aplastamiento o desplazamiento palmar; y fracturas complejas por combinación de los mecanismos anteriormente mencionados⁽¹⁾.

La disminución de la fuerza, del trofismo muscular y de la movilidad articular son algunos de los problemas que conlleva este tipo de fracturas. Es por tal motivo que la recuperación de dichas alteraciones es de suma importancia al momento de plantear objetivos de tratamiento por parte del profesional de la kinesiólogía.

Existen varias alternativas de tratamiento que podrían colaborar en el aumento de la fuerza y de la masa muscular dentro de la rehabilitación de este tipo de lesiones. Una de las alternativas más innovadoras dentro del ámbito kinésico, es la aplicación de la técnica de restricción del flujo sanguíneo(en adelante, RFS o BFR, por su nombre en inglés, Blood Flow Restriction).

La RFS consiste en la restricción del flujo sanguíneo de manera aferente y eferente durante la realización de ejercicios de baja intensidad. Esto permite reducir el aporte arterial de manera parcial y el aporte venoso en su totalidad en el segmento corporal a tratar⁽³⁾.

La aplicación de esta técnica, junto a la realización de ejercicios, podría cambiar la exigencia metabólica de los músculos y generar múltiples beneficios sobre el sistema musculoesquelético⁽⁴⁾.

Con respecto a lo articular, podría tener injerencia sobre el rango de movimiento de la muñeca y el antebrazo en el transcurso del programa rehabilitador⁽⁵⁾.

A su vez, podría reducir la percepción del dolor al producir una isquemia local; y disminuir rápidamente las concentraciones de factores inflamatorios, ya que aumenta el metabolismo⁽⁶⁾.

La rehabilitación es un proceso integral que busca recuperar la función de un segmento o región que sufrió una lesión o ha sido intervenida quirúrgicamente. Para lograr esto, es

esencial contar con el trabajo interdisciplinario de profesionales como kinesiólogos/as, terapeutas ocupacionales, médicos/as fisiatras, ortesistas- protesistas, psicopedagogos (para pacientes pediátricos, niños/as); que enfoquen, a través de sus diferentes medios, programas de rehabilitación que deriven en un mismo objetivo, restaurar de manera óptima la función perdida o alterada.

La kinesiólogía es aquella ciencia que estudia el movimiento corporal, que involucra factores anatómicos, fisiológicos, biomecánicos y conductuales. El enfoque se basa en combinar técnicas, movilizaciones, ejercicios y agentes físicos que ayuden a devolverle al/a la paciente una buena calidad de vida, que pueda realizar sus actividades diarias, laborales o deportivas previas a la lesión sufrida. Entonces, el/la profesional de kinesiólogía cumple un rol fundamental en el equipo interdisciplinario encargado de rehabilitar las distintas patologías, por lo tanto, es indispensable estar abierto a la incorporación de nuevas estrategias o terapias que resulten en una mejor recuperación del paciente.

A partir de lo enunciado precedentemente, la pregunta de investigación que guía el presente trabajo es la siguiente: ¿cuáles son los beneficios de la utilización de la técnica de restricción del flujo sanguíneo, en el tratamiento kinésico de pacientes adultos/as que presentan hipotrofia y debilidad muscular, a consecuencia de la inmovilización posterior a una fractura de radio distal?

II. Objetivos

II.1. Objetivo General

- Identificar y puntualizar los beneficios que aporta la técnica de restricción del flujo sanguíneo, como complemento de la rehabilitación kinésica en pacientes que fueron inmovilizados/as por fractura de radio distal.

II.2. Objetivo Específicos

- Analizar los efectos negativos de la inmovilización del antebrazo en pacientes con fractura de radio distal.
- Describir el método y los mecanismos de acción de la técnica de restricción del flujo sanguíneo en la recuperación de pacientes post fractura de radio distal.

- Determinar el rol del profesional de la kinesiología en la rehabilitación de los/las pacientes que transitan la recuperación de una fractura de radio distal, tanto en un tratamiento convencional como en un tratamiento en el que se incluye la aplicación de la técnica de restricción del flujo sanguíneo.

III. Justificación del problema de investigación

Las fracturas de radio distal son unos de los principales traumatismos del antebrazo; sus consecuencias son variadas e incapacitantes. Lograr una recuperación óptima de la movilidad, de la función de la muñeca y la mano, y la disminución del dolor suele ser dificultoso. La aplicación de diferentes técnicas kinésicas en un plan de tratamiento puede resultar beneficiosa para mejorar la funcionalidad del segmento y acelerar los tiempos de recuperación.

Una de las principales problemáticas de este tipo de lesión es su impacto económico dentro de sistema de salud, el cual resulta considerable debido al alto costo sanitario asociado al tratamiento, ya que implica la atención inmediata (diagnóstico, reducción de la fractura o intervención quirúrgica, internación) y un largo proceso de rehabilitación para restaurar la funcionalidad de la muñeca y la mano, segmentos del cuerpo que son indispensables para realizar las actividades de la vida diaria y laborales. Además, existen otros gastos adicionales, a saber: consultas médicas recurrentes, terapias alternativas y materiales de ortesis que incrementan los costos para el sistema de salud.

Otro factor problemático que acarrea la lesión es la dificultad para la reinserción laboral que presenta el/la paciente, especialmente aquel/lla cuyo trabajo depende de la movilidad y la destreza manual. La incapacidad para recuperar de manera completa la funcionalidad puede prolongar la ausencia laboral, lo que afecta la calidad de vida y la estabilidad económica del/de la paciente.

Es por ello que lo que motiva la realización de esta tesina tipo informe de investigación, es conocer si la aplicación de la técnica de RFS dentro de un programa de rehabilitación, puede optimizar el proceso de recuperación física, ayudar a reducir los costos sanitarios asociados a la lesión y acelerar la reinserción laboral de los/las pacientes.

IV. Marco Teórico

IV.1. Anatomía funcional y biomecánica de la muñeca

Comprender la anatomía funcional y la biomecánica del miembro superior, y particularmente del codo y la muñeca, resulta indispensable para entender la implicancia tanto clínica como terapéutica de las fracturas en la parte distal del radio.

Estas regiones forman parte de un conjunto osteoarticular y músculo tendinoso altamente especializado, y su función está orientada al control preciso del movimiento y la fuerza en las extremidades superiores.

Desde el punto de vista anatómico, la muñeca está formada por los extremos distales del radio y el cúbito (quienes forman el esqueleto del antebrazo), junto a los ocho huesos que forman el carpo (organizados en dos filas). Esta arquitectura permite una gran movilidad, pero también conforma una región propensa a inestabilidades y lesiones provocadas por traumatismos de diferente índole⁽⁷⁾.

La parte distal del radio está incluida en dos articulaciones: la radiocubital distal y la radiocarpiana. La articulación radiocubital distal es una diartrosis de tipo trocoide, la cual permite la rotación del radio sobre el cúbito en el extremo distal del antebrazo. Está formada por la escotadura cubital del radio y la cabeza del cúbito, complementadas por el fibrocartílago triangular (FCT), que separa esta articulación de la cavidad articular radiocarpiana. El FCT, junto con los ligamentos radiocubitales dorsales y palmares, asegura la estabilidad dinámica de la articulación, especialmente en la pronosupinación⁽⁸⁾⁽⁹⁾.

Desde el punto de vista funcional, la articulación radiocubital distal colabora con la radiocubital proximal y la interósea en la rotación del antebrazo. En pronación, el radio cabalga sobre el cúbito; mientras que en el movimiento de supinación, ambos huesos se colocan paralelamente. La estabilidad longitudinal de esta articulación depende de la integridad de la cápsula y los ligamentos; cuya alteración, tras una fractura de radio distal, puede provocar algún grado de inestabilidad dolorosa o limitación funcional⁽¹⁰⁾.

La articulación radiocarpiana, por su parte, está conformada por la superficie articular distal del radio y el FCT, que contactan con el escafoides, semilunar y piramidal del carpo. Se clasifica como una articulación diartrosis de tipo condílea, conformación que le permite a la muñeca los movimientos en los planos sagitales (flexión-extensión) y coronal (desviación radial y cubital). La congruencia articular y la estabilidad están reforzadas por la cápsula articular y diversos ligamentos extrínsecos e intrínsecos, como los ligamentos radiocarpianos dorsales y palmares, y los colaterales radial y cubital⁽⁹⁾.

La biomecánica de la muñeca implica la transmisión de cargas desde la mano hacia el antebrazo. Estudios demostraron que del total de la carga el 80% es absorbido por el radio, y el 20% por el cúbito, gracias al sistema de estabilización pasiva del FCT⁽⁸⁾. Cualquier fractura que altere la alineación del radio en su porción distal puede modificar significativamente esta distribución y generar un aumento de las tensiones articulares, condición que predispone a la degeneración articular precoz⁽¹¹⁾.

Con respecto a la musculatura del codo, los músculos flexores son el bíceps braquial, braquial anterior y braquiorradial, mientras que los extensores son el tríceps braquial y ancóneo. Para la pronación y supinación del antebrazo, actúan el pronador redondo y pronador cuadrado (pronación), el supinador corto y el bíceps braquial (supinación) ⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾.

En la región de la muñeca y mano, la flexión está a cargo del palmar mayor, palmar menor y cubital anterior; la extensión la realizan el primer y segundo radial externo, el extensor común de los dedos y cubital posterior. También se puede entender a los músculos epitrocleares como flexores y a los epicondileos como extensores. La inclinación radial está dada por el primer radial externo y el abductor largo del pulgar, mientras que la inclinación cubital por el cubital posterior⁽¹²⁾. A su vez, los músculos pronadores y supinadores modulan la orientación del antebrazo, esencial para la colocación funcional de la mano⁽⁸⁾.

La coordinación entre los grupos musculares y los estabilizadores pasivos, es fundamental para mantener el rango de movimiento y la función posterior a una fractura. La activación desorganizada o precoz de la musculatura puede alterar la mecánica normal

de las articulaciones involucradas, situación que afecta el proceso de rehabilitación y la calidad funcional final del paciente⁽¹¹⁾.

IV.2. Fracturas de radio distal y su epidemiología

Por lo general, la fractura de radio distal ocurre 2cm por encima de la superficie articular distal, sector en el cual la cortical del hueso se presenta más delgada y reforzada por la red ósea trabecular⁽²⁾. Es la segunda fractura más común en adultos mayores, además de ser una de las lesiones más frecuentes del miembro superior, lo que supone alrededor del 15% de todas las lesiones de esta región del cuerpo, y cerca del 20% del total de las fracturas que atienden los servicios de urgencia⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾. Su frecuencia es mayor en mujeres postmenopáusicas a causa de caídas de baja energía, y en adultos jóvenes se da tras traumatismos de alta energía (actividades deportivas, accidentes de tránsito), que desencadenan fracturas conminutas y lesiones de partes blandas⁽⁷⁾⁽¹³⁾.

Este patrón epidemiológico ha generado un interés creciente por considerar a la FRD como un marcador precoz de fragilidad ósea y predictor de futuras fracturas, especialmente vertebrales y de cadera⁽²⁾.

Comprender los factores de riesgo y el pronóstico de las fracturas de radio distal resulta esencial para identificar la carga socioeconómica general, la prevención y el mejor tratamiento. Es importante considerar la epidemiología de la lesión para planificar las estrategias de rehabilitación y desarrollar programas de prevención acordes a las necesidades de cada grupo de edad que sufre esta afección⁽²⁾.

IV.3. Factores de riesgo

Los principales factores de riesgo asociados a las fracturas de radio distal se dividen en edad y sexo, estilo de vida/densidad de población, factores estacionales o ambientales, y condiciones de salud. Por otra parte, también hay que considerar los factores pronósticos, que incluyen, además del sexo y edad, al dolor y la incapacidad en el complejo muñeca-mano, la ocupación, la salud ósea y los factores socioeconómicos.

Cuando la fractura ocurre en un esqueleto inmaduro, el crecimiento óseo y los procesos modeladores permiten una recuperación óptima; lo contrario ocurre en la edad adulta, en la que hay mayor riesgo a una consolidación defectuosa (condición negativa que repercute en el dolor y la discapacidad). El sexo también es un factor determinante, se relaciona con la masa ósea máxima, su tasa de pérdida y la pérdida de fuerza muscular. Las mujeres postmenopáusicas presentan una mayor vulnerabilidad debido a la reducción hormonal que impacta negativamente sobre la masa ósea⁽²⁾.

