



RIDUNAJ
Repositorio Institucional
Digital UNAJ



Universidad Nacional
ARTURO JAURETCHE

Tesis de Grado

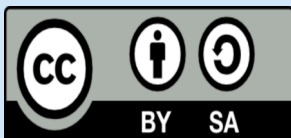
Cejas, Gastón Ezequiel y Pastore, Lucas

Análisis de la implementación de la terapia con restricción del flujo sanguíneo, en la primera etapa de la rehabilitación de pacientes con artroplastia de rodilla por gonartrosis

Instituto de Ciencias de la Salud

2025

*Carrera: Licenciatura en Kinesiología y
Fisiatría*



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons.

Atribución – Compartir igual 4.0

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

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

Cita recomendada:

Cejas, G. E. y Pastore, L. (2025). *Análisis de la implementación de la terapia con restricción del flujo sanguíneo, en la primera etapa de la rehabilitación de pacientes con artroplastia de rodilla por gonartrosis* [Tesis de grado, Universidad Nacional Arturo Jauretche]. <https://rid.unaj.edu.ar/handle/123456789/3662>

TESINA

Presentada para acceder al Título de Grado de la Carrera:

LICENCIATURA EN KINESIOLOGÍA Y FISIATRÍA

Título:

“Análisis de la implementación de la terapia con restricción del flujo sanguíneo, en la primera etapa de la rehabilitación de pacientes con artroplastia de rodilla por gonartrosis”

Autores:

Pastore, Lucas (N° Legajo: 17344)

Cejas, Gastón (N° Legajo: 7036)

Directora: Lic. Sombra, Victoria

Fecha de presentación: 28/05/2025

Firma de los autores:



Pastore, Lucas Cejas, Gastón

Agradecimientos

La finalización de este trabajo representa no sólo el cierre de una etapa académica, sino también la consolidación de un proceso de crecimiento personal y profesional. Esto no hubiese sido posible sin el apoyo y la confianza incondicional de nuestros amigos y familias.

Gracias a nuestra Directora de Tesina, Licenciada Victoria Sombra, quien nos acompañó desde el inicio de nuestra formación universitaria hasta su culminación, siempre dispuesta a guiarnos y aconsejarnos para avanzar hacia el objetivo final.

Por último, gracias a la Universidad Nacional Arturo Jauretche y a todos sus docentes por habernos permitido formarnos como profesionales.

Pastore, Lucas- Cejas, Gastón

Abreviaturas

AINES: Analgésicos No Esteroideos

ATR: Artroplastia Total de Rodilla

BFR: Blood Flow Restricción

CIA: Corticoides Intrarticulares

COV: Coeficiente

CS: Condroitín Sulfato

CST: Chair Stand Test

DPTS: Delfi Personalized Tourniquet System

EP: Embolia pulmonar

GA: Glucosamina

HA: Ácido Hialurónico

KOOS: Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score

LEFS: Lower Extremity Funcional Score

LOP: Limb Occlusion Pressure

NPRS: Escala y clasificación numérica del dolor

OA: Osteoartritis

PPT: Pressure pain threshold

RM: Repetición máxima

SF-MDQ-2: Short Form McGill Pain Questionnaire-2

SNP: Polimorfismos Nucleótido Único

TEV: Tromboembolia Venosa

TPD: Two-point discrimination

TVP: Trombosis Venosa Profunda

4SST: Square Step Test

6MWT: 6 Minute Walk Test

30SFW: 30 Second Fast Walk Test

Índice

I. Introducción	7
II. Objetivos	10
II.1. Objetivo General.....	10
II.2. Objetivos específicos	10
III. Justificación de la propuesta	10
IV. Marco teórico	11
IV.1. Osteoartritis de rodilla.....	11
IV.1.a. Fisiopatología	11
IV.1.b. Factores de riesgo de la OA de rodilla	12
IV.1.c. Epidemiología.....	13
IV.1.d. Cuadro clínico	14
IV.1.e. Diagnóstico	14
IV.1.f. Reseña anatómica.....	15
V. Tratamiento de la OA de rodilla.....	17
V.1. Tratamiento conservador	18
V.1.a. Tratamiento no farmacológico	18
V.1.b. Tratamiento farmacológico.....	18
V.2. Tratamiento quirúrgico.....	19
V.2.a. Indicaciones de la ATR.....	19
V.2.b. Contraindicación de la ATR	20
V.2.c. Objetivos de la ATR	20
V.2.d. Fijación de la prótesis	21
V.2.e. Complicaciones postoperatorias	22
V.2.f. Rehabilitación postoperatoria.....	22
VI. Restricción del flujo sanguíneo.....	24
VI.1. Lineamientos generales.....	24

VI.2. Mecanismos Fisiológicos	25
VI.3. Beneficios.....	25
VI.4. Indicaciones:	26
VI.5. Contraindicaciones:.....	27
VI.6. Efectos secundarios.....	28
VI.7. Seguridad del BFR	29
VI.8. Características del manguito	30
VI.9. Presión del manguito.....	31
VI.10. Modo de uso.....	32
VI.10.a. Aplicación del modo pasivo del BFR.....	32
VI.10.b. Aplicación del BFR con ejercicio aeróbico.....	33
VI.10.c. Aplicación del BFR con ejercicio de carga baja o alta.....	34
VI.11. Adaptación y progresión.....	35
VII. Materiales y método	35
VII.1. Proceso de selección de los estudios.....	36
VII.2. Estrategia de búsqueda.....	36
VII.3. Propuesta de manejo de variables de resultado	37
VIII. Contexto de análisis	37
IX. Resultados.....	48
X. Rol de la kinesiología.....	49
XI. Conclusión	52
XII. Referencias bibliográficas	54

Índice de imágenes

Figura 1: Capas del cartílago articular

Figura 2: Escala de Kellgren y Lawrence, grado 1

Figura 3: Escala de Kellgren y Lawrence, grado 2

Figura 4: Escala de Kellgren y Lawrence, grado 3.

Figura 5: Escala de Kellgren y Lawrence, grado 4.

Figura 6: Sección sagital paramediana de la rodilla derecha

Figura 7: Fémur derecho, epífisis distal. Vista inferior

Figura 8: Rótula derecha.

Figura 9: Tibia y peroné derechos, epífisis proximales

Figura 10: Vista superior de los meniscos de la articulación de la rodilla derecha

Figura 11: Cápsula articular de la rodilla derecha

Figura 12: Ligamentos colaterales de la articulación de la rodilla derecha

Figura 13: Eje de flexoextensión de la rodilla y eje de carga de la extremidad.

Figura 14: Manguito neumático

Figura 15: Caso 1: Cambios en el par máximo alcanzado

Figura 16: Caso 2: Cambios en el par máximo alcanzado

Figura 17: Caso 2: Cambios en el par máximo alcanzado

Figura 18: Ejercicio 1: Extensión de rodilla a una pierna con BFR.

Figura 19: Ejercicio 2: Media sentadilla con peso corporal

Figura 20: Ejercicio 3: Caminata con BFR

Figura 21: Masa magra de las piernas

Figura 22: Grosor del vasto lateral

Figura 23: Fuerza extensora de la rodilla

Figura 24: Cambios en la función física

Figura 25: Datos en la evaluación

Figura 26: Diagrama de flujo. BFR, LEFS, KOOS, 4SST, 30STS, 6MWT y TUG

Figura 27: Protocolo de ejercicios para grupo R. Ejercicios con BFR

I. Introducción

La osteoartritis (en adelante, OA) es una enfermedad degenerativa crónica y progresiva de las articulaciones que afecta el cartílago articular, el hueso subcondral, los ligamentos, la cápsula y la membrana sinovial. Las últimas investigaciones han mostrado que es una entidad multifactorial en la cual intervienen múltiples factores causales, a saber: traumatismos, fuerzas mecánicas, inflamación, reacciones bioquímicas y trastornos metabólicos (1). Esta patología es reportada como la afección articular más frecuente observada en la población adulta de cualquier parte del mundo. Es una de las principales causas de discapacidad, y afecta alrededor del 30% de la población mayor de 60 años; aproximadamente el 40% de las personas mayores de 50 años presentan signos imagenológicos tempranos que podrían estar relacionados con la enfermedad (2). La OA se clasifica en dos grupos según su etiología: OA Primaria (idiopática o no traumática) y Secundaria (traumática o por desalineación biomecánica) (3).

La OA de rodilla, también denominada gonartrosis, es la más prevalente en la población mayor (1). El cuadro clínico se caracteriza por dolor de tipo mecánico, progresivo y relacionado con la carga y la actividad, localizado en el compartimento articular afectado. Los signos característicos son: limitación de la movilidad, tumefacción y atrofia muscular. La limitación de la movilidad, a menudo asociada al dolor, se debe a la falta de deslizamiento por la irregularidad de las superficies, y también a la fibrosis de los tejidos periarticulares (4). Las modalidades de tratamiento conocidas para el manejo de la OA son: tratamiento conservador y tratamiento quirúrgico. Dentro del tratamiento conservador se incluyen estrategias farmacológicas y no farmacológicas, ambas dirigidas a reducir el dolor y a minimizar la pérdida de la función (5).

En quienes padecen OA y no han obtenido alivio a través de diversos tratamientos no farmacológicos y farmacológicos, la intervención quirúrgica se convierte en la opción recomendada. Se debe considerar la derivación de pacientes con OA severa a un cirujano si todas las opciones conservadoras apropiadas, administradas durante 6 meses, no han tenido éxito (6). Además, se debe tomar la decisión de derivar a un cirujano ortopédico si la calidad de vida de estas personas se reduce considerablemente debido a la OA severa.

En pacientes en los cuales la funcionalidad de una o ambas extremidades se ve gravemente afectada, cobra gran importancia la artroplastia de rodilla (en adelante, ATR) como tratamiento invasivo (7). Dicha intervención quirúrgica consiste en la resección de las superficies articulares enfermas para reemplazarlas por componentes protésicos de metal y polietileno (8). La elección de esta alternativa se enfoca principalmente en mejorar la calidad de vida, tanto a corto como a largo plazo. Cabe destacar que, a pesar de ser un procedimiento exitoso en la mayoría de los casos, la

literatura informa que hasta el 30% de las personas que fueron intervenidas han quedado insatisfechas, en relación a la disminución y/o pérdida en la habilidad para llevar a cabo las actividades de la vida diaria (7).

En este contexto, el presente trabajo se centra en un recorte poblacional definido: pacientes sometidos a ATR por gonartrosis, en la etapa temprana de la rehabilitación. Este énfasis permite orientar la investigación hacia el momento clínico en el que surgen los principales desafíos funcionales y en el cual resulta más relevante explorar alternativas terapéuticas. Como consecuencia de la ATR, las/los pacientes refieren un alto nivel de disfunción del grupo muscular cuádriceps después de la operación; "...los déficits de fuerza del cuádriceps son frecuentes en pacientes con OA de rodilla y se han atribuido a una falla de activación central..." (9). La falla de activación central se debe a una disfunción del sistema nervioso central, que limita la capacidad de reclutar y activar fibras musculares voluntariamente. Este fenómeno, que frecuentemente afecta al grupo muscular del muslo post-ATR, puede ser el resultado de una combinación de factores como el dolor, la inflamación y los cambios neurofisiológicos. El dolor postquirúrgico genera inhibición iatrogénica, una respuesta protectora del sistema nervioso central que reduce la activación muscular para evitar el uso excesivo de la articulación afectada. Esto lleva a una disminución de la señal de activación motora enviada a los músculos, lo cual limita la capacidad de generar fuerza (9).

Aunque la ATR permite reducir el dolor y brinda un rango funcional de movimiento, el déficit de fuerza de los cuádriceps persiste luego de la cirugía. Los estudios indican que la debilidad de los músculos del muslo, especialmente del cuádriceps y de los isquiotibiales, suele persistir e incluso empeorar luego de la ATR. Esta limitación puede prolongarse durante un período de tiempo considerable y es posible que no se recupere, incluso después de varios años (10). Este aspecto es un punto esencial para trabajar en la rehabilitación en una etapa temprana luego de la ATR. En este contexto, es fundamental llevar a cabo una buena rehabilitación postoperatoria para acercarse lo máximo posible a las expectativas preoperatorias de cada individuo. La rehabilitación implica el proceso de restaurar la función óptima con diversas estrategias diseñadas exclusivamente para cada individuo, con el fin de lograr el mayor desempeño funcional posible. Se utilizan diversas técnicas y ejercicios que permiten recuperar la fuerza, la movilidad y las habilidades funcionales. Un estudio que analizó las variaciones en la fuerza de cuádriceps e isquiotibiales mostró que, tras una ATR, la fuerza en los músculos alrededor de la articulación aumentó significativamente a partir de los 3 meses, con valores similares al lado sano alrededor de los 6 meses (10). Es por ello que se considera que los protocolos de rehabilitación deben centrarse en el fortalecimiento de los cuádriceps durante el período postoperatorio temprano.

La atención de las personas sometidas a una ATR estará a cargo del equipo interdisciplinario conformado, entre otros, por profesionales de la medicina, la enfermería y la kinesiología. La kinesiología es la disciplina científica que estudia principalmente el movimiento humano y los mecanismos que lo producen. Comprende el análisis de las interacciones entre los sistemas musculoesquelético, nervioso, cardiovascular y respiratorio, al igual que las interacciones de la persona con el entorno. Este campo integra conocimientos de anatomía, fisiología, biomecánica, psicomotricidad y neurociencia, lo que permite comprender tanto los aspectos físicos como los procesos mentales asociados al movimiento. La kinesiología se centra en la evaluación y la mejora de la función física, lo cual implica identificar disfunciones en la mecánica corporal y aplicar intervenciones terapéuticas para restaurar o mejorar el movimiento y reducir el dolor. Los mismos evaluarán los riesgos y los beneficios para la correcta toma de decisiones al momento de plantear un programa de rehabilitación.

Se conocen distintas modalidades de tratamiento para la rehabilitación luego de la ATR en las cuales se plantean variables tales como: el manejo del dolor, el control de la cicatriz, la estabilidad y la propiocepción. Es primordial trabajar la fuerza de los músculos cuádriceps, su activación y la hipertrofia.

La guía de práctica clínica “Manejo de la fisioterapia después de una Artroplastia de Rodilla: revisión basada en la evidencia” (publicada en el año 2020) plantea diferentes intervenciones que se desarrollan en dos etapas; estas etapas son la preoperatoria (programa de ejercicios preoperatorios y educación preoperatoria) y la postoperatoria (crioterapia, actividad física, entrenamiento de la función motora, equilibrio, marcha, ejercicio postoperatorio de rango de movimiento, estimulación eléctrica neuromuscular, resistencia e intensidad del ejercicio de fortalecimiento) (8). Se han explorado distintas estrategias terapéuticas para llevar a cabo estos objetivos y optimizar los resultados. Sin embargo, los enfoques de la rehabilitación postoperatoria abordan de manera incompleta los déficits musculares y funcionales que persisten después de la cirugía (9).

En ese sentido, para aumentar la fuerza muscular, se hace inminente la necesidad de buscar la mejor alternativa. Una de las herramientas terapéuticas que cobró importancia en los últimos años es el uso de Blood Flow Restriction: Terapia con Restricción del Flujo Sanguíneo (en adelante, BFR) de la cual existen registros de que podría ser una opción a considerar, en cuanto a la activación, la ganancia de fuerza y la hipertrofia muscular (11).

La pregunta de investigación que guía el presente trabajo es la siguiente: ¿cuáles son los efectos de aplicar un programa de ejercicios con restricción del flujo sanguíneo en la etapa temprana de la rehabilitación en las/los pacientes sometidos a ATR por gonartrosis?

II. Objetivos

II.1. Objetivo General

Analizar el impacto de la terapia con restricción del flujo sanguíneo (BFR) en la recuperación de la fuerza muscular de los cuádriceps, en las/los pacientes sometidos a ATR en la etapa posquirúrgica temprana.

II.2. Objetivos específicos

Describir el impacto de un programa de ejercicios con BFR en la hipertrofia muscular del cuádriceps en las/los pacientes post-ATR.

Examinar la seguridad y la tolerancia del BFR en las/los pacientes mayores.

Determinar el rol de la kinesiología en la intervención terapéutica de la población de pacientes objeto de este estudio.

III. Justificación de la propuesta

La ATR constituye una de las intervenciones más frecuentes y efectivas para el tratamiento de la gonartrosis en estadios avanzados, ya que alivia el dolor y mejora la funcionalidad de los/las pacientes. No obstante, el período post-operatorio inmediato representa una etapa crítica en la que se observan importantes dificultades vinculadas a la pérdida de fuerza muscular, la atrofia del cuádriceps y la limitación funcional, lo cual puede retrasar la recuperación y afectar los resultados a largo plazo. En este sentido, resulta indispensable explorar y aplicar estrategias terapéuticas innovadoras que contribuyan a optimizar los procesos de rehabilitación, más allá de las modalidades convencionales.