La mayoría de las fracturas producidas por traumatismos de baja energía en la edad adulta mayor se atribuyen a la propia reacción de estirar la mano como mecanismo protector para detener la caída o estabilizar una pérdida de equilibrio. Por ejemplo, se demostró que mujeres con buen control neuromuscular y velocidades de marcha más acelerados tienen mayor riesgo de fractura de radio distal en comparación con aquellas mujeres que carecían del tiempo de reacción para detener la caída, por lo que estas últimas tienen más probabilidades de impactar con la parte más proximal del miembro superior o con la cadera⁽²⁾.

Otros factores de riesgo que asumen más importancia en la edad adulta son la osteoporosis y otras condiciones que resultan en una mala calidad ósea (accidente cerebrovascular, diabetes, artritis reumatoidea o enfermedad renal), ya que los traumatismos de baja energía serían insuficientes para causar la fractura de un hueso indemne.

En relación a la ocupación, un estudio de adultos en edad activa laboralmente informó que se pierde un promedio de 9 semanas de trabajo, en el cual la discapacidad y las exigencias en el puesto son los puntos fuertes del tiempo perdido. Por otra parte, se descubrió, a partir de estudios de seguimiento, que cuanto mayor era el nivel educativo mayor era la mejoría en cuanto al dolor, rango de movimiento, fuerza de agarre y menor discapacidad; debido a que los pacientes tienden a cambiar de trabajo más fácilmente, trasladándose a un entorno laboral que resulte menos estresante físicamente, en comparación con aquellos con menos nivel educativo (con más probabilidades de

estarempreadados en trabajos de menor ingreso, que requieren actividades manuales). Además, aquellos pacientes con más estabilidad económica pueden acceder o adherirse a mejores centros de atención y rehabilitación⁽²⁾.

IV.4. Mecanismo de lesión

El mecanismo de lesión principal o más habitual suele ser una caída sobre el talón de la mano, que consiste en una fuerza de compresión transmitida desde el obstáculo fijo (por ejemplo, el suelo) al antebrazo, es decir, se produce una transmisión axial de la fuerza a través del carpo que impactan sobre el extremo distal del radio (**Figura 1**). Biomecánicamente, la caída produce una sollicitud de tensión en la cara palmar del hueso y una sollicitud de compresión en su cara dorsal.

La angulación para producir la fractura en el radio distal es entre 40° y 90° de extensión; si la extensión es más forzada provoca lesiones en el escafoides y/o luxación del semilunar, y si el ángulo de extensión es menor la lesión se puede producir en otro sector del antebrazo. Por otro lado, según la posición del miembro en relación al tronco al momento de la caída, puede existir un componente de pronación cuando está por delante o un componente de supinación si el miembro queda situado por detrás. La inclinación radial o cubital en el momento del mecanismo lesivo determina si hay mayores complicaciones en la parte interna o externa de la articulación⁽¹³⁾.

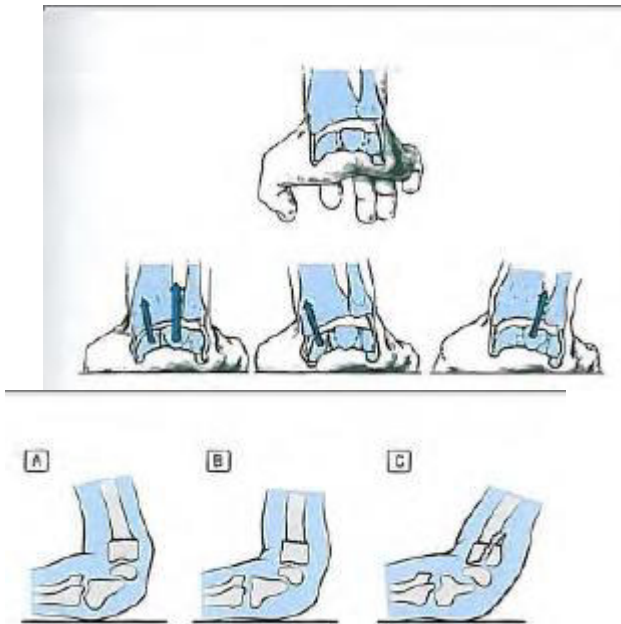


Figura 1. Principal mecanismo de lesión de la articulación.

IV.5. Clínica y complicaciones

La clínica característica incluye dolor agudo localizado en la muñeca, tumefacción/inflamación, hipersensibilidad y, en ocasiones, equimosis. Con la presencia de impotencia funcional de muñeca y mano, puede acompañar también la sintomatología de compresión del nervio mediano lo cual genera parestesias en las zonas que inerva, lo que permite que el profesional evalúe su territorio sensitivo, al igual que el del nervio cubital⁽¹³⁾. La movilidad se encuentra limitada por el dolor, y puede haber crepitación ósea al movilizar pasivamente la articulación⁽¹⁴⁾.

Es preciso realizar estudios complementarios que confirmen el diagnóstico, corroborar el trazo de fractura, además de su tipo y la conminución o los desplazamientos que se pudieron producir⁽¹³⁾.

En algunas de las formas desplazadas existe un relieve anormal en la zona del carpo, con una traslación dorsal y radial de toda la mano, conocida como deformidad en dorso de tenedor. Cuando la traslación es ventral esta deformidad se conoce como vientre de tenedor ⁽¹³⁾.

El pronóstico de estas fracturas empeora con la presencia de trazos intraarticulares o mucha conminución o angulación.

Existen casos donde el paciente experimenta una morbilidad considerable y estrés o dificultad, siempre que la consolidación se retrase y se produzca una pérdida permanente de la función o persista el dolor. Además, el tiempo que se necesita para recuperar la normalidad de la función tras un tratamiento adecuado puede ser prolongado⁽¹⁴⁾.

Anteriormente, se utilizaban pruebas de fuerza de agarre, rango de movimiento y mediciones radiográficas para objetivar la evaluación clínica y sus resultados, ya que estos parámetros pueden brindar información sobre el resultado de cada paciente, pero sin considerar sus capacidades funcionales, niveles de dolor o su capacidad para reanudar sus AVD; por lo que los resultados informados por el paciente se utilizan para informar las limitaciones de la actividad de los miembros superiores posteriores a un traumatismo y/o cirugía ortopédica. Las puntuaciones más empleadas luego de una fractura de radio distal son las escalas DASH (por sus siglas en inglés, Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) o QuickDASH (es más abreviado que el DASH), que evalúan la discapacidad del brazo, hombro y mano, y la PRWE (Patient Rated Wrist Evaluation), que mide la función y el dolor de la muñeca⁽¹⁵⁾.

En cuanto a las complicaciones, se reporta que hasta un 16% de los pacientes puede presentar dolor crónico o discapacidad residual a un año de haber sufrido la lesión, incluso después del tratamiento correcto⁽²⁾.

Los resultados funcionales tienden a ser peores en pacientes de edad avanzada, con mala calidad ósea o comorbilidades asociadas, y cuando existe una fractura concomitante de la estiloides cubital⁽¹⁶⁾.

Las FRD pueden dar lugar a una variedad de desafíos que trascienden simples defectos esqueléticos. Las secuelas funcionales se manifiestan con disfunción de la muñeca, que involucra o implica una limitación en la amplitud de movimiento, rigidez general y pérdida

de la fuerza; es decir, puede desencadenar no solo en complicaciones óseas sino que también en complicaciones articulares y musculares.

IV.6. Lesiones asociadas

Entre las lesiones asociadas más frecuentes se encuentran las fracturas del estiloides cubital, que sufre avulsión por tracción del ligamento triangular, lo que favorece un desplazamiento mayor de la fractura del radio; también, aunque con mucha menos frecuencia, se puede producir fractura del cuello cubital. Por otro lado, junto a la fractura del radio distal se pueden asociar lesiones del complejo fibrocartilaginoso triangular (CFCT) y luxaciones perilunares, debido a que la transmisión de la fuerza también afecta a estructuras vecinas de la articulación radiocubital distal y del carpo⁽¹³⁾⁽¹⁷⁾. A su vez, pueden presentarse lesiones tendinosas, especialmente de los extensores o del flexor largo del pulgar, cuando el fragmento óseo desplaza y tensiona dichos tejidos, síndrome del túnel carpiano o rigidez persistente de muñeca.

Por otro lado, las primeras fracturas se asocian con un riesgo aproximadamente 85% mayor de futuras fracturas por fragilidad, cuando hay pérdida ósea a nivel sistémico debido al cuadro clínico de osteoporosis⁽²⁾.

La contractura adhesiva (fibrosis tisular que afecta la movilidad de la articulación) es una de las secuelas más comunes de estas fracturas, que suelen acompañarse de dolor, lo que afecta considerablemente la calidad de vida del paciente. Otras complicaciones, como ya fueron nombradas, incluyen al síndrome del túnel carpiano (trastorno neuropático resultante de la compresión del nervio mediano), el síndrome de dolor regional complejo (trastorno multifactorial caracterizado por dolor intenso localizado) y la tenosinovitis⁽¹⁸⁾.

IV.7. Tratamientos

El abordaje de las fracturas de radio distal es complejo y multifacético, situación que refleja la diversidad de la etiología y su presentación en diferentes grupos de edad⁽¹⁸⁾. La atención inicial consiste en inmovilizar la articulación o el segmento con férula de yeso, y analgesia. El manejo clínico incluye desde la reducción cerrada e inmovilización, nombrada

anteriormente, hasta el tratamiento quirúrgico con osteosíntesis, en función del tipo de fractura y el grado de desplazamiento⁽¹⁴⁾.

Anteriormente, estas fracturas se trataban de forma conservadora mediante reducción con yeso o agujas de Kirschner. En los 2000, tras la llegada de las placas de bloqueo palmar con estabilidad angular y el posterior éxito de la fijación interna, se logró un cambio en el manejo de la fractura⁽¹⁵⁾.

Además del tipo y la presencia de desplazamiento o no, deben considerarse la densidad mineral ósea y la presencia de otras complicaciones como una lesión nerviosa, la edad, el estado funcional y el grado de actividad del paciente. Los objetivos, entonces, son restaurar la anatomía, quitar el dolor y restablecer la función de manera óptima y correcta⁽¹³⁾.

Algunas estrategias para el manejo del dolor incluyen métodos como la crioterapia y la estimulación eléctrica (analgésica), a medida que se emplean técnicas o maniobras que aumenten progresivamente la movilidad, en función de las características del/la paciente y la etapa del tratamiento en la que se encuentra. Posteriormente, se comienzan a incluir ejercicios propioceptivos y de estiramiento. Una vez disminuido el dolor, se inicia con ejercicios destinados al aumento progresivo de la fuerza muscular⁽¹⁸⁾.

El tratamiento de la fractura, como se mencionó previamente, depende de múltiples factores (tipo de fractura, grado de desplazamiento, afectación articular y características del/la paciente). A raíz de esto, la elección del abordaje puede dividirse en conservador y quirúrgico.

Las fracturas estables, no desplazadas, se tratan mediante reducción cerrada e inmovilización con yeso braquiopalmar durante un período de 4 a 6 semanas. Las fracturas inestables, articulares o desplazadas que no logran una buena alineación con el método conservador suelen requerir reducción abierta con fijación interna (RAFI), generalmente con placas bloqueadas volares⁽¹⁴⁾. Cada método tiene sus ventajas y sus consideraciones.

El proceso de rehabilitación kinésica tiene un rol esencial para la recuperación funcional del paciente, que permite comenzar tras la fase de inmovilización⁽¹³⁾. Por lo general, los pacientes alcanzan fuerza, ROM y función óptima entre el tercer y el sexto mes, independientemente del abordaje seleccionado; sin embargo, cerca de aproximadamente el 15% de las personas reportan dolor y discapacidad hasta un año posterior a la fractura⁽²⁾. Los objetivos principales son: recuperar el rango de movimiento articular, restaurar la fuerza muscular, y restablecer la función de la muñeca y la mano. Durante las primeras fases, se trabaja con movilización pasiva y activa-asistida, seguido de ejercicios progresivos de fortalecimiento⁽¹³⁾.

IV.8. Tratamiento conservador

El tratamiento conservador tiene la ventaja de ser menos invasivo, aunque puede asociarse a una mayor rigidez articular o pérdida de reducción en fracturas inestables⁽¹⁵⁾.

En los últimos años, algunos autores han propuesto criterios más estrictos para seleccionar pacientes candidatos al manejo conservador, utilizando parámetros como el ángulo de inclinación radial, la altura del radio y la angulación volar, además del estado del complejo fibrocartilaginoso triangular (CFCT).