El entrenamiento con BFR surge como una técnica de creciente interés; su aplicación podría generar estímulos comparables al ejercicio de alta intensidad, pero con la posibilidad de trabajar con cargas reducidas, lo cual resulta especialmente relevante en pacientes sometidos a una ATR, en quienes la tolerancia al esfuerzo está limitada por el dolor, la inflamación y el riesgo de complicaciones asociadas al ejercicio de alta carga.

La presente tesina aborda los efectos de la terapia con restricción del flujo sanguíneo en pacientes post-ATR por gonartrosis, con el objetivo de contribuir al conocimiento sobre estrategias de rehabilitación en el contexto de la kinesiología. Se analizarán tanto los posibles beneficios como los

riegos asociados a esta intervención, con el fin de aportar evidencia que permita orientar la práctica clínica de manera segura.

IV. Marco teórico

IV.1. Osteoartritis de rodilla

La OA de rodilla es uno de los principales problemas de salud pública a nivel mundial debido a su alta prevalencia y a los costos asociados. Es la enfermedad degenerativa del cartílago articular; se la considera una enfermedad por uso y desgaste en la cual también intervienen diversos factores metabólicos e inflamatorios (12). Estos procesos patológicos resultan en un círculo vicioso de daño tisular, inflamación y alteraciones biomecánicas, que llevan a la progresión de la enfermedad y a la insuficiencia articular.

IV.1.a. Fisiopatología

La fisiopatología ha evolucionado significativamente en las últimas décadas. Tradicionalmente, se consideraba que la OA afectaba principalmente el cartílago articular. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que es una enfermedad que compromete toda la articulación; involucra el cartílago, la membrana sinovial y el hueso subcondral. Se procede a describir la anatomía y la fisiopatología de los distintos tejidos afectados:

- El cartílago articular es tejido avascular, alinfático y aneural, compuesto principalmente por condrocitos (único tipo de célula del cartílago) y por una matriz extracelular (13). El cartílago articular se divide en cuatro capas: zona superficial, zona media, zona profunda y cartílago calcificado (**Figura 1**). Estas capas se diferencian por la forma y el posicionamiento de los condrocitos y la orientación de la fibrilla de colágeno (14). El cartílago articular regula su actividad mediante mecanoreceptores que detectan la carga mecánica y modulan la función de los condrocitos a través de la mecanotransducción. Una carga mecánica adecuada, como el ejercicio moderado, protege el cartílago y mantiene su equilibrio metabólico, mientras que la inmovilización lo debilita y la sobrecarga puede causar daño irreversible lo que favorece la aparición de OA (15).
- El hueso subcondral está formado por dos capas: una capa de hueso cortical, conocida como placa de hueso subcondral, que se encuentra debajo del cartílago calcificado, y una capa más profunda de hueso trabecular o esponjoso subcondral (16).

- La membrana sinovial, compuesta por la capa íntima y la subíntima, junto con el líquido sinovial, juega un papel crucial en la nutrición del cartílago avascular, y actúa también como reservorio para sus productos de degradación (17). En la OA de rodilla los macrófagos desempeñan una función crucial en la inflamación sinovial. La activación de macrófagos en la membrana sinovial puede llevar a la producción de factores que promueven la degradación del cartílago y la progresión de la enfermedad (18).



Figura 1. Capas del cartílago articular

IV.1.b. Factores de riesgo de la OA de rodilla

Existe una gran variedad de factores de riesgo asociados a la OA de rodilla, los cuales pueden clasificarse en intrínsecos y extrínsecos. A continuación, se analizan algunos de los principales factores de riesgo:

Factores de riesgo no modificables (intrínsecos)

Edad: la incidencia creciente de la OA de rodilla se debe a la exposición acumulativa y prolongada a factores de riesgo y a los cambios que ocurren en las estructuras articulares con el envejecimiento (13). Existe una mayor prevalencia de OA de rodilla entre las mujeres de edad avanzada (19). En mujeres obesas se observó un aumento de la grasa intramuscular y mayor reducción del tejido de las fibras musculares, lo que, combinado con la disminución de la fuerza muscular, agrava la condición articular (20) (21).

Factores biomecánicos y ambientales: tienen un papel crucial en el desarrollo de la OA; en el último tiempo, la predisposición genética ha emergido como un factor de riesgo significativo. En los últimos años, la OA ha sido objeto de investigación genética detallada, con nuevos loci de riesgo de susceptibilidad a la enfermedad reportados anualmente (22) (23).

Debilidad muscular: la influencia que tienen los músculos en la estabilidad de la articulación de la rodilla y en la distribución de la carga que soporta es esencial para explicar que los déficits en la función muscular están relacionados con la OA (24).

Alteración del equilibrio mecánico: la desigualdad en la longitud de las extremidades afecta la distribución de las fuerzas en la articulación, lo que incrementa la carga en la extremidad más corta y, en consecuencia, favorece la aparición y avance de la enfermedad (25).

Factores de riesgo modificables (extrínsecos)

Obesidad: se destaca como uno de los principales factores de riesgo significativo y modificable. Las/los pacientes con un alto índice de masa corporal tienen una mayor probabilidad de requerir ATR. La evidencia científica muestra una relación contundente entre el desarrollo de OA y el exceso de peso, debido al aumento de la carga sobre las articulaciones que acelera el desgaste del cartílago. Las personas con obesidad tienen entre 1,5 y 2 veces más probabilidad de desarrollar OA de rodilla en comparación con aquellas con un peso normal (26).

Factores ocupacionales: son unos de los factores de riesgo modificables más relevantes en el desarrollo y progresión de la OA de rodilla. Se estima que aproximadamente 1 de cada 7 casos de OA de rodilla está relacionado con las condiciones laborales (27) (28).

Lesiones articulares previas: especialmente las del ligamento cruzado anterior, meniscos y meseta tibial aumentan significativamente el riesgo de OA (29). Estos daños alteran la distribución de cargas lo cual favorece el desgaste del cartílago. El menisco dañado incrementa la vulnerabilidad articular, y estudios indican que estas personas tienen hasta 15 veces más probabilidad de requerir una ATR (30).

IV.1.c. Epidemiología

La OA ha sido clasificada como la décima causa principal de discapacidad global; la rodilla es la articulación más comúnmente afectada (31). Esta representa más del 80% de la carga total de la enfermedad y afecta al menos al 19% de los adultos estadounidenses de 45 años o más. Por otra parte, en China, según la carga global de enfermedades de 2019, la incidencia de osteoartritis de rodilla alcanzó 84.258/100.000, lo que refleja un aumento del 128,7% en comparación con 1990 (32) (33). Se estima que la prevalencia de OA de rodilla entre adultos de 60 años o más es de aproximadamente el 10% en hombres y del 13% en mujeres (34).

IV.1.d. Cuadro clínico

El cuadro clínico depende del grado de daño articular y se caracteriza por dolor mecánico y tiende a aumentar con la actividad física vigorosa. Se asocia a rigidez matutina, crepitación al movimiento y pérdida progresiva del ROM articular. La afectación funcional es gradual lo cual dificulta las actividades cotidianas como subir escaleras o permanecer de pie, y puede evolucionar hacia la claudicación. Con el tiempo pueden aparecer deformidades como genu varo o valgo, que aumentan la inestabilidad y limitación articular (19) (4).

IV.1.e. Diagnóstico

El diagnóstico clínico de la OA se fundamenta en la historia clínica de cada paciente, a saber: los hallazgos obtenidos durante la exploración física, los resultados de laboratorio y las características observadas en las radiografías. En la historia clínica se valoran el dolor articular frecuente, la rigidez matutina y la disminución progresiva del rango de movimiento (35). En el examen físico se observan crepitaciones, reducción del rango articular, deformidad articular como genu varo o genu valgo, atrofia muscular y tumefacción, además de puntos dolorosos a la palpación. Cada profesional cuenta con diversas pruebas funcionales que permiten evaluar la marcha, la fuerza, el equilibrio y la estabilidad ligamentaria. Finalmente las radiografías confirman el diagnóstico y permiten clasificar la severidad de la enfermedad mediante la escala de Kellgren y Lawrence (36) (37).

La escala de Kellgren y Lawrence es ampliamente utilizada para clasificar la severidad de la enfermedad (38):

- Grado 1: sospecha de estrechamiento del espacio articular y presencia de osteofitos. **Figura 2.**
- Grado 2: estrechamiento del espacio articular y osteofitos definidos. **Figura 3.**
- Grado 3: presencia de múltiples osteofitos, esclerosis subcondral leve, estrechamiento del espacio articular definido y posible irregularidad ósea. **Figura 4.**
- Grado 4: grandes osteofitos, importante estrechamiento del espacio articular, esclerosis subcondral grave e irregularidad ósea definida en los extremos de los huesos. **Figura 5.**



Figura 2. Escala de Kellgren y Lawrence, grado 1.



Figura 3. Escala de Kellgren y Lawrence, grado 2.



Figura 4. Escala de Kellgren y Lawrence, grado 3.



Figura 5. Escala de Kellgren y Lawrence, grado 4.

IV.1.f. Reseña anatómica

La rodilla es la articulación intermedia de los miembros inferiores y está formada por tres huesos: el fémur, la tibia y la rótula. Esta articulación sinovial, está compuesta por dos subarticulaciones: la femororrotuliana (troclear) y la femorotibial (bicondílea) **Figura 6** (39).

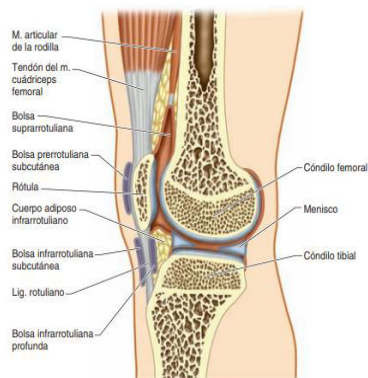


Figura 6. Sección sagital paramediana de la rodilla derecha. **Anatomía Clínica Pro 2014.**

IV.1.f.a. Perfil óseo

El fémur, hueso largo del muslo, presenta en su extremo distal dos cóndilos (medial y lateral) que se articulan con las cavidades glenoideas de la tibia. La rótula, actúa como punto de inserción del

musculo cuádriceps, mejora el mecanismo de extensión de la rodilla y protege la articulación frente a traumatismos directos **Figura 7, 8 y 9**. Dado que las superficies articulares femorotibiales no son congruentes, entre ambas, se alojan los meniscos que incrementan el área de contacto articular. **Figura 10.** (39).

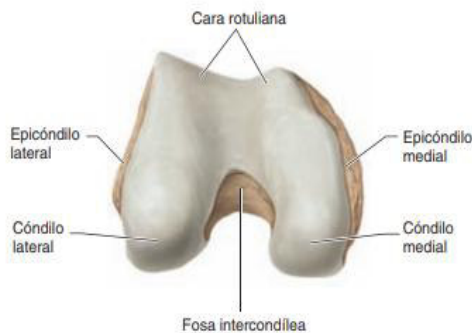


Figura 7. Fémur derecho, epífisis distal. Vista inferior. **Anatomía Clínica Pro 2014.**

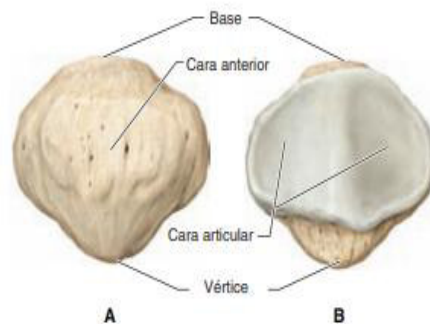


Figura 8. Rótula derecha. **A.** Vista anterior. **B.** Vista posterior. **Anatomía Clínica Pro 2014.**

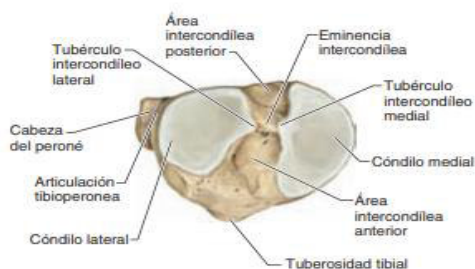


Figura 9. Tibia y peroné derechos, epífisis proximales. Vista superior. **Anatomía Clínica Pro 2014.**

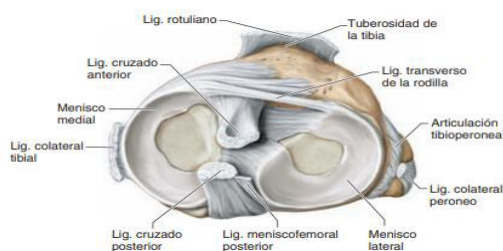


Figura 10. Vista superior de los meniscos de la articulación de la rodilla derecha. **Anatomía Clínica Pro 2014.**

IV.1.f.b. Medios de unión

Los principales medios de unión de la articulación de la rodilla son la cápsula articular y los ligamentos, que actúan como estabilizadores pasivos. La estabilidad se refuerza mediante ligamentos dispuestos en distintos planos estos son: ligamentos colaterales, ligamento poplíteo y los ligamentos cruzados; estos proporcionan estabilidad y limitan el movimiento en valgo, varo y traslación anteroposterior (40). **Figura 11 y 12.**

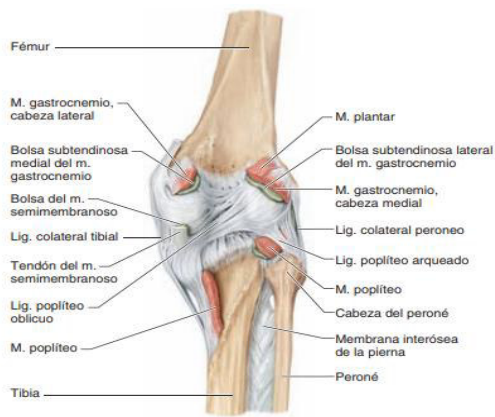


Figura 11. Cápsula articular de la rodilla derecha. Vista posterior. **Anatomía Clínica Pro 2014.**

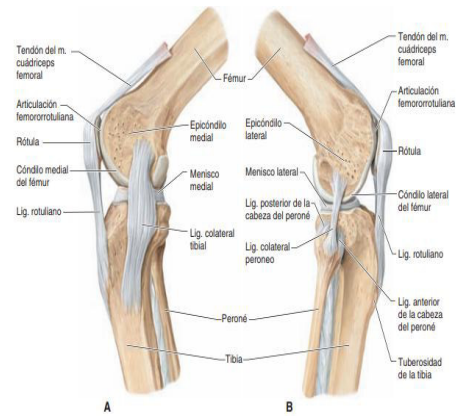


Figura 12. Ligamentos colaterales de la articulación de la rodilla derecha. **A.** Vista medial. **B.** Vista lateral. **Anatomía Clínica Pro 2014.**

IV.1.f.c. Ejes de movimiento

La rodilla tiene seis grados de amplitud de movimiento en tres ejes geométricos. En cada uno de ellos, la tibia puede trasladarse o rotar con respecto al fémur. Esta situación deja como resultado seis pares de movimientos: flexo-extensión, varo-valgo, rotación interna-externa, compresión y distracción, desplazamiento anteroposterior y desplazamiento mediolateral (40).

El eje mecánico del miembro inferior es oblicuo hacia abajo y hacia dentro, lo que forma un ángulo de 3° con la vertical. Cuanto más ancha sea la pelvis, más abierto será este ángulo, como en el caso del sexo femenino, motivo por el cual se ve más acentuado el valgo fisiológico de rodilla (41).

Figura 13

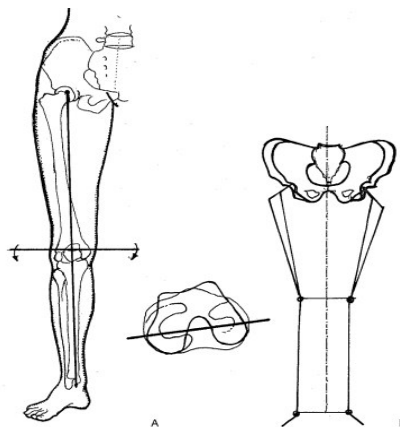


Figura 13. A) Eje de flexoextensión de la rodilla y eje de carga de la extremidad. B) El valgo aumenta con la anchura de la pelvis. **Miralles biomecánica clínica del aparato locomotor.**

V. Tratamiento de la OA de rodilla

El tratamiento debe ser individualizado e integral. Los tratamientos conservadores suelen ser útiles para las personas con OA, especialmente en los grados 1 a 3 según la clasificación de Kellgren y Lawrence. Si no se produce el alivio de los síntomas, debe plantearse un tratamiento quirúrgico.

V.1. Tratamiento conservador

No existe, hasta el momento, un tratamiento conservador de la OA capaz de detener o disminuir su progresión. Sin embargo, existen una serie de intervenciones que se proponen disminuir la sintomatología y lograr un mejor desempeño funcional. El objetivo del tratamiento es disminuir el dolor, conservar la movilidad articular y minimizar la discapacidad. El tratamiento conservador se subdivide en tratamiento no farmacológico y farmacológico.