En pacientes de edad avanzada con mala calidad ósea y mal estado de los tejidos blandos adyacentes, con una ligera deformidad y acortamiento radial, el tratamiento selecto es la reducción e inmovilización con yeso. Un aspecto sobre el cual no existe consenso es la duración de dicha inmovilización, ya que algunos profesionales recomiendan 4, otros 5 y otros hasta 6 semanas con el yeso. Un periodo prolongado tras una fractura de radio distal afecta de manera negativa la fuerza muscular, la amplitud articular y la función general de los miembros; por el contrario, acortar demasiado el periodo de inmovilización puede desencadenar en una pseudoartrosis o desplazar los fragmentos óseos de la fractura⁽¹⁶⁾.

Un estudio comparó dos subgrupos de pacientes que sufrieron la fractura de radio distal, tratados de manera conservadora, inmovilizados con yeso. A un grupo se le retiró la inmovilización a las 4 semanas y al otro a las 6, y se evaluaron diferentes parámetros de la

movilidad (en comparación con el lado sano y en comparación con el otro grupo). En todos los movimientos de la muñeca (extensión/flexión, desviación radial/cubital) el subgrupo de 6 semanas de inmovilización consiguió mejores rangos de movimiento en comparación con el subgrupo de 4 semanas; y ambos grupos tuvieron diferencias (salvo en la desviación radial del subgrupo de 6 semanas) con el lado sano.

Aunque el tratamiento conservador es una alternativa eficaz en fracturas estables y en pacientes de bajo requerimiento funcional, su eficacia puede verse comprometida en casos con osteoporosis o criterios de inestabilidad⁽¹⁹⁾.

IV.9. Tratamiento quirúrgico

En 1989, Lafontaine y compañía identificaron cinco criterios de inestabilidad, que son la edad (mayor a 60 años), una angulación dorsal mayor a 20°, conminución dorsal, extensión de la fractura a la articulación radiocarpiana y fractura cubital asociada. Estos predictores determinan la necesidad de un abordaje quirúrgico⁽¹⁵⁾. El método más utilizado es la reducción abierta con fijación interna (RAFI) mediante placas bloqueadas volares (**Figura 2**), que permiten una fijación estable incluso en huesos osteoporóticos, lo que facilita una rehabilitación temprana.

Además, otras técnicas como los clavos intramedulares, el fijador externo y los clavos de Kirschner pueden utilizarse en casos específicos, según la extensión de la fractura. Las placas volares han ganado popularidad por su baja tasa de complicaciones y por mantener mejor la reducción, incluso en fracturas multifragmentarias.

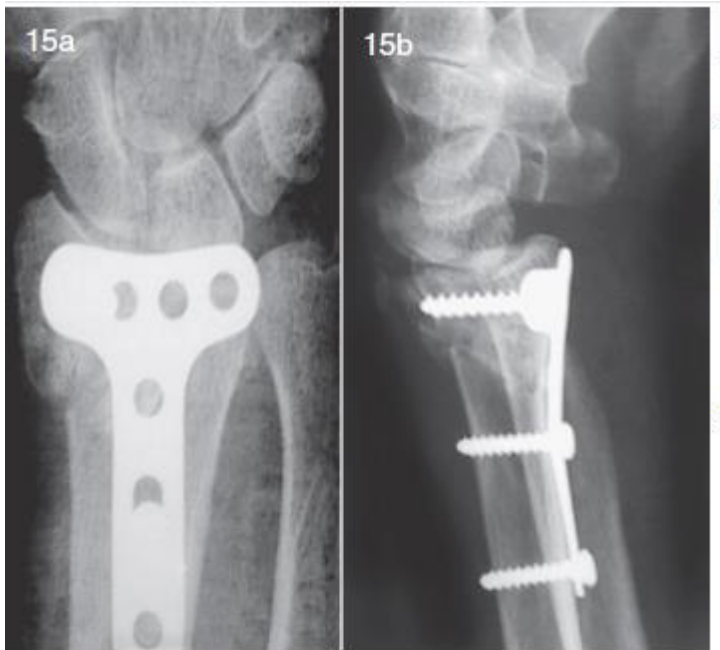


Figura 2.Imagen radiográfica de muñeca fracturada con reducción abierta y fijación interna (RAFI) y placas volares.

Desde un punto de vista biomecánico, las placas de bloqueo brindan una estabilidad superior a la fijación con agujas, y una estabilidad mucho mayor que las fuerzas implicadas en el movimiento activo de los dedos⁽¹⁵⁾.

Los principios básicos para el tratamiento de las fracturas de radio distal articular son los mismos que para otras fracturas del mismo tipo, reconstrucción de la anatomía, fijación estable y movilidad temprana, que, de manera sorpresiva, no se realiza de manera rutinaria en todas las fracturas de radio distal⁽¹⁵⁾.

En muchos casos, los profesionales reportan una extensión del periodo de inmovilización tras la fijación con placa; que se explica sobre la presencia de dolor durante la movilidad activa de la articulación en los primeros momentos post operatorios, y sobre la protección de la propia osteosíntesis en etapas de consolidación⁽¹⁵⁾. La terapia de rehabilitación temprana tras la cirugía es fundamental para alcanzar una función completa,

donde se abarque, además, la prevención de posibles complicaciones como la adherencia y la rigidez articular.

La planificación individualizada logra adaptar estos programas de rehabilitación a las necesidades específicas de cada uno, siempre en consideración de factores como el tipo de fractura y el método quirúrgico empleado.

Al existir diversidad de prácticas en diferentes entornos clínicos o terapéuticos, y una falta de protocolos estandarizados, aún hay controversias y opiniones contradictorias sobre el momento, los métodos y la intensidad óptimos de las intervenciones de la kinesiología tras una intervención quirúrgica de fractura de radio distal⁽¹⁸⁾.

Profesionales sugieren, luego de realizar varios estudios de casos, que la rehabilitación temprana es mejor que la atención estándar para recuperar la función óptima de los miembros superiores. Resultados de esos estudios exponen mejores puntuaciones (aunque no exista una diferencia significativa) en la función de la muñeca en aquellos pacientes que iniciaron rehabilitación temprana, además de una disminución del nivel del dolor⁽¹⁸⁾. Los pacientes se benefician de forma clínicamente significativa con una movilización precoz en la fase temprana del tratamiento kinésico, al menos hasta 3 meses pasada la intervención quirúrgica; y como ya se dijo, la movilización activa temprana de la muñeca no tiene correlación con mayor riesgo de dolor, pérdida de reducción o complicaciones⁽¹⁵⁾.

Ya en 1814, Colles advirtió a sus colegas sobre la inmovilización prolongada y la posible conducción a un deterioro funcional de la mano; más allá que otros estudios en fracturas de huesos largos hayan demostrado que los primeros dos meses de recuperación tienen una influencia importante en los resultados. Además, la carga axial en las posteriores tres semanas a la operación impacta en la consolidación ósea de manera significativa⁽¹⁵⁾.

La rehabilitación postoperatoria resulta fundamental en el manejo integral de las fracturas de muñeca. Restaurar la función y reducir el deterioro influyen de manera directa en la calidad de vida del paciente y en la duración de la baja laboral; dado que un gran porcentaje de las personas que sufren esta lesión está en edad laboral, hace que una

duración media de la licencia de aproximadamente 4 meses desempeñe un papel importante desde lo socioeconómico⁽¹⁵⁾.

IV.10. Resultados clínicos

Los estudios clínicos muestran que el tratamiento quirúrgico con placas de bloqueo produce mejores resultados en fuerza, movilidad, alineación radiográfica y retorno a la función al compararse con el tratamiento conservador, especialmente en fracturas complejas, pero aun así no significa que el quirúrgico esté exento de complicaciones, que dentro de las más frecuentes se incluyen irritación de tendones (principalmente el flexor largo del pulgar), pérdida de fijación, neuropatía del nervio mediano y, en raras ocasiones, síndrome compartimental.

Un metaanálisis reciente demostró que, aunque el tratamiento quirúrgico proporciona un mejor resultado a nivel radiológico, no existen diferencias significativas en el resultado respecto a la función y las complicaciones en comparación con el conservador⁽¹⁵⁾.

Una inmovilización más corta combinada con movilidad temprana, entonces, produce efectos positivos respecto al aumento de la participación y el nivel de actividad y a la reducción del deterioro. Ayuda a reducir el dolor, la inflamación y el edema, que pueden causar aumento del tejido cicatrizal y consecuentemente una reducción del rango de movimiento. Reducir la inmovilización, además, permite a los pacientes utilizar ambas manos para sus AVD, lo que mejora su calidad de vida y prolonga el tiempo de ejercicio⁽¹⁵⁾.

IV.11.BFR

IV.11.a. Conceptos generales

El entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo, conocido como Blood Flow Restriction (BFR), también denominado método “KAATSU” o “entrenamiento de oclusión vascular”, es una técnica que consiste en la restricción del flujo sanguíneo tanto aferente como eferente mediante la aplicación de bandas elásticas, torniquetes, cintas de velcro o dispositivos neumáticos colocados en las zonas proximales de grupos musculares a tratar, mientras se realiza ejercicio de baja intensidad. **Figura 3.**



Figura 3. Dispositivos neumáticos con ajuste de presión.

La restricción genera una disminución parcial del flujo sanguíneo arterial y una oclusión casi completa del retorno venoso, lo que modifica drásticamente el entorno metabólico del músculo durante el ejercicio. El objetivo de esta técnica es inducir significativamente adaptaciones musculares, como el aumento de fuerza e hipertrofia al utilizar cargas de entrenamiento bajas y medias, lo que permite reducir el estrés metabólico sobre las diferentes articulaciones y tejidos.

El método KAATSU ha ganado popularidad a través de los años tanto en el ámbito del acondicionamiento físico como en el de la rehabilitación, gracias a la efectividad para el mejoramiento muscular en las diferentes poblaciones que no pueden tolerar entrenamiento con cargas elevadas. ⁽²⁰⁾⁽²¹⁾

IV.11.b. Historia

El origen del entrenamiento con BFR nació en Japón, en la década de 1960, desarrollado por el Dr. Yoshiaki Sato, cuando asistía a un evento budista, éste se encontraba sentado cuando notó una hinchazón e incomodidad en el área de la pantorrilla, dándose cuenta que era similar a la hinchazón e incomodidad que sentía cuando realizaba ejercicios extenuantes

para levantar las pantorrillas, suceso que le dio pie para investigar lo que sucede cuando se restringe el flujo sanguíneo.

A mediados de 1973, Sato sufrió un accidente de esquí que le provocó una fractura bilateral de tobillos y una lesión en el ligamento colateral medial de la rodilla derecha, frente a este suceso le recomendaron realizarse una intervención quirúrgica, a lo cual este se negó y solicitó que le enyesaran las piernas. Durante el proceso de inmovilización comenzó a experimentar con la restricción del flujo sanguíneo en sus extremidades. Después de dos semanas de utilizar esta técnica, los médicos quedaron sorprendidos al observar una marcada hipertrofia en las piernas afectadas, a pesar de la inmovilización.

A partir de estos sucesos, Sato perfeccionó esta técnica con el tiempo, en colaboración con diferentes profesionales de la fisiología y medicina deportiva. A mediados de 1997 obtuvo la patente oficial de este método, que dio inicio de su expansión global y se consolidó como el precursor del BFR moderno, que se utiliza en diferentes programas de entrenamiento y rehabilitación en diversas disciplinas y contextos clínicos. ⁽²⁰⁾⁽²¹⁾

IV.11.c. Beneficios

La restricción del flujo sanguíneo se considera un método innovador no solo en el ámbito del entrenamiento físico, sino también, en el área clínica y de rehabilitación. Esto sucede gracias a los múltiples beneficios que genera, entre ellos se encuentra la hipertrofia muscular, el crecimiento del tamaño de las fibras musculares y el aumento de la fuerza muscular incluso al utilizar cargas bajas de entrenamiento. Además, presenta mejoras en la resistencia muscular al incrementar la tolerancia del músculo a la fatiga, estimulación hormonal y producción de factores de crecimiento, y mejoras en la función neuromuscular por la sincronización y reclutamiento de unidades motoras. ⁽²²⁾⁽²³⁾

IV.11.d. Mecanismos Fisiológicos

El Estrés Metabólico en el Entrenamiento con Restricción del Flujo Sanguíneo (BFR)

Uno de los principales estímulos fisiológicos responsables de las adaptaciones musculares inducido por el entrenamiento con BFR es el estrés metabólico. Esta técnica crea un entorno intramuscular caracterizado por hipoxia, acidosis metabólica y acumulación de metabolitos lo cual desencadena una cascada de respuestas hormonales,

neuromusculares y celulares específicas que favorecen a la hipertrofia y el mejoramiento del tejido muscular. ⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾

Acumulación de Metabolitos y Fatiga Muscular

Durante el ejercicio con BFR, se genera un ambiente hipóxico lo que favorece el predominio del metabolismo anaeróbico, esto incrementa la producción y retención de metabolitos como el lactato, fosfato inorgánico (Pi), iones de hidrógeno (H⁺) y ADP. Esta acumulación contribuye al aumento de la presión osmótica celular para generar una respuesta anabólica e intensificar el estrés metabólico. **Figura 4.** También, la acidificación del medio intracelular activa sensores moleculares como las vías AMPK (actívate proteinkinase) y MAPK que cumplen un papel en la regulación del crecimiento muscular.

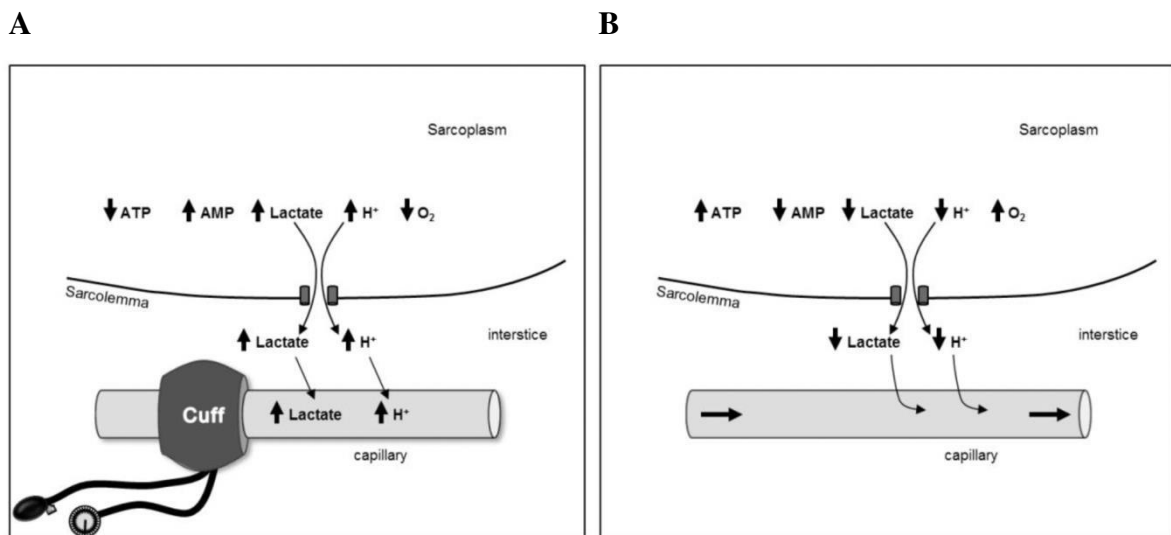


Figura 4. Efectos metabólicos durante (A) y después (B) del ejercicio con restricción del flujo sanguíneo.

Activación de Fibras de Contracción Rápida (Tipo II)

En condiciones de entrenamiento convencional, las fibras que primero se reclutan son las fibras de contracción lenta (tipo I) y a medida que aumenta la intensidad del ejercicio se reclutan las fibras de contracción rápida (tipo II). Normalmente para llegar al reclutamiento de este último tipo de fibras, se deben utilizar cargas del 70% de 1RM.

En condiciones de entrenamiento con uso de BFR, la acumulación de metabolitos y la fatiga precoz de las fibras tipo I obliga al sistema nervioso a reclutar progresivamente fibras tipo II, que son más propensas a la hipertrofia. Este fenómeno se denomina “reclutamiento compensatorio” y ocurre con cargas bajas de hasta 20% a 30% de 1RM. Este patrón de reclutamiento es beneficioso en contextos clínicos donde no se pueden usar cargas elevadas. **Figura 5.**

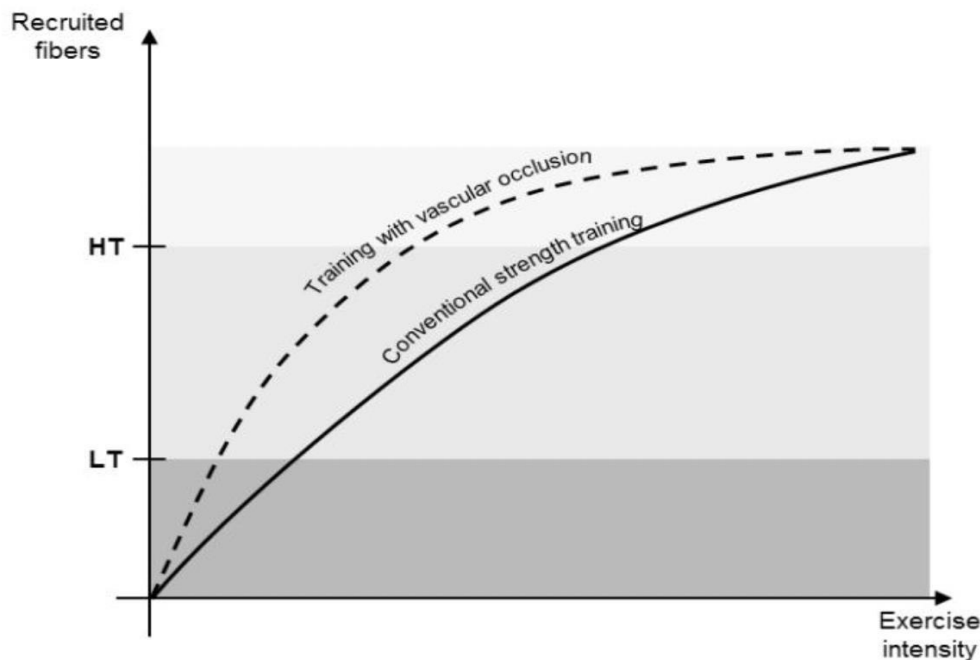


Figura 5. Reclutamiento de fibras musculares en entrenamiento convencional y con restricción del flujo sanguíneo. HT: umbral alto, LT: umbral bajo.

Respuesta Hormonal y Señalización Anabólica

La elevada concentración de lactato producida por el BFR estimula la secreción sistémica de hormonas anabólicas como la hormona de crecimiento (GH). Al mismo tiempo, la hipoxia promueve la liberación del factor de crecimiento similar a la insulina tipo 1 (IGF-1) tanto a nivel sistémico como local. Estas hormonas interactúan con receptores específicos en el sistema músculo esquelético, que activan diversas rutas de

señalización intracelular como mTOR/PI3K/Akt que regulan la síntesis de proteínas y la proliferación celular.

Aumento de la Síntesis de Proteínas Musculares

El entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo ha demostrado que es un estímulo que potencia la síntesis de proteínas musculares a través de la activación de diferentes rutas de señalización, en la que la vía mTOR resulta ser una de las más importantes. Este proceso se da al inducir el estado de hipoxia muscular localizado, lo que favorece a la acumulación de metabolitos (lactato, iones de H⁺ y fosfatos inorgánicos) y el estrés mecánico generado por el ejercicio. **Figura 6.** ⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾

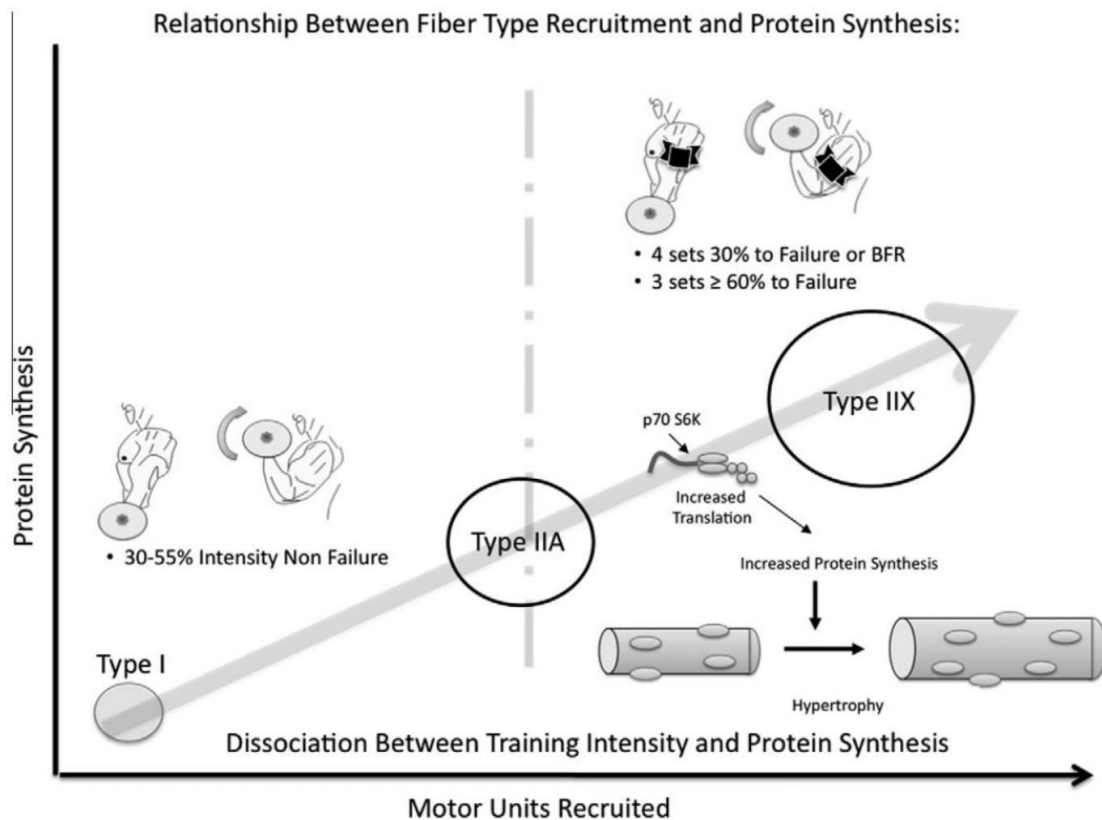


Figura 6. Relación entre la intensidad del entrenamiento, el reclutamiento de unidades motoras y la síntesis de proteínas musculares. Tanto el entrenamiento con cargas altas como el entrenamiento con BFR con cargas bajas llevadas al fallo permiten el reclutamiento de fibras tipo II (IIA y IIX), lo que estimula la activación de la vía mTOR y, en consecuencia, una mayor síntesis proteica.

Activación de la vía mTOR

La vía mTOR (mammalian target of rapamycin) es un complejo proteico central en la regulación del crecimiento celular y la síntesis de proteínas. Esta vía funciona como un sensor celular que responde a la disponibilidad de nutrientes (aminoácidos), la presencia de hormonas anabólicas como la hormona del crecimiento (GH) y el factor de crecimiento similar a la insulina tipo 1 (IGF-1) así como el estímulo mecánico generado por el entrenamiento.

Cuando esta vía se activa genera una cascada de señalización que desencadena a la fosforilación de proteínas como p70S6K y 4E-BP1, las cuales cumplen un rol fundamental en origen de la síntesis proteica.

Existen también otras vías de activación de la síntesis proteica, una de ellas es la MAPK/ERK, las cuales van a estar involucradas en la proliferación celular y la modulación del crecimiento muscular. La activación simultánea de estas múltiples vías demuestra como el BFR puede impulsar a aumentos significativos en la síntesis de proteínas musculares y en consecuencia al aumento de la hipertrofia muscular mientras se utilizan cargas relativamente bajas de entrenamiento.

Óxido nítrico y las adaptaciones al BFR

El óxido nítrico (NO) tiene un papel importante en la fisiología del músculo esquelético, especialmente en el área de la regeneración y adaptación inducida por el BFR. Esta es una molécula señalizadora sintetizada a partir de L-arginina por la enzima óxido nítrico sintasa (NOS). Esta se estimula a partir del aumento del flujo sanguíneo posterior a la oclusión y a la tensión mecánica, que favorece la vasodilatación y el aumento de la perfusión muscular una vez finalizada dicha restricción. A consecuencia, mejora el suministro de oxígeno y nutrientes, contribuye a una mayor activación de células satélite, facilita la regeneración y el crecimiento de las fibras musculares. **Figura 7.** ⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾

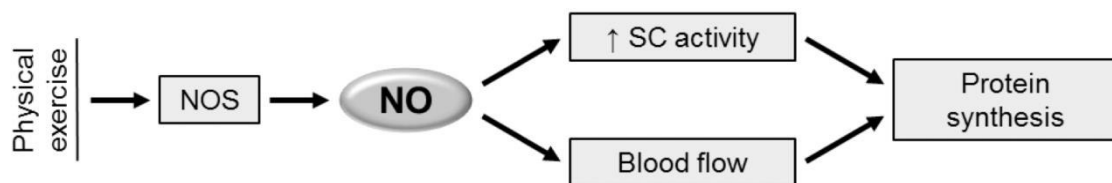


Figura 7. Influencia del óxido nítrico sintasa y el óxido nítrico y sus efectos fisiológicos. NOS: Óxido nítrico sintasa, SC: Células satélite.