V.1.a. Tratamiento no farmacológico

El tratamiento no farmacológico es un conjunto de pautas que se le da a cada paciente con el propósito de lograr identificar los abordajes idóneos para ese individuo (42).

- Educación de la/del paciente: consiste en recomendaciones que se deben indicar como modificaciones de hábitos de vida y explicar la importancia de una dieta saludable y óptima, al igual que la actividad física regular. Recomendación de calzado adecuado y distintos tipos de ortesis (bastón, andador, uso de rodillera, etc.).
- Ejercicio terapéutico: útil para disminuir el dolor y mejorar el movimiento de las articulaciones. Es el eje principal del tratamiento no farmacológico. Consiste en programas de actividad terapéutica en los cuales se combinan ejercicios de fuerza (principalmente de cuádriceps e isquiotibiales), ejercicios aeróbicos y entrenamiento del equilibrio y la coordinación (42).
- Fisioterapia:
 - TENS: se utiliza para aliviar el dolor y para potenciar el impulso eléctrico y la activación del grupo muscular seleccionado.
 - Termoterapia: aplicación tanto de frío como de calor. La aplicación de calor mejora la circulación y alivia las articulaciones rígidas y los músculos, mientras que la aplicación de frío desacelera la circulación, lo que ayuda a reducir la hinchazón y alivia así el dolor agudo. Es importante que cada paciente experimente ambas terapias para determinar cuál es más efectiva para tratar sus síntomas específicos (42).

V.1.b. Tratamiento farmacológico

Se diferencian entre los que poseen un fin analgésico y los que se proponen como condroprotectores o moduladores de la enfermedad (38). Dentro del primer grupo de medicamentos se encuentran:

- Antiinflamatorios no esteroideos (en adelante, AINES); mediante la inhibición de enzimas COX controlan el proceso inflamatorio y la cascada de dolor.
- Corticoides intraarticulares (en adelante, CIA); utilizados por su capacidad de disminuir el fenómeno inflamatorio y así reducir la sintomatología (38).

Dentro del segundo grupo se destacan:

- Glucosamina (en adelante, GA) y condroitín sulfato (en adelante, CS); participan en la formación de la síntesis de proteoglicanos de MEC (38).
- Medicamentos de residuos insaponificables; estos fármacos buscan inhibir la interleuquina-I y estimular la actividad sintética de los condrocitos articulares.
- Nutracéuticos: dentro de las alternativas “naturales” con efectos antiartrósicos se destacan los compuestos nutracéuticos, los cuales tienen capacidades antioxidantes.
- Ácido hialurónico (en adelante, HA); glicosaminoglicano no sulfatado, encontrado en grandes cantidades en la MEC y el líquido articular (38).

Generalmente, se da un plazo de seis meses tras el comienzo del tratamiento para evaluar si el fortalecimiento muscular y la terapia farmacológica son efectivos. De lo contrario, si no se produce alivio de los síntomas, debe plantearse una conducta quirúrgica.

V.2. Tratamiento quirúrgico

Si las terapias conservadoras no logran aliviar adecuadamente los síntomas o mejorar la funcionalidad articular en la OA avanzada, la ATR se presenta como una opción quirúrgica importante. La ATR implica la sustitución completa de la articulación por una prótesis artificial, con el objetivo de reducir el dolor, restaurar la funcionalidad y mejorar la calidad de vida (44).

Es una de las cirugías ortopédicas más comunes a nivel mundial. En Estados Unidos, por ejemplo, se realizan aproximadamente 700.000 ATR al año, y se estima que este número seguirá en aumento debido al envejecimiento de la población y la gran prevalencia de la OA (43). La incidencia anual mundial de ATR ha aumentado de manera constante durante las últimas 2 décadas; en los países industrializados es de 150 a 200/100.000 habitantes (44).

V.2.a. Indicaciones de la ATR

Uno de los principales desafíos en la toma de decisiones para llevar a cabo una ATR es identificar adecuadamente a las personas que obtendrán un beneficio significativo del procedimiento quirúrgico. La indicación de una ATR se basa en la integración de múltiples variables, entre las

cuales se destacan el dolor, la impotencia funcional y los signos radiológicos de daño articular grave (45).

Es fundamental evaluar estas variables en conjunto con la edad de la/del paciente, las demandas funcionales y la actitud psicológica hacia el proceso de recuperación. Otras indicaciones incluyen la presencia de enfermedades reumáticas inflamatorias, neoplásicas, secuelas de traumatismos o fracturas. Es clave que la ATR se considere tras el fracaso de tratamientos no quirúrgicos, tales como antiinflamatorios no esteroideos, infiltraciones, modificación de la actividad, uso de dispositivos de asistencia para la deambulaci3n, ejercicios de bajo impacto y fisioterapia (46).

V.2.b. Contraindicaci3n de la ATR

La ATR es un procedimiento complejo que requiere una evaluaci3n cuidadosa de las contraindicaciones para garantizar el 3xito de la cirug3a y minimizar el riesgo de complicaciones. Las contraindicaciones pueden clasificarse en absolutas y relativas. Dentro de las absolutas se incluyen la infecci3n articular reciente o la infecci3n sist3mica, la patolog3a neurol3gica local, la artrodesis no dolorosa y funcionalmente adecuada. Por otro lado, se consideran contraindicaciones relativas la incompetencia del aparato extensor, la patolog3a vascular perif3rica, la osteoporosis severa, la deformidad articular y aquellas patolog3as m3dicas que impidan participar de la rehabilitaci3n posoperatoria. La decisi3n final depender3 del grado de severidad y del impacto potencial de la condici3n subyacente sobre los resultados de la intervenci3n quirúrgica (45).

Es importante tener en cuenta que determinados grupos de pacientes presentan un riesgo elevado de complicaciones y peores resultados. Esto incluye a personas que presentan: enfermedad de Parkinson, diabetes mellitus, artritis reumatoide, pacientes con osteotom3a tibial previa, sujetos mayores de 75 a3os o pacientes excesivamente j3venes (46).

V.2.c. Objetivos de la ATR

Los principales objetivos al realizar una ATR son:

1. Aliviar o reducir el dolor articular que compromete la funcionalidad de la/del paciente.
2. Mejorar o mantener la movilidad articular previa a la cirug3a.
3. Proporcionar estabilidad a la articulaci3n.
4. Lograr una fijaci3n estable y duradera (47).

Para lograr estos objetivos, es esencial respetar los siguientes principios t3cnicos:

- ✓ Alineaci3n adecuada: asegurar que los componentes de la pr3tesis est3n bien alineados en los tres planos, lo cual se logra con cortes 3seos precisos para restaurar el eje natural de la extremidad.

- ✓ Equilibrio ligamentario: mantener el balance adecuado entre los ligamentos en extensión y flexión es fundamental, incluso en algunos casos puede favorecer a una alineación mecánica perfecta.
- ✓ Fijación sólida: el uso de cemento óseo es el método preferido para garantizar la fijación firme y duradera de los implantes.

Respecto a la alineación, se distinguen diferentes enfoques:

- ❖ Alineación mecánica: busca crear un eje neutro desde la cadera hasta el tobillo. Esto asegura que los componentes sean perpendiculares al eje mecánico del fémur y la tibia.
- ❖ Alineación anatómica: en la mayoría de las personas, el eje anatómico presenta ligeras variaciones, caracterizadas por un leve valgo en el fémur y varo en la tibia.
- ❖ Alineación cinemática: intenta respetar el eje de flexión de la rodilla de cada paciente, con el objetivo de replicar lo más fielmente posible el movimiento natural de la articulación (47).

V.2.d. Fijación de la prótesis

La ATR involucra la elección de distintos tipos de prótesis; el método de fijación desempeña un rol clave para la estabilidad postoperatoria, la durabilidad del implante y los resultados clínicos. Existen tres enfoques principales en cuanto a la fijación: fijación cementada, no cementada e híbrida. La determinación del tipo de fijación dependerá de diversos factores, como la edad de la/del paciente, la calidad del hueso y el estilo de vida.

La fijación cementada ha sido tradicionalmente el método de referencia en la ATR. Este enfoque emplea cemento óseo para asegurar el implante al hueso y garantiza una unión inmediata y robusta. Se reportan tasas de supervivencia superiores al 90% en seguimientos de 15 a 20 años, lo cual la convierte en la opción más elegida para las/los pacientes mayores o con calidad ósea comprometida (48).