IV.11.e. Modo de uso

La aplicación del BFR dentro del ámbito terapéutico puede darse en 3 modalidades:

- BFR con ejercicio de resistencia (BFR-RE): es una de las modalidades de uso más investigada y recomendada, combina la oclusión vascular con ejercicios contra resistencia. Es un método muy eficaz para programas de rehabilitación postoperatoria. Dentro de los protocolos que se encuentran actualmente, uno de los más utilizados consiste en 4 series donde la primera tiene de 30 repeticiones y el resto tiene 15 para un total de 75 repeticiones. El esquema utiliza descansos entre 30 a 60 segundos entre series y cargas entre 20% y 40% del 1RM, la oclusión recomendada oscila entre 40% y 80% de la presión de oclusión arterial.
- BFR con ejercicio aeróbico: Esta modalidad utiliza intensidades menores al 50% de la capacidad aeróbica o frecuencia cardiaca de reserva. Es efectiva para mejorar la función cardiorrespiratoria, la tolerancia al ejercicio y la masa muscular, especialmente adultos mayores y personas con movilidad reducida, incluye ejercicios como caminar o andar en bicicleta. Sin embargo, se recomienda el uso de presiones personalizadas y monitoreo constante, ya que presenta una alta variabilidad de protocolos. ⁽²¹⁾⁽³⁸⁾
- BFR pasivo: Consiste en la aplicación de oclusión sin ejercicio ni movilidad activa. Este modo se caracteriza por períodos de isquemia seguidos de periodos de reperfusión. Se aplica en fases agudas de rehabilitación o postquirúrgicas inmediatas, esto permite atenuar la atrofia incluso en condiciones donde se presenta una inmovilización completa. El protocolo utilizado consta entre 3-4 series de 5 minutos de restricción y 3 minutos de reperfusión. **Figura 8** ⁽²¹⁾⁽³⁸⁾⁽³⁹⁾

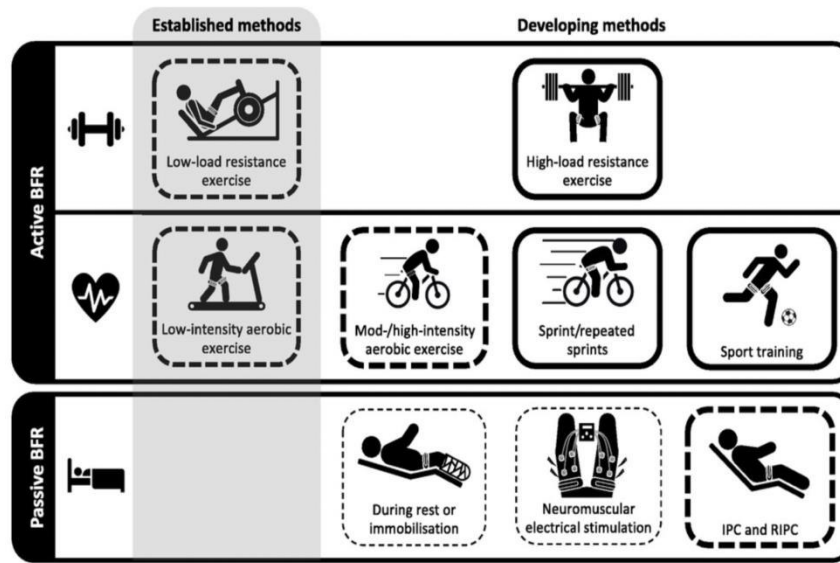


Figura 8.Tipos de modalidades de entrenamiento con BFR.

Protocolos de aplicación recomendados

Las guías actuales para la aplicación segura y eficaz del BFR sugieren que el profesional evalúe diversos elementos del proceso de tratamiento y del dispositivo incluido, entre ellas se encuentra:

- Elección de manguito adecuado: La selección adecuada del ancho del manguito es clave a la hora de la aplicación de esta técnica. Diversos estudios han demostrado que en un manguito más ancho, la presión necesaria para lograr la oclusión arterial es más baja en comparación con un manguito más estrecho.

Actualmente se recomienda un ancho de manguito para miembros superiores entre 3cm y 6cm, mientras que para miembros inferiores entre 6cm y 13,5cm.

- Determinación adecuada de presión: Diversos estudios concuerdan que para general una oclusión parcial se recomienda entre el 40%-80% de la presión de oclusión arterial (AOP) determinada en forma individual. ⁽³⁰⁾Actualmente para determinar la AOP se encuentran tres métodos diferentes: Doppler, fórmulas validadas y forma arbitraria.

Doppler: Es una herramienta que se utiliza para determinar con precisión la presión arterial oclusiva (PAO) necesaria para restringir parcialmente el flujo venoso sin comprometer completamente el flujo arterial. Se coloca en la arteria radial (en miembros superiores) y en la arteria tibial posterior (miembros inferiores) y se infla el manguito hasta que desaparece el sonido del flujo arterial, esta presión se toma como el 100%. ⁽³¹⁾

En el contexto de entrenamiento con BFR, la PAO oscila entre 40% y 80% según el objetivo terapéutico, la región corporal, el perfil del paciente y la tolerancia al procedimiento. ⁽³⁰⁾⁽³²⁾

Fórmulas validadas: Consisten en fórmulas que permiten determinar la PAO sin la necesidad de utilizar un dispositivo Doppler. Una de ellas es emplear valores antropométricos, como la circunferencia de la extremidad y valores de la presión arterial sistólica, ya sea en miembros superiores como en miembros inferiores.

Otra fórmula predictiva para medir la PAO únicamente en miembros inferiores tiene en cuenta la edad, sexo, circunferencia del muslo, presión arterial sistólica, presión arterial diastólica e índice de masa corporal. ⁽³³⁾

Forma arbitraria: Consisten en fórmulas y métodos subjetivos por parte del profesional o del paciente. Una de ellas consiste en utilizar presiones base que oscilen entre 150-200mmHg como medida aproximada para generar una restricción del flujo sanguíneo venoso y no arterial.

Otra manera consiste en una escala de 0 a 10, que codifica la presión únicamente a través de la valoración percibida por el/la paciente, en la que 0 significa que no hay presión, 7 representa presión moderada sin dolor y 10 es una presión intensa con dolor.

- Colocación del manguito: La recomendación estándar para la adecuada colocación del manguito es la ubicación más proximal al segmento a tratar, independientemente del grupo muscular a tratar.

- Supervisión profesional: Se recomienda que el BFR sea aplicado por profesionales capacitados en este método, ya que presiones mal calibradas pueden traer efectos adversos variados.

IV.11.f. Efectos secundarios

- Parestesias: la parestesia es uno de los efectos adversos que más reportes presenta a la hora de la práctica clínica de BFR. Este síntoma se debe a la compresión prolongada del tejido nervioso periférico a consecuencia de la presión del manguito, suele ser de carácter transitorio y reversible. Pero se debe tener un monitoreo clínico si se usa en personas que presenten sensibilidad alterada o neuropatías previas.
- DOMS: el daño muscular de aparición tardía se caracteriza por dolor muscular al tacto o al contraer el músculo entre 24- 72 horas posteriores al realizar entrenamiento con o sin BFR. Esta respuesta se da al micro daño que recibe el músculo al realizar entrenamiento de fuerza y por consiguiente la activación de procesos inflamatorios locales.
- Dolor: Hay pacientes que reportan cierto grado de dolor y discomfort a la hora de realizar ejercicio bajo el uso del BFR, incluso al utilizar cargas bajas. Esto suele darse por la hipoxia muscular inducida, la acumulación de metabolitos y la compresión de tejidos blandos. Sin embargo, algunos estudios han demostrado que el esfuerzo y el dolor percibido son iguales o incluso menores en comparación a los ejercicios de alta intensidad tradicionales. ⁽³⁵⁾
- Mareos/desmayos: Ha habido reportes de pacientes que experimentaron episodios de mareos y desmayos especialmente durante las primeras sesiones. Estos efectos pueden estar relacionados a la disminución del retorno venoso, las alteraciones transitorias de la presión arterial o bien una respuesta vagal aumentada ante la hipoxia o el dolor. ⁽²⁷⁾
- Rabdomiólisis: En lo que implica el uso de la técnica de BFR, se han reportado casos aislados de rabdomiólisis, especialmente en personas no entrenadas o que presentan antecedentes médicos no diagnosticados previamente. La rabdomiólisis se define como una degradación masiva del tejido muscular con liberación excesiva de

creatina quinasa y mioglobina al torrente sanguíneo, lo cual puede provocar alguna disfunción renal si no se trata oportunamente. ⁽³⁶⁾

IV.11.g. Consideraciones

La información básica requerida para el correcto uso de la técnica de restricción del flujo sanguíneo tiene como objetivo brindar seguridad al paciente, entre ellas incluyen:

1. Evaluación previa del paciente.

Antes de iniciar un programa de BFR, se debe realizar una valoración clínica exhaustiva que incluya: Historia médica completa (enfermedades cardiovasculares, metabólicas, trombóticas o neuromusculares), antecedentes personales y familiares de trombosis venosa profunda (TVP) o embolia pulmonar, estilo de vida (tabaquismo, sedentarismo, uso de anticonceptivos u otros medicamentos), evaluación del estado hemodinámico (presión arterial, frecuencia cardíaca y electrocardiograma), índice de masa corporal (IMC), aplicación de una escala de riesgo trombótico (ver tabla de puntuación). **Figura 9.**

2. Condiciones clínicas que requieren precaución o contraindican el BFR.

Se debe postergar o evitar el BFR en los siguientes casos:

- Hipertensión arterial no controlada ($\geq 180/100$ mmHg).
- Retinopatía diabética.
- Trastornos de la coagulación o enfermedades hematológicas.
- Cirugías recientes o inmovilizaciones prolongadas sin alta médica.
- Enfermedades cardiovasculares inestables.
- Presencia de 5 o más puntos en la escala de riesgo de trombosis.

3. Supervisión profesional.

El BFR debe ser aplicado siempre por un profesional capacitado (kinesiólogo, médico o entrenador certificado), se debe ajustar la presión de forma individual, idealmente con el uso del Doppler o fórmulas validadas. Por otra parte, no se recomienda la auto administración del BFR por parte del paciente.

4. Presión y duración adecuadas.

Para el correcto uso del BFR se debe evitar la oclusión arterial completa, se recomienda usar presiones submáximas (entre 40–80% de la presión arterial oclusiva). En cuanto a la

duración de entrenamiento por sesión se sugiere 10-15 minutos para miembros superiores y 15-20 minutos para miembros inferiores.

5. Monitoreo de síntomas durante la sesión.

Se debe suspender inmediatamente la sesión de BFR si se presentan: entumecimiento prolongado, mareos, síncope o inestabilidad, dolor agudo inusual, cambios en la coloración de la piel o aparición de hemorragias, dolor venoso localizado (vena dura o sensible al tacto).

6. Revisión periódica del protocolo.

Es importante reevaluar la presión de oclusión y los parámetros de entrenamiento al menos cada 2–4 semanas. También, se debe ajustar el protocolo según la evolución clínica del paciente y sus niveles de tolerancia y adaptación.

Por otra parte, por consecuencia del estancamiento de sangre que se produce durante el entrenamiento, existe un parámetro para evaluar el riesgo de infarto pulmonar y trombosis venosa profunda que utilizan los profesionales de la salud.

5 puntos corresponde a antecedentes de trombosis venosa profunda, tendencia trombotica hereditaria o síndrome de anticuerpos antifosfolípidos.

4 puntos se asigna a mujeres embarazadas. **3 puntos** se consideran factores como la presencia de várices en miembros inferiores, inmovilidad prolongada (incapacidad para realizar al menos ocho horas de rehabilitación con profilaxis trombotica) y afecciones cardiacas como fibrilación auricular o insuficiencia cardiaca. Factores de **2 puntos** incluyen: edad mayor de 60 años, índice de masa corporal (IMC) superior a 30, dislipidemia, diagnóstico oncológico, uso de torniquetes en miembros inferiores, consumo de anticonceptivos orales o esteroides adrenocorticales, cuadriplejía y niveles elevados de hemoglobina. Factores de **1 punto** incluyen personas entre 40 y 58 años, mujeres, y aquellos con un IMC entre 25 y 30.