Por otro lado, la fijación no cementada se basa en la integración biológica; el hueso crece y se adhiere a la superficie porosa del implante y genera una unión natural con la prótesis. Diseñados con recubrimientos especiales para promover esta osteointegración, estos implantes son una opción atractiva para pacientes jóvenes y activos. Ofrecen una unión duradera y estable a largo plazo, lo cual optimiza la eficiencia quirúrgica y los resultados finales. Sin embargo, la estabilidad completa puede requerir semanas o meses, esto depende de la calidad del hueso. Aunque la fijación sin cemento tiene beneficios como la preservación del tejido óseo, menor tiempo quirúrgico, y menos complicaciones asociadas al cemento, también presenta desafíos como un mayor riesgo de aflojamiento aséptico y costos más altos en comparación con la fijación cementada.

Por último, la fijación híbrida combina las ventajas de ambos métodos, al cementar el componente tibial, mientras se deja el componente femoral sin cemento. Esta estrategia busca lograr una estabilidad inmediata a través de la fijación cementada, al mismo tiempo que se aprovechan los beneficios de la osteointegración a largo plazo de la fijación no cementada (49)(48).

V.2.e. Complicaciones postoperatorias

Las complicaciones postoperatorias más frecuentes son:

- Infección 9.09%
- Trombosis venosa 4.95%
- Fractura periprotésica 2.48%
- Rigidez 1.55%
- Aflojamiento de prótesis 0.83%

V.2.f. Rehabilitación postoperatoria

La rehabilitación después de una ATR presenta varios desafíos debido a los déficits resultantes de la cirugía, tales como la inhibición muscular, la pérdida de fuerza, la atrofia muscular, el dolor y la reducción en el rango de movimiento (9).

Aunque los resultados a largo plazo de la ATR suelen ser positivos, los primeros meses postoperatorios están marcados por una importante disminución de la fuerza muscular, especialmente en el cuádriceps, con una pérdida que puede llegar a ser de hasta un 30% inmediatamente después de la cirugía y de un 50% - 60% luego del primer mes (44). Esto se debe tanto a la atrofia muscular como a una activación neuromuscular deficiente que reduce la capacidad del músculo para reclutar unidades motoras de manera efectiva. Además, factores como la hospitalización y el desuso agravan la pérdida de fuerza, lo que se suma a la debilidad preexistente debido a la OA (9).

La rehabilitación física tras una ATR tiene como objetivo mejorar la fuerza, la funcionalidad, reducir el dolor y facilitar el retorno a las actividades cotidianas. No obstante, las intervenciones pueden variar tanto en la forma como así también en el momento de inicio, frecuencia e intensidad, ya que actualmente no existe un consenso acerca de cuál es la estrategia de rehabilitación óptima. Sin embargo, las estrategias de rehabilitación actuales suelen centrarse en ejercicios funcionales con poca o ninguna carga externa, lo cual se considera insuficiente para lograr resultados óptimos. Mayormente, el objetivo es solo mejorar los resultados funcionales como el rango de movimiento, el equilibrio y el rendimiento en las actividades diarias, con poco enfoque en la fuerza e hipertrofia

muscular (9). Para mejorar la fuerza muscular y la función física, es necesario implementar métodos de entrenamiento más efectivos, como el uso de ejercicios de resistencia de mayor intensidad (51). Estos ejercicios generan una gran activación neuromuscular y aumentan la fuerza de manera más significativa que los ejercicios sin peso. De hecho, el entrenamiento con cargas pesadas ha demostrado ser superior al uso de cargas ligeras para incrementar la fuerza muscular en las personas que se han sometido a una ATR. En este sentido, el entrenamiento de fuerza de alta intensidad resulta ser particularmente eficaz para mejorar la fuerza y la funcionalidad después de una ATR (9).

Realizar ejercicios con cargas elevadas (70% - 80% del esfuerzo máximo) genera una respuesta adaptativa más favorable en términos de hipertrofia muscular y recuperación funcional en comparación con programas de baja intensidad. Si bien los y las fisioterapeutas deben planificar, aplicar y guiar la progresión de ejercicios de alta intensidad durante las primeras etapas del período postoperatorio (idealmente dentro de los primeros siete días después de la cirugía), cabe destacar que implementar este tipo de entrenamiento dentro de la rehabilitación puede ser complicado debido al dolor, la inflamación y el miedo a la lesión, factores que limitan la tolerancia de las/los pacientes a soportar cargas elevadas (9). Algunos profesionales de la salud esperan hasta que desaparezca la inflamación dada por la cirugía para comenzar con la rehabilitación, mientras que otros prefieren comenzar dentro de dicha fase, ya que argumentan que promueve la recuperación (44). Estudios recientes han demostrado que el entrenamiento de alta intensidad, si se aplica de forma temprana y con criterios de progresión adecuados, es seguro y no compromete el rango de movimiento de la rodilla (8). Sin embargo, no todas/os las/los pacientes pueden beneficiarse de este enfoque, ya que las personas que presentan una inhibición muscular significativa del cuádriceps podrían no experimentar una sobrecarga suficiente para generar mejoras en la fuerza e hipertrofia muscular. En contraposición, un enfoque demasiado agresivo sin los criterios de progresión adecuados puede exacerbar el dolor y la inflamación, lo que dificulta el proceso de recuperación.

El entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFR) ha surgido como una opción alternativa para individuos que, tras una ATR, no pueden tolerar cargas altas debido a factores como el dolor, la inflamación o el temor a lesiones. Durante las primeras fases de la rehabilitación, el BFR podría ser una herramienta útil para abordar el proceso de recuperación sin recurrir a cargas elevadas (8).

Debido al creciente interés de su implementación en la rehabilitación de diferentes intervenciones quirúrgicas de rodilla y su aplicación en la población adulta, es importante explorar más a fondo su implicancia en la rehabilitación de pacientes con ATR.

VI. Restricción del flujo sanguíneo

VI.1. Lineamientos generales

La restricción del flujo sanguíneo, es una técnica que emplea torniquetes o manguitos neumáticos en las extremidades con el objetivo de reducir el flujo sanguíneo arterial y limitar el retorno venoso durante el ejercicio. Esta metodología fue desarrollada inicialmente en Japón por el Dr. Yoshiaki Sato, bajo el nombre de “entrenamiento KAATSU”, que significa “entrenamiento con presión añadida” (52).

El BFR es una alternativa efectiva para combinar diferentes tipos de entrenamiento: ejercicios aeróbicos como andar en bicicleta y caminar, ejercicios de resistencia con el peso corporal y ejercicios de resistencia con carga externa (53).

El colegio estadounidense de medicina deportiva establece que, en individuos sanos las cargas para el entrenamiento deben ser del 60% al 70% de una repetición máxima (en adelante, 1RM) para promover el desarrollo de la fuerza, y entre el 70% y el 85% de 1RM para estimular la hipertrofia muscular (54). Sin embargo, a través del BFR, es posible alcanzar mejoras significativas en la hipertrofia y la fuerza muscular al utilizar cargas considerablemente más bajas. Los resultados son comparables a los de entrenamientos con cargas más pesadas (55).

El entrenamiento de resistencia combinado con BFR ha demostrado de manera consistente su efectividad para aumentar la hipertrofia y la fuerza muscular tanto en personas jóvenes como en adultos sanos. Además, se ha dado utilidad en poblaciones que requieren rehabilitación y tienen limitaciones para realizar ejercicio con cargas elevadas (52). Sin embargo, la aplicación del BFR en contextos clínicos puede presentar desafíos, especialmente luego de la cirugía y durante la inmovilización. Para superarlos, se ha desarrollado un modelo progresivo de cuatro pasos que permite una introducción gradual de la técnica:

1. Aplicación del BFR durante el período de reposo post-cirugía e inmovilización.
2. Aplicación del BFR combinado con ejercicios aeróbicos.
3. Aplicación del BFR combinado con ejercicios de resistencia de carga baja.
4. Aplicación del BFR combinado con ejercicios de resistencia de carga baja y carga alta.

Este modelo progresivo de entrenamiento con BFR se presenta como posible estrategia de rehabilitación que podría ser implementada desde las etapas iniciales o previas a la deambulación hasta la reintroducción de ejercicios de mayor carga (56).

El uso del BFR se recomienda en combinación con diversos tipos de ejercicios, ya sean de resistencia, aeróbicos o pasivos. Se deben adaptar factores como el volumen, la intensidad, la presión aplicada por el manguito, la duración de la restricción, el tamaño y el material del manguito. Para maximizar los beneficios en términos de mejora muscular y aeróbica, es fundamental tener en cuenta las indicaciones y las contraindicaciones de la técnica, así como evaluar la elegibilidad de cada paciente. Además, resulta clave ajustar parámetros como el tipo de entrenamiento, la frecuencia, el tiempo bajo tensión y otros factores específicos que se relacionan con la condición y la necesidad individual de cada paciente (52) (53).