Figura 9. Cada factor suma distintos puntos al total, una puntuación igual o superior a 5 se considera una contraindicación relativa o absoluta para realizar el entrenamiento con BFR ⁽³⁷⁾

IV.11.h. Contraindicaciones

El entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo ha sobresalido como una estrategia eficaz a la hora de inducir adaptaciones musculares en diferentes poblaciones, ya sean jóvenes, adultos mayores, personas sanas o con alguna limitación funcional. Sin embargo, su implementación debe realizarse con cautela, ya que existen riesgos potenciales asociados a su uso, así como contraindicaciones clínicas absolutas y relativas. ⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾

De acuerdo a los estudios analizados, las contraindicaciones absolutas incluyen:

- Trombosis activa o antecedente reciente de Trombosis venosa profunda
- Enfermedades cardiovasculares no controladas
- Enfermedades vasculares periféricas
- Neuropatías periféricas severas
- Embarazo
- Cáncer o enfermedades autoinmunes descompensadas

Por otra parte, las contraindicaciones relativas no excluyen el uso de BFR pero requieren una valoración médica específica y una supervisión constante por parte del profesional a cargo, entre ellas se encuentra:

- Uso de anticoagulantes
- Diabetes mellitus no controlada
- Edad avanzada sin evaluación ni estudios médicos previos
- Osteoporosis y Sarcopenia sin supervisión profesional

V. Metodología

Se realizará una tesina tipo informe de investigación. Se proyecta una revisión bibliográfica, a partir de la cual se analizará la evidencia disponible proveniente de estudios científicos relacionados con la técnica de restricción del flujo sanguíneo y su aplicación dentro del tratamiento kinésico, en pacientes que presenten una fractura de radio distal, para tratar las alteraciones musculares que ésta provoca.

La búsqueda se realizará en las siguientes bases de datos: Pubmed, Scielo, Cochrane, BVS (Biblioteca Virtual de Salud). Se incluirán estudios científicos, en idioma español, inglés y portugués, publicados desde el año 2016 a la actualidad. Estos artículos fueron reclutados entre Noviembre del año 2024 y Mayo del año 2025.

VI. Contexto de Análisis

A continuación se detallarán los artículos seleccionados para este trabajo de investigación con los criterios de inclusión pertinentes.

1. “El entrenamiento en BFR mejora los resultados comunicados por los pacientes, la fuerza y la amplitud de movimiento tras el enyesado de la fractura de Colles” (“BFR Training Improves Patients’ Reported Outcomes, Strength, and Range of Motion After Casting for Colles’ Fracture”). Autores: Ming Ming Yang, BinLiang, Xin Xin Zhao, Yang Wang, Ming Yuan Xue, y Dan Wang. Publicado en el año 2023.

Este estudio comparó la rehabilitación tradicional como modalidad de tratamiento después de la reducción con yeso de la fractura de Colles con una combinación de dicha rehabilitación y la terapia de restricción del flujo sanguíneo.

El diseño fue aleatorizado, con asignación computarizada en 2 grupos, un grupo “control” y un grupo “BFR”. Participaron 28 pacientes que habían recibido tratamiento con yeso, de los/las cuales 25 completaron el estudio.

Los criterios de inclusión fueron: adultos mayores con fractura de Colles (entre 50 y 75 años), sin antecedentes de enfermedades cardiovasculares, sin lesiones previas en la muñeca o deformidad articular, sin antecedentes quirúrgicos en la extremidad afectada en los últimos 3 meses.

Se excluyeron pacientes con fracturas bilaterales en miembros superiores, fractura concurrente homolateral a la extremidad afectada, antecedentes de intervención quirúrgica invasiva, antecedentes de enfermedades arteriales periféricas o trombosis venosa, y antecedentes de cáncer que resultan en limitaciones/restricciones para el ejercicio físico.

El diseño del programa de rehabilitación tradicional se basó en las pautas de rehabilitación post-fracturas; dentro de las cuales, por ejemplo, se recomienda progresar gradualmente con cargas que vayan desde el peso propio hasta cargas diferenciadas en función de la situación individual de cada paciente. Ambos grupos realizaron el protocolo planteado durante seis semanas, dos veces por semana (48 hs de descanso entre sesiones) (Tabla 1).

El grupo BFR utilizó un torniquete médico ajustado en base a la presión de la oclusión de la extremidad (en adelante, LOP, por sus siglas en inglés). Un estudio demostró que una LOP del 50% es segura y eficaz en la rehabilitación de la fractura de radio distal. Esta presión se evaluaba antes de cada sesión y se monitoreaba continuamente en el durante. Los pacientes debían realizar la totalidad de cada entrenamiento al 50% de LOP; los manguitos se inflaban inmediatamente antes de comenzar la primera serie de cada ejercicio y permanecieron así durante las pausas entre series. La oclusión parcial no duró más de 8 minutos.

Tabla 1. Programa de rehabilitación tradicional para los participantes de este estudio.

Ejercicio	Carga	Frecuencia	Volumen	Descanso entre series (s)	Duración (semanas)
Flexión de muñeca con prono	Individualizada	2 veces/semana	4 series de 30/15/15/15 rep.	45	6
Extensión de muñeca con prono	Individualizada	2 veces/semana	4 series de 30/15/15/15 rep.	45	6
Flexión de muñeca con supinación	Individualizada	2 veces/semana	4 series de 30/15/15/15 rep.	45	6
Extensión de muñeca con supinación	Individualizada	2 veces/semana	4 series de 30/15/15/15 rep.	45	6
Signo de rezo (flexión de muñeca)	Individualizada	2 veces/semana	4 series de 30/15/15/15 rep.	45	6
Signo de rezo (extensión de muñeca)	Individualizada	2 veces/semana	4 series de 30/15/15/15 rep.	45	6
Pronación del antebrazo	Individualizada	2 veces/semana	4 series de 30/15/15/15 rep.	45	6
Supinación del antebrazo	Individualizada	2 veces/semana	4 series de 30/15/15/15 rep.	45	6

Se evaluaron PRWE, fuerza de agarre, pinza, movilidad articular, rigidez muscular y variables radiográficas (inclinación radial y tilt palmar).

La puntuación PRWE utilizó un valor de coeficiente que iba desde 0,46 a 0,99 para la puntuación total; 0,72 a 0,96 para la subescala del dolor; 0,61 a 0,98 para actividades habituales. Para producir la puntuación total se juntaron la puntuación del dolor y la puntuación de la función, donde 0 fue la mejor (sin dolor y sin dificultad para realizar AVD) y 100 la peor (dolor severo, continuo, e incapacidad para realizar actividades). La fuerza de agarre se midió mediante un dinamómetro de mano digital, con valor en kilogramos. Los participantes debían realizar 3 contracciones isométricas máximas, sosteniéndolas durante 5 segundos y con una pausa entre cada prueba de, al menos, 60 segundos. El valor más alto se consideró la fuerza de agarre máxima.

La pinza se evaluó con un medidor de pinza mecánico. Se les pidió a los pacientes que presionaran el mango “lo más fuerte que pudieran”, y se tomaron la pinza de punta, la pinza de llave y la pinza trípode. El protocolo de prueba consistió también en 3 contracciones máximas sostenidas durante 5 segundos y un periodo de descanso de, al menos, 60 segundos.

El rango de movimiento de la muñeca en todos sus planos (flexión-extensión, desviación radial-cubital, pronosupinación) se midió con un goniómetro manual. Los valores que se registraron fueron cuando las muñecas estaban en los límites posibles de cada movimiento evaluado.

La rigidez muscular se evaluó con un dispositivo de palpación digital. Se marcaron los sitios del braquiorradial y abductor corto del pulgar; la sonda del dispositivo bajó perpendicularmente sobre el vientre muscular y se entregó un impacto mecánico automático (12 a 15 ms con una fuerza de 0,3-0,4 N). Las oscilaciones resultantes se midieron con un acelerómetro; se tomaron cinco mediciones consecutivas y se registró el promedio de estas cinco.

Respecto de los resultados radiográficos, las variables más importantes son la inclinación radial (rango normal 20-25°) y la inclinación palmar (rango normal 10-15°) para evaluar la reducción exitosa de una fractura de Colles.

Para los resultados, se calcularon la media y el coeficiente de variación (CV). Se encontró una interacción significativa entre el tiempo y la puntuación PRWE. Para la fuerza de agarre y la pinza los valores de CV fueron de 10,98% y 5,76% respectivamente. Para el ROM de muñeca el valor fue de 11,46%; se registró una interacción significativa entre el tiempo y la desviación cubital pero no hubo diferencia en el resto de los movimientos. La rigidez muscular tuvo un valor de 8,29%.

Por lo tanto, el grupo BFR mostró mejoras significativas en la fuerza de agarre ($p = 0.029$), en el ROM de la desviación cubital ($p = 0.010$) y en la escala PRWE ($p < 0.001$) en comparación con el grupo control. No hubo diferencias en otras variables de ROM ni en las medidas radiográficas, que confirmaron la estabilidad de la fractura.

El estudio descubrió, entonces, que la terapia BFR combinada con los ejercicios tradicionales de un tratamiento para una fractura de radio distal tipo Colles puede dar lugar a mejores resultados respecto a la fuerza de agarre, la amplitud de movimiento en la desviación cubital y la puntuación PWRE; y no alteran los resultados radiográficos, es decir que las fracturas consolidan satisfactoriamente.

La isquemia y el dolor muscular inducido por presión se utilizan como estímulos condicionados para modular el dolor. La estimulación con BFR puede actuar como un modulador, ya que el dolor y malestar que causa suprimen el dolor asociado a la fractura. Esto es atribuible a la estimulación de las fibras aferentes III y IV y el consiguiente aumento de la actividad simpática, lo cual mejora la tolerancia al ejercicio, la movilidad y las actividades. La reducción del dolor, entonces, ayudó a los participantes en ejercicios de destreza manual y AVD y mejoraron así sus puntuaciones PWRE.

Los autores sugieren, además, que el BFR potencia la fuerza muscular debido a que induce el metabolismo acumulativo, la acumulación de metabolitos y la estimulación de fibras musculares tipo II. El manguito de presión ayuda a crear un ambiente hipóxico para

las fibras musculares, lo que provoca un aumento de factores angiogénicos (como el factor de crecimiento endotelial) y consecuentemente contribuir a efectos anabólicos en el crecimiento muscular.

Por otro lado, que la fuerza de pinza no haya diferido entre un grupo y otro marca un indicio de que el BFR activa primero los grupos musculares más grandes. La restauración del ROM se determina por el nivel de dolor, inflamación, daño de los tejidos blandos, acortamiento muscular, adherencias de planos tisulares y rigidez articular; por lo tanto una intervención multimodal resulta ser lo más adecuado para restaurar la normalidad de dicho rango.

2. “La eficacia y seguridad del entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo para el tratamiento postoperatorio de la fractura de radio distal” (“The effectiveness and safety of blood flow restriction training for the post-operation treatment of distal radius fracture”). Autores: Yi Fan, Dingqun Bai, Chongyuan Cheng, Guihua Tian. Publicado el 28 de Julio del 2023.

Se trata de un ensayo clínico aleatorizado, prospectivo y controlado, diseñado para evaluar la eficacia y seguridad del entrenamiento con BFR como complemento en la rehabilitación postoperatoria de fracturas de radio distal mediante reducción abierta y fijación interna. Se obtuvo la aprobación ética previa y se registró en el Registros de Ensayos Clínicos de China.

Este estudio incluyó a 35 pacientes mayores de 18 años (17 hombres y 18 mujeres) dentro de los 3 a 7 días posteriores a la fractura de radio distal, el tipo de fractura de inclusión es A2 y A3 según la clasificación AO. Distribuidos en dos grupos: el primer grupo contaba con 17 pacientes que recibieron terapia con BFR aplicado a un programa de rehabilitación convencional y el segundo con 18 pacientes, siguió solo el programa de rehabilitación convencional (RT). **Figura 10.** Ambos cursaron un plan de rehabilitación postoperatoria de 4 semanas que incluía antiinflamatorios, fisioterapia, fortalecimiento y ejercicios de rango de movimiento (ROM). Además, el grupo de BFR recibió 20 minutos de entrenamiento 5 veces por semana con una presión constante de 120mmHg lo que

generó una presión estimada del 40% - 80% de la oclusión arterial total aplicado en el tercio superior del brazo. Las sesiones de fortalecimiento incluyeron 4 series de 75 repeticiones (35-15-15-15) con 5 segundos de contracción sostenida y con descansos de 30 segundos entre cada serie y un descanso de 1 minuto entre cada ejercicio.

Figura 10. Datos demográficos de pacientes.