VI.2. Mecanismos Fisiológicos

El BFR genera un ambiente de hipoxia e isquemia que provoca altos niveles de estrés metabólico y de tensión mecánica en los músculos durante el ejercicio. Este entorno favorece la hipertrofia debido a que ambos factores actúan como estímulos primarios para el crecimiento del músculo (54). Se destacan diversos mecanismos como la producción de hormonas anabólicas, activación de células de reparación, aumento de síntesis proteica y un mayor reclutamiento de fibras musculares rápidas (57). El estrés metabólico durante el entrenamiento con BFR conlleva un aumento de lactato en sangre y un aumento de la hormona de crecimiento con efectos sistémicos que impactan en la pierna contralateral y en otras extremidades. La reducción en la expresión de miostatina, inhibidor natural de la hipertrofia muscular, refuerza los efectos de aumento de masa y fuerza muscular. La reducción de suministro de oxígeno a las células musculares durante ejercicio de baja resistencia intensifica la acumulación de metabolitos (niveles altos de ácido láctico), lo cual contribuye a la fatiga, y facilita el reclutamiento de fibras musculares, especialmente las de tipo II (58).

Las fibras tipo II se activan normalmente solo en situaciones de alta fatiga. La falta de oxígeno contribuye a la acumulación de protones y metabolitos que, al no poder ser eliminados adecuadamente por la presión del manguito, generan aumento celular, un fenómeno asociado a la hipertrofia muscular (57). Por otra parte, la acumulación de metabolitos también favorece el reclutamiento de más unidades motoras, lo que mejora la activación de las vías de señalización que promueven el crecimiento muscular. Finalmente, se incrementan los niveles sistémicos de IGF-1 (factor de crecimiento insulínico tipo 1) y hormona de crecimiento que estimulan las vías anabólicas e inhiben las catabólicas (57) (59).

VI.3. Beneficios

Entre los principales beneficios del BFR se destacan:

- Mejora de la fuerza e hipertrofia muscular: el BFR puede inducir hipertrofia muscular y mejorar la fuerza en individuos sanos, en personas con debilidad musculoesquelética y en personas con diversas patologías como OA de rodilla, dolor patelofemoral, etc. Además, podría ser útil para las personas con limitaciones para realizar ejercicios de alta carga debido a dolor o inflamación postoperatoria (55).
- Mejora de la presión arterial y la frecuencia cardíaca: se ha observado que el BFR aplicado con baja carga utilizado después de la cirugía puede tener efectos positivos en el sistema cardiopulmonar en comparación con el entrenamiento aeróbico tradicional (60).
- Reducción del dolor: el BFR permite trabajar con cargas bajas, lo que disminuye el estrés sobre los tejidos y las articulaciones. Esto puede favorecer una mayor participación de las/los pacientes en su proceso de rehabilitación sin aumentar significativamente el dolor o el riesgo de sobrecarga articular (55).
- Aumento de la densidad ósea: el BFR junto con el ejercicio de baja intensidad puede facilitar mejoras en la densidad ósea sin someter al cuerpo a la tensión física del entrenamiento de resistencia de alta intensidad (60).
- Mejora la condición física: el entrenamiento con BFR ha demostrado que mejora la capacidad funcional en diversos contextos. Se ha observado que su uso potencia los resultados en pruebas como la caminata de 6 minutos, la prueba de levantarse y caminar (Timed Up and Go) y la prueba de sentarse y levantarse durante 30 segundos (30-Second Sit- to-Stand) (60).

VI.4. Indicaciones:

Las indicaciones para la técnica del BFR son diversas y se extienden a distintos contextos y poblaciones. Algunas de las principales indicaciones son:

1. Rehabilitación musculoesquelética: beneficioso para personas que han sufrido atrofia muscular debido a lesiones o enfermedades que dificultan la ejecución de ejercicios de resistencia. Esto lo hace particularmente útil en escenarios clínicos en los cuales es necesario un enfoque progresivo para restaurar la fuerza muscular sin añadir un estrés excesivo a las articulaciones y tejidos. Además, el BFR es una opción viable en condiciones como osteoporosis y artritis reumatoide, patologías en las que se requiere fortalecimiento muscular sin los riesgos asociados a cargas altas (56).
2. Rehabilitación preoperatoria y postoperatoria: en el contexto de la rehabilitación de las extremidades inferiores, el BFR puede combinarse con ejercicios de baja carga, lo cual permite a quienes no pueden realizar ejercicio de alta carga después de la cirugía, acceder a

un enfoque alternativo. Esta técnica se podría aplicar para abordar la necesidad de mantener y desarrollar la fuerza muscular durante el proceso de recuperación de la función articular (59).

3. Mejora en el rendimiento y recuperación en atletas: el BFR reduce el riesgo de daño o estrés adicional en las articulaciones y los tejidos, un aspecto crucial durante los períodos de recuperación para prevenir que se agraven las lesiones o alarguen los tiempos de inactividad (53).
4. Prevención del deterioro físico en adultos mayores: la atrofia muscular y el deterioro físico en dicha población suele agravarse después de una cirugía o lesión musculoesquelética, lo cual frecuentemente conduce a inmovilización prolongada y disminución de la capacidad funcional. La implementación del BFR contribuye a preservar la masa muscular y mitiga las consecuencias por desuso en huesos y músculos, permite alcanzar la recuperación deseada sin generar sobrecarga (53).
5. Dolor o limitación para la utilización de cargas elevadas: aplicar carga elevada sobre una articulación ya afectada puede ser perjudicial, ya que incrementa el dolor y la rigidez, además de aumentar el riesgo de progresión de enfermedades como la OA. El BFR permitiría ganar fuerza sin sobrecargar las articulaciones, lo cual lo convierte en una alternativa para quienes no pueden tolerar el ejercicio convencional de resistencia (61).

VI.5. Contraindicaciones:

Las contraindicaciones para el uso del BFR abarcan una gran variedad de condiciones clínicas y/o contextos que deben ser evaluados antes de iniciar su implementación. Si bien no existe una lista exhaustiva de contraindicaciones, a continuación se enumeran condiciones que pueden limitar su aplicación:

1. Enfermedades cardiovasculares: pacientes con enfermedades coronarias, hipertensión inestable, tromboembolismo venoso, hemofilia o enfermedad vascular periférica requieren una evaluación más exhaustiva, ya que el BFR puede exacerbar estas condiciones al alterar el flujo sanguíneo (55). Estudios recientes señalan que los antecedentes de trombosis (92,7%) y trastornos cardiovasculares (70,6%) constituyen las principales contraindicaciones para la aplicación de esta técnica. Las personas con hemofilia u otros trastornos que aumentan el riesgo de trombosis deben evitar el uso del BFR, ya que se puede incrementar la formación de coágulos, lo cual representa un riesgo significativo en esta población (58).

2. Lesiones músculo-esqueléticas graves, la presión aplicada por el manguito podría empeorar el cuadro (56).
3. Condiciones médicas crónicas, tales como, la diabetes mellitus no controlada deben ser consideradas antes de iniciar el tratamiento (55).
4. Factores relacionados con el estilo de vida: el embarazo, el tabaquismo y el uso de medicamentos que afectan la coagulación (55).
5. Estado general de salud de la/del paciente: la presencia de complicaciones postoperatorias como infecciones, dificultades en la cicatrización o inflamación (55).
6. Otras condiciones clínicas: existen otros factores a considerar, como la anemia de células falciformes, la linfadenectomía y la presencia de cáncer o tumores (11).

VI.6. Efectos secundarios

Es crucial considerar los posibles efectos secundarios asociados a su implementación. Se han documentado una serie de efectos secundarios que pueden surgir especialmente si el BFR se aplica de manera inapropiada o sin la debida supervisión. Por lo tanto, es fundamental que se realice una evaluación exhaustiva de los factores de riesgo y se mantenga un monitoreo constante durante las sesiones del BFR. Entre los efectos secundarios se destacan:

1. Desmayo y mareos: relacionados con la hipotensión post ejercicio, o incluso una respuesta vasovagal asociada con la aplicación del BFR (62).
2. Náuseas.
3. Dolor de cabeza.
4. Entumecimiento y parestesia: asociados al uso de presiones elevadas junto con manguitos de oclusión anchos. Es probable que se produzca debido a la presión aplicada a los nervios, órganos periféricos y en respuesta a la isquemia producida. Es de carácter transitorio, y se revierte rápidamente una vez eliminada la oclusión del miembro (62).
5. Dolor muscular de aparición tardía: también conocido como DOMS (Delayed Onset Muscle Soroness). Es un síntoma que se manifiesta comúnmente luego del ejercicio con BFR, y puede persistir luego de 24, 48 o 72 horas post ejercicio; depende del protocolo y metodología utilizada. Es una respuesta transitoria al estímulo del ejercicio y no exclusivamente al BFR (62).
6. Tromboembolia venosa (en adelante, TEV): la TEV es una preocupación importante asociada al uso del BFR, especialmente en pacientes postquirúrgicos o con períodos largos de inmovilización. La TEV puede manifestarse como trombosis venosa profunda (en adelante, TVP) o embolia pulmonar (en adelante, EP) (63). En relación a la TVP, la

evidencia actual relacionada con esta complicación es escasa; sin embargo, no debe excluirse por completo la posibilidad de formación de TVP, especialmente en individuos con factores de riesgo preexistentes (64).

7. Rhabdomiolisis: es una condición en la que hay descomposición del tejido muscular, puede liberarse mioglobina en el torrente sanguíneo y causar daño renal. Es importante la monitorización adecuada en pacientes con condiciones médicas preexistentes, especialmente en individuos que realicen ejercicios físicos de alta intensidad sin la debida preparación. Deben tenerse en cuenta los signos y síntomas característicos de esta condición, como el dolor muscular intenso, la debilidad y los cambios en el color de la orina (64).
8. Hematoma.
9. Dolor intenso: el BFR se asocia con calificaciones más altas de esfuerzo percibido, dolor y malestar, incluso al utilizar cargas ligeras. Esto sugiere que, a pesar de las cargas bajas, el BFR puede ser percibido como más exigente por los/las participantes. En estudios realizados con adultos/as mayores, se observó que el esfuerzo percibido fue alto al inicio de un programa de caminata con BFR, pero disminuyó en las sesiones posteriores. Esto sugiere que las/los participantes pueden adaptarse al BFR con el tiempo (60).

VI.7. Seguridad del BFR

La seguridad del BFR depende de diversas variables, entre las que se incluyen el ancho del manguito, la presión oclusiva y los factores específicos del entrenamiento, como la intensidad, la frecuencia y la duración de las sesiones. La implementación incorrecta de estos parámetros, especialmente al utilizar métodos improvisados como correas y bandas elásticas que no permiten un control adecuado de la presión, puede incrementar el riesgo de complicaciones. Estos dispositivos pueden ejercer una presión excesiva en áreas localizadas y aumentar el riesgo de lesiones en tejidos blandos y estructuras subyacentes. Además, una presión oclusiva excesiva o inadecuada podría derivar en complicaciones, particularmente si la presión es sostenida por un tiempo prolongado (63) (65).

Una de las principales preocupaciones en relación con el BFR es su impacto en el sistema cardiovascular, sobre todo en poblaciones vulnerables, como adultos mayores o personas en rehabilitación. Aunque algunos estudios sugieren riesgos potenciales de complicaciones cardiovasculares, la evidencia científica muestra que, con presiones adecuadas, el BFR no representa un riesgo cardiovascular mayor al del entrenamiento convencional. Al no bloquear completamente el flujo arterial, el BFR permite una reducción del gasto sistólico durante el ejercicio, que vuelve a niveles normales al liberar la presión, lo cual explica su seguridad. Además,

estudios en adultos/as mayores que combinan el BFR con ejercicio aeróbico reportan que la presión arterial se mantiene estable y que incluso puede reducirse tras el entrenamiento (65).

El BFR es una herramienta segura para las personas que se han sometido a cirugías ortopédicas, siempre que se realice una evaluación previa de riesgos y se individualicen los parámetros de presión oclusiva. En estos casos, es importante destacar la presencia de signos de TVP y EP, y considerar el historial médico de la/del paciente para minimizar cualquier posible complicación. Para pacientes activos/os sin alteraciones significativas en su sistema circulatorio, el BFR representa una opción de bajo riesgo que puede complementar su recuperación tras la cirugía; esto permite la realización de ejercicios de resistencia de baja intensidad sin exponerlos a mayores peligros (65) (63).

VI.8. Características del manguito

Como se ha mencionado anteriormente, en los inicios del entrenamiento con BFR, se empleaban técnicas rudimentarias, como el uso de bandas elásticas ajustadas alrededor de la extremidad. Este enfoque presentaba riesgos significativos, ya que estas herramientas podrían obstruir totalmente el flujo arterial y venoso sin permitir un control preciso de la presión; esto generaba tensión concentrada en áreas limitadas y, en consecuencia, aumentaba la probabilidad de daño a tejidos blandos y estructuras profundas en la zona de aplicación (63). Con el tiempo, los avances tecnológicos dieron lugar al desarrollo de manguitos neumáticos, diseñados específicamente para BFR (**Figura 14**), que ofrecen un nivel de personalización y seguridad superior. Estos manguitos neumáticos, más avanzados y con capacidades de ajuste preciso de presión, reducen la probabilidad de complicaciones, ya que permiten establecer una presión mínima que limita el flujo sanguíneo sin ocluirlo por completo, lo cual es clave para la seguridad en este tipo de entrenamiento (11).

Entre las innovaciones en el diseño de estos manguitos se destaca su mayor ancho, que suele variar entre los 10cm y 12cm, e incluso puede llegar a los 15 cm en algunos casos. Este mayor ancho disminuye la presión necesaria para alcanzar la oclusión deseada ya que distribuye la compresión de manera más uniforme en comparación con dispositivos estrechos (esto disminuye el riesgo de molestias y posibles complicaciones). Además, estos manguitos presentan un diseño cónico que se adapta a la anatomía natural de las extremidades y se ajusta según la circunferencia del brazo o la pierna, mejora la comodidad del usuario y minimiza las tensiones focalizadas en la piel y en los tejidos subyacentes. Este diseño optimizado asegura que cada usuario podría beneficiarse del entrenamiento sin temor a daños permanentes en los tejidos. Además, favorece a un nivel de seguridad elevado en el ámbito de la rehabilitación y el rendimiento físico (11,63).



Figura 14. Manguito Neumático.

VI.9. Presión del manguito

Es fundamental que las/los médicas/os y las/los profesionales de la salud tengan en cuenta la gran variabilidad presente en los protocolos que existen del BFR, así como las diferencias en edad y estado de salud de las/los participantes. La presión de oclusión es uno de los aspectos que puede cambiar significativamente según el día, las condiciones del ejercicio y las características individuales de cada participante. Esta heterogeneidad subraya la importancia de ajustar los protocolos del BFR de forma personalizada para asegurar que se adapten a las necesidades específicas de cada persona y contexto, y lograr así una aplicación más segura (53).

A pesar de que existe evidencia sobre una buena tolerancia del entrenamiento con BFR en entornos clínicos, su implementación requiere considerar varios aspectos importantes. En la literatura actual, se observa una falta de recomendaciones individualizadas para la prescripción de este entrenamiento (56). La individualización de la presión aplicada en el entrenamiento con BFR es crucial; el uso de presiones más bajas y tolerables permite obtener adaptaciones músculoesqueléticas adecuadas mientras se minimizan los riesgos de dolor y eventos adversos. Aplicar una misma presión para toda la población no garantiza el mismo nivel de restricción en cada individuo, ya que factores como la estructura vascular y la resistencia de los tejidos varían entre pacientes. Esto puede llevar a que algunos individuos experimenten una oclusión arterial completa, lo cual aumenta el riesgo de efectos cardiovasculares adversos, mientras que en otros la oclusión podría ser insuficiente para generar el estímulo deseado del BFR (63). Se detallan a continuación las distintas formas para determinar la presión adecuada:

- Presión estándar: algunos profesionales utilizan una presión fija para todas las personas, como 180 mmHg. Sin embargo, este enfoque puede no ser el más seguro,

ya que no considera las diferencias individuales en la anatomía y fisiología de cada paciente (63).

- Presión relativa a la presión arterial sistólica: consiste en establecer la presión del manguito en relación con la presión arterial sistólica de la/del paciente; se utiliza un factor de 1.2 o 1.5 veces la presión sistólica. Esto ayuda a personalizar la presión de oclusión para cada individuo (63).
- Presión de oclusión total (en adelante, LOP por sus siglas en inglés): el método más personalizado y seguro es el cálculo de la LOP. Este método emplea tecnología como el uso de pletismografía y el ultrasonido Doppler para detectar el flujo