	Edad media (DE) (años)	Edad mínima (años)	Edad máxima (años)	Machos (n)	Hembras (n)
Grupo BFR	44±15	23	68		10
Grupo RT	47±14	25	72	7 10	8

Se realizaron pruebas funcionales y de fuerza en las semanas 0-2-4-12, como MVIC (contracción isométrica voluntaria máxima) para agarre, pellizco, flexión y extensión de la muñeca, con el uso de un dinamómetro. También se registró el rango de movimiento pasivo y la hinchazón mediante medidas de circunferencia. Se utilizó la escala visual análoga (EVA) para medir la intensidad del dolor, dinamómetro manual para medir la fuerza muscular, goniómetro articular para medir el ROM, el índice de RUSS para ver el estado de consolidación ósea, la escala de Cooney modificada para la funcionalidad de la muñeca y el análisis del dímero D para medir el riesgo de trombosis venosa.

En cuanto a los resultados, el estudio demostró que ambos grupos presentaron una disminución significativa del dolor con el tiempo, que resultó más baja en las semanas 2 y 4 para el grupo de BFR, lo sugiere que esta técnica puede ayudar a modular el dolor en las fases tempranas de la rehabilitación postquirúrgica.

En relación con los cambios morfológicos de la circunferencia del brazo operado como indicador directo de la atrofia muscular, se observó una disminución significativa en ambos grupos al final del ensayo en comparación con las mediciones iniciales. En cuanto a las mediciones de la circunferencia de la muñeca y el antebrazo, la circunferencia de la muñeca disminuyó significativamente en el grupo BFR en la semana 4.

Con respecto a la fuerza muscular, la fuerza de extensión y flexión fue significativamente mayor en el grupo de BFR, principalmente en la semana 2 y 4. Aunque la fuerza muscular aumentó, la circunferencia del brazo no indico hipertrofia muscular, esto puede deberse a la brevedad de la prueba. No hubo diferencias significativas entre ambos grupos en los resultados de la fuerza de agarre y de pellizco.

El uso del BFR sobre el ROM no tuvo resultados significativos con respecto al grupo RT, por consideraciones de seguridad se midió únicamente el movimiento pasivo. El aumento de la fuerza muscular mediante la terapia con BFR puede influir directamente sobre el ROM activo, pero tiene un impacto limitado sobre el ROM pasivo.

Se evaluó la funcionalidad global del miembro superior en la semana 12 del seguimiento (8 semanas después del alta) sin que los pacientes hayan realizado entrenamiento regular, los resultados arrojaron que la función de la muñeca aumentó significativamente después de la terapia con BFR.

Los autores concluyeron que la terapia con BFR puede reducir significativamente el dolor, aumentar la fuerza muscular y mejorar la función del miembro afectado. El aumento del ROM pasivo y la capacidad de reducir la hinchazón requiere más investigación. Por lo tanto, la aplicación de BFR como terapia de rehabilitación posoperatoria para pacientes con fractura de radio distal es segura y eficaz.

3. “Seguridad y eficacia de la terapia de restricción del flujo sanguíneo después del tratamiento quirúrgico de fracturas de radio distal: un estudio controlado aleatorio”
 (“Safety and Efficacy of blood flow restriction therapy after operative management of distal radius fractures: a randomized controlled study”). Autores: Nicole M. Sgromolo, Jill M. Cancio, Peter C. Rhee

Se trata de un ensayo clínico controlado y aleatorizado de tipo prospectivo, de nivel 1 de evidencia. El objetivo de este estudio fue evaluar la seguridad y eficacia de la terapia con restricción del flujo sanguíneo como complemento de la rehabilitación postoperatoria tradicional en pacientes con fractura de radio distal tratados mediante fijación con placa volar.

Se incluyeron pacientes adultos entre 18 y 65 años tratados quirúrgicamente por fracturas desplazadas del radio distal. Tras la cirugía, todos los pacientes fueron inmovilizados con una férula tipo pinza de azúcar con el antebrazo en rotación neutra durante 2 semanas, luego se pasó a un yeso corto en el brazo durante 4 semanas más y por último, a una ortesis de muñeca con restricciones continuas sin soporte de peso.

Se aleatorizaron posteriormente en dos grupos: un grupo control que realizó el protocolo de rehabilitación estándar (4 pacientes), y un grupo BFR que realizó el mismo protocolo estándar con la adición de la restricción del flujo sanguíneo mediante un torniquete neumático portátil aplicado en el brazo (5 pacientes). La presión se determinó mediante un Doppler aplicado sobre la arteria radial y se realizaron ejercicios con el manguito inflado al 50% de la presión de oclusión total. Se realizaron 4 series de ejercicios (30-15-15-15 repeticiones) con una duración no excedente de 30 minutos, 2 o 3 veces por semana durante 8 semanas.

Se realizaron ejercicios de movilidad pasiva, activa asistida y activa de muñeca, antebrazo y mano. Flexión y extensión de muñeca sobre cuña de espuma, pronación y supinación del antebrazo con el codo flexionado a 90 grados. También, ejercicios de fuerza de prensión (evaluada con dinamómetro Jamar), fuerza de pellizco tradicional, fuerza de pellizco entre el pulgar y los dedos índice y largo (evaluada con medidor de pellizco PG-60) y pellizco lateral entre la cara volar del pulgar y la cara radial del dedo índice. El dolor durante la actividad y el reposo se evaluó mediante la escala visual analógica (EVA) y la funcionalidad del miembro superior a través de PRWE (PatientRaterWristEvaluation).

En cuanto a los resultados, durante el transcurso del programa el grupo BFR experimentaron una reducción significativa del dolor durante la actividad en comparación con el grupo control, mientras que el dolor en reposo no mostró diferencias significativas entre ambos grupos.

Con respecto al ROM, ambos grupos mostraron mejoras en el ROM activo de muñeca y antebrazo a lo largo de las 8 semanas de programa. Sin embargo, no hubo cambios

significativos entre ambos grupos, lo que indica que el BFR no interfirió con la recuperación del rango de movimiento articular.

La fuerza de prensión, pellizco de 3 puntos y pellizco lateral, aumentaron sus puntuaciones iniciales pero no evidenció diferencias significativas entre ambos grupos.

Por último, la función de muñeca evaluada a través de la escala PRWE, el grupo BFR mostró una mejora significativamente más grande en su puntuación, lo que traduce en una mejoría más rápida de la funcionalidad del miembro superior.

4. “Beneficios diferenciales del entrenamiento y remodelación de la unidad motora en tareas de precisión de fuerza de muñeca tras ejercicios de restricción del flujo sanguíneo de alta y baja carga en condiciones de volumen emparejado” (“Differential training benefits and motor unit remodeling in wrist force precision tasks following high and low load blood flow restriction exercises under volume-matched conditions”). Autores: Yen-Ting Lin, Chun-Man Wong, Yi-Ching Chen, Yueh Chen and Ing-Shiou Hwang. Publicado en el año 2024.

Este estudio se realizó para conocer los mecanismos conductuales y neurofisiológicos que expliquen los diferentes efectos del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo, combinado con cargas altas y con cargas bajas, con un volumen igualado.

El objetivo fue investigar los efectos variables del entrenamiento en el control de la fuerza y los cambios adaptativos consiguientes en el comportamiento de las unidades motoras (UM) después de tres semanas de entrenamiento. Dado que la remodelación de las UM se ve influenciada por la carga de resistencia y la aplicación del BFR, el control de precisión de la fuerza basado en estrategias de activación de dichas UM se puede modificar interactivamente a través del uso de BFR con cargas variables.

Se incluyeron a 28 adultos jóvenes sanos (15 hombres y 13 mujeres) con una edad promedio de 21 a 24 años aproximadamente. Se asignaron aleatoriamente a un grupo BFR-HL (BFR carga alta) (75% de la contracción voluntaria máxima o MVC) y a otro grupo BFR-LL (BFR carga baja) (25% de la MVC).

Los criterios de inclusión fueron: adultos jóvenes sanos, sin hábitos de ejercicio, y no haber realizado entrenamiento de fuerza en los últimos 6 meses. Los criterios de exclusión fueron: haber utilizado suplementos, antiinflamatorios o esteroides anabólicos; antecedentes de hipertensión diagnosticada (presión arterial sistólica o PAS >140/90 mmHg), enfermedades cardiovasculares o pulmonares, enfermedades neuromusculares o trastornos músculo esqueléticos.

En la primera visita se recopilaron los datos antropométricos y se evaluó la MVC de cada participante. Luego, midieron la capacidad de referencia para la escalada de fuerza mediante el seguimiento de la fuerza trapezoidal con retroalimentación visual en la prueba previa.

Los participantes de ambos grupos fueron sometidos a un protocolo de entrenamiento isométrico con el mismo volumen y la utilización del BFR en las 9 sesiones, con intervalos de 24 hs entre ellas (duración de 3 semanas, aproximadamente). Durante la cuarta y la séptima visita, se revaluó la MVC para ajustar la carga del entrenamiento y el seguimiento posterior a la prueba. La prueba posterior se hizo en la décima visita de laboratorio e involucró las mismas mediciones (MVC y fuerza trapezoidal).

La MVC de la extensión de muñeca fue el valor máximo de tres ensayos de contracción máxima, separados por periodos de descanso de 3 minutos. En el seguimiento de fuerza trapezoidal los participantes ejercieron fuerza de extensión isométrica con su extremidad no dominante para que coincidiera con una señal objetivo mostrado en un monitor. Esta señal comprendía una fase de aumento gradual de 11 segundos, una fase de disminución gradual de 11 segundos y una contracción isométrica estática de 16 segundos al 75% de la MVC. Esto se empleó para apuntar a activar el espectro completo de unidades motoras entrenadas dentro del límite de descomposición establecido (80% de la MVC).

El control de precisión de fuerza se evaluó en función del rendimiento de la contracción isométrica estática en la ventana de interés (segundos 14 a 28).

Al mismo tiempo que se utilizaban las señales de fuerza, se empleó un sistema de electromiograma de múltiples electrodos que comprendía un conjunto de sensores para captar la actividad muscular en el extensor de los dedos. Estos sensores eran 5 clavijas colocadas a lo largo de una línea que se extendía desde el epicóndilo lateral del codo hasta el segundo metacarpiano, situado a una distancia de 50 a 70 mm del epicóndilo lateral.

Se empleó un manguito neumático inflado al 70% de la presión arterial sistólica para restringir el flujo sanguíneo en el brazo no dominante, a la altura del vientre muscular del bíceps braquial. Esta oclusión se aplicó durante 6 minutos antes del entrenamiento de resistencia.

Los participantes del grupo BFR-HL fueron entrenados con cuatro series de diez repeticiones de breve extensión isométrica de la muñeca al 75% de la MVC a una frecuencia de 1 Hz. En el otro grupo, BFR-LL, los participantes realizaron ocho series de quince repeticiones de extensión isométrica de la muñeca al 25% de la MVC. Para evitar el agotamiento o fatiga, se intercalaron periodos de 30 segundos de descanso entre las series.

Los resultados del estudio determinaron que el grupo BFR-HL mostró mayor ganancia de fuerza en comparación con el grupo BFR-LL. Por su parte, el grupo BFR-LL mejoró significativamente la precisión del control de la fuerza, con una reducción del 27% en las fluctuaciones de fuerza, y aumentó la complejidad de la señal de fuerza, lo que se asocia con un control más automático y eficiente.

En cuanto a las Unidades Motoras, el grupo BFR-HL reclutó UM con umbrales de activación más altos y menor frecuencia de descarga, mientras que el BFR-LL favorece el reclutamiento de unidades con un umbral más bajo y mayor frecuencia de disparo, lo que promueve un control del movimiento más fino o preciso.

VII. Resultados

En el análisis de los cuatro artículos incluidos en la tesina, se evaluaron los efectos del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo como estrategia complementaria a la

rehabilitación convencional en pacientes con fractura de radio distal, tanto en abordajes quirúrgicos como conservadores. El primer artículo incluyó a pacientes con fractura tipo Colles tratados con yeso; en el segundo artículo analizaron pacientes postoperatorios con fractura de radio distal tratada mediante reducción abierta y fijación interna (RAFI); en el tercer artículo, se evaluaron pacientes con fractura de radio distal tratada quirúrgicamente con placa volar; y por último, el cuarto artículo aportó una comparación entre protocolos de BFR con cargas altas y bajas, ambos aplicados en pacientes sanos.

En el primer artículo, se observaron mejoras estadísticamente significativas en el grupo que utilizó BFR en cuanto al rango de movimiento de la desviación cubital ($p=0.010$), la fuerza de agarre ($p=0.029$) y la funcionalidad medida por la escala PRWE ($p<0.001$), ningún paciente evidenció alteraciones radiográficas en la consolidación ósea. También, se documentó una menor rigidez muscular y una menor percepción del dolor.

El segundo artículo analizado evidenció una recuperación más rápida y eficaz en la fuerza muscular (flexión y extensión), menores niveles de dolor (mediante la escala EVA) y una mejor funcionalidad del segmento según la escala Cooney, en el grupo que utilizó BFR. No se reportaron eventos adversos, y los niveles de dímero D se mantuvieron dentro de los parámetros normales.

Con respecto al tercer artículo, si bien la muestra fue limitada (se evaluó tan solo 9 pacientes), en el grupo BFR se evidenció mejoras en la funcionalidad según la escala PRWE, y una reducción significativa del dolor durante la actividad. No se registraron complicaciones clínicas ni efectos adversos.

Por último, el análisis del cuarto artículo dio como resultado una mejora en la fuerza de prensión, el control motor y la activación de las unidades motoras, con la utilización del BFR. El uso del BFR con cargas bajas evidenció resultados similares pero con un menor riesgo mecánico, lo cual apoya su aplicabilidad en fases tempranas de rehabilitación.

En resumen, los resultados de estos estudios coincidieron en demostrar que el uso del BFR es eficaz a la hora de mejorar la fuerza muscular, reducir el dolor, optimizar la

funcionalidad y preservar la masa muscular en pacientes con fractura de radio distal. Además, todos los estudios reportaron perfiles de seguridad adecuados, sin aparición de eventos trombóticos, vasculares o musculares adversos.

VIII. Conclusión

Esta revisión bibliográfica permitió profundizar el análisis de la técnica BFR como complemento de la rehabilitación kinésica convencional en pacientes que sufrieron una fractura en el segmento distal del radio y debieron ser inmovilizados/as. A partir del desarrollo teórico y del análisis de evidencia científica actual, fue posible determinar que esta técnica representa una herramienta innovadora y segura para optimizar la recuperación funcional de los miembros superiores tras períodos prolongados de inmovilización.

Desde un punto de vista fisiológico, se comprendieron aquellos mecanismos que fundamentan la eficacia del BFR, tales como el estrés metabólico, la activación de fibras musculares tipo II, la estimulación hormonal y la activación de la vía mTOR, es decir, procesos que favorecen el aumento de la síntesis proteica muscular y consecuentemente la hipertrofia; incluso al utilizar cargas significativamente menores que en los entrenamientos convencionales.

Mediante los estudios clínicos seleccionados, se pudo evidenciar que el uso del BFR en pacientes posoperatorios o tratados de manera conservadora por fractura de radio distal, generó resultados clínicamente significativos en la mejora de la fuerza muscular, el rango de movimiento articular, la reducción del dolor, la funcionalidad de todo el miembro superior y la recuperación del control neuromuscular; además, no reportó eventos adversos graves, lo que respalda su perfil seguro y eficaz.

Asimismo, se destacaron beneficios en etapas tempranas del tratamiento, momentos en los cuales el dolor, la inflamación y la limitación funcional restringen el uso de cargas elevadas. El BFR, en este contexto, permite el inicio de estímulos musculares efectivos, lo que minimiza el riesgo de atrofia y promueve una recuperación más rápida e integral.

En relación a los objetivos, este trabajo permitió identificar los efectos negativos de la inmovilización, describir los fundamentos del BFR y comprender el importante rol que

asume el profesional de Kinesiología en la planificación, aplicación y seguimiento de esta técnica. También se abordaron las precauciones, contraindicaciones y efectos secundarios del BFR, factores importantes para promover un uso criterioso, seguro y basado en evidencia.

Finalmente, puede concluirse que la implementación de la técnica de restricción del flujo sanguíneo dentro de una rehabilitación kinésica en pacientes con fractura de radio distal representa una estrategia clínica efectiva que contribuye a la recuperación física y funcional, a disminuir los tiempos de inactividad, a favorecer la reinserción laboral temprana y a mejorar la calidad de vida de los y las pacientes. No obstante, la incorporación de dicha técnica requiere una formación específica, que se acompañe de un enfoque ético, profesional y personalizado.

IX. Referencias bibliográficas

1. Medina González C, Benet Rodríguez M, Marco Martínez F. El complejo articular de la muñeca: aspectos anatómicos y fisiológicos y biomecánicos, características, clasificación y tratamiento de la fractura distal del radio. Medisur [Internet]. 2016; 14(4):430–46. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s1727-897x2016000400011&script=>
2. MacIntyre NJ, Dewan N. Epidemiology of distal radius fractures and factors predicting risk and prognosis. J Hand Ther [Internet]. 2016; 29(2):136–45. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27264899/>
3. Wilkinson BG, Donnenwerth JJ, Peterson AR. Use of Blood flow restriction training for postoperative rehabilitation. Curr Sports Med Rep [Internet]. 2019;18(6):224–8. <http://dx.doi.org/10.1080/07853890.2023.2240329>
4. Hwang PS, Willoughby DS. Mechanisms behind blood flow–restricted training and its effect toward muscle growth. J Strength Cond Res [Internet]. 2019;33(1):S167–79. <http://dx.doi.org/10.1519/jsc.0000000000002384>
5. Safety and Efficacy of Blood Flow Restriction Therapy After Surgical Treatment of Distal Radius Fractures: A Randomized Controlled Study. 2020. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7395840/>
6. Fan Y, Bai D, Cheng C, Tian G. The effectiveness and safety of blood flow restriction training for the post-operation treatment of distal radius fracture. Ann Med [Internet]. 2023;55(2). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31385838/>
7. Moore KL, Dalley AF, Agur AMR. Anatomía con orientación clínica. 9ª ed. Wolters Kluwer; 2022.
8. Qazi, S., Graham, D., Regal, S., Tang, P., & Hammarstedt, J. E. (2021). Distal radioulnar joint instability and associated injuries: A literature review. Journal of Hand and Microsurgery, 13(3), 123–131. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1730886>

9. Hochschild J. Anatomía funcional para fisioterapeutas. 1ª ed. México, D.F.: Editorial El Manual Moderno; 2017.
10. Kapandji AI. Fisiología articular. 6.ª ed. Editorial Médica Panamericana; 2012
11. Nordin M. Basic biomechanics of the musculoskeletal system. 5th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2021.
12. Standring S, editor. Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice. 42nd ed. Edinburgh: Elsevier; 2020.
13. SECOT. Traumatología y ortopedia. Generalidades. Tratado SECOT de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Vol. 1. Barcelona: Elsevier España; 2019.
14. Academia Estadounidense de Cirujanos Ortopédicos (AAOS). *Manejo de las Fracturas del Radio Distal: Guía de Práctica Clínica Basada en la Evidencia* [Internet]. Rosemont (IL): AAOS; 2020. Disponible en: <https://www.aaos.org/drfcpg>
15. Quadlbauer S, Pezzei C, Jurkowitsch J, Rosenauer R, Kolmayr B, Keuchel T, et al. Rehabilitation after distal radius fractures: is there a need for immobilization and physiotherapy? Arch Orthop Trauma Surg [Internet]. 2020;140(5):651–63. <http://dx.doi.org/10.1007/s00402-020-03367-w>
16. Olech J, Konieczny G, Tomczyk Ł, Morasiewicz P. A randomized trial assessing the muscle strength and range of motion in elderly patients following distal radius fractures treated with 4- and 6-week cast immobilization. J Clin Med [Internet]. 2021; 10(24):5774. <http://dx.doi.org/10.3390/jcm10245774>
17. Netter. Atlas de Anatomía Humana. 7.ª ed. Filadelfia, PA: Elsevier - División de Ciencias de la Salud; 2018.
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 MusculoskeletDisord [Internet]. 2024;25(1):198. <http://dx.doi.org/10.1186/s12891-024-07317-0>

19. Ghodasra JH, Yousaf IS, Sanghavi KK, Rozental TD, Means KR Jr, Giladi AM. Assessing the relationship between bone density and loss of reduction in nonsurgical distal radius fracture treatment. *J Hand Surg Am* [Internet]. 2021;46(5):377-385.e2.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhsa.2021.02.002>
20. Wilkinson BG, Donnenwerth JJ, Peterson AR. Use of blood flow restriction training for postoperative rehabilitation. *Curr Sports Med Rep* [Internet]. 2019;18(6):224–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1249/JSR.0000000000000604>
21. Yasuda T, Meguro M, Sato Y, Nakajima T, et al. Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey in 2016. *Int J Kaatsu Train Res*. 2018;13(1):1–9.
22. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Sherk VD, Bembien DA, Bembien MG. Strength training with vascular occlusion: a review of possible adaptive mechanisms. *Scand J Med Sci Sports*. 2012;
23. Nakamura H, Palmai T, Kasteleijn-NolstTrenité DGA, Blomqvist C. Resistance exercise-induced local metabolic stress facilitates improvements in strength, hypertrophy and muscular endurance with light-to-moderate loads. *Front Physiol*. 2025; 16. doi:10.3389/fphys.2025.1549609.
24. Álvarez C. What place does blood flow restriction occupy in the athletic development toolbox? *Strength Health Perform J*. 2023 ;(6).
25. Álvarez C. Blood flow restriction training and the need to quantify time potentially saved through its application during musculoskeletal rehabilitation. *Strength Health Perform J*. 2023 ;(6).
26. Minniti MC, Statkevich AP, Kelly RL, Rigsby VP, Exline MM, Rhon DI, et al. The safety of blood flow restriction training as a therapeutic intervention for patients with musculoskeletal disorders: A systematic review. *Am J Sports Med* [Internet]. 2020;48(7):1773–85. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546519882652>
27. Patterson SD, Brandner CR. The role of blood flow restriction training for applied practitioners: A questionnaire-based survey. *J Sports Sci* [Internet].

- 2018;36(2):123–30. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2017.1284341>
28. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J. Exercise and blood flow restriction: methodological considerations, application, and safety. *Front Physiol* [Internet]. 2019; 10. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>
29. Jessee MB, Buckner SL, Mouser JG, Mattocks KT, Dankel SJ, Loenneke JP. Muscle adaptations to high-load training and low-load training with blood flow restriction in older adults. *J Geriatr Phys Ther* [Internet]. 2016;39(4):180–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/JPT.0000000000000090>
30. Baker BS, Stannard MS, Duren DL, Cook JL, Stannard JP. Does blood flow restriction therapy in older adults result in muscle hypertrophy, increased strength, or improved physical function? A systematic review. *Clin OrthopRelat Res* [Internet]. 2019; 477(6):1469–74. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/CORR.0000000000001090>
31. Lim ZX, Goh J. Effects of blood flow restriction (BFR) resistance training on musculoskeletal health in older adults: a narrative review. *Eur Rev Aging Phys Act* [Internet]. 2022;19. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s11556-022-00294-0>
32. Jessee MB, Mattocks KT, Buckner SL, Dankel SJ, Mouser JG, Abe T, Loenneke JP. Mechanisms of blood flow restriction: The New Testament. *Techniques in Orthopaedics*. 2018;33(2):72–79. doi:10.1097/BTO.0000000000000252.
33. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med* [Internet]. 2015;45(3):313–25. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-014-0288-1>
34. Buckner SL, Dankel SJ, Counts BR, Jessee MB, Mattocks KT, Mouser JG. The acute and chronic effects of “practical” blood flow restriction training on muscle strength and hypertrophy. *J Strength Cond Res*. 2017; 31(12):3497–505.
35. Loenneke JP, Allen KM, Mouser JG, Thiebaud RS, Kim D, Abe T, et al. Blood flow restriction in the upper and lower limbs is predicted by limb circumference and

- systolic blood pressure. Eur J ApplPhysiol [Internet]. 2015;115(2):397–405. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-014-3030-7>
36. Queiros VS, Da Silva RM, De Oliveira RR, Lopes CR, Da Silva DB, Ferreira-Júnior JB. Application and side effects of blood flow restriction technique: a cross-sectional questionnaire survey of professionals. Medicine (Baltimore) [Internet]. 2021;100(17). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/MD.00000000000025899>
37. Minniti AM, Statton MA, Kelly RL, Blemker SS, Saul KR. Blood flow restriction training and its applicability to physical therapy: a review of current literature. Am J Sports Med [Internet]. 2019;47(3):748–58. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546518767610>
38. Nakajima T, Morita T, Sato Y. Key considerations when conducting KAATSU training. Int J Kaatsu Train Res [Internet]. 2011;7(1):1–6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3806/ijktr.7.1>
39. Scott BR, Girard O, Rolnick N, Mckee JR, Goods P. Panorama actualizado de los métodos de restricción del flujo sanguíneo. Int J Sports Physiol Perform [Internet]. 2023;18(12):1461–5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2023-0135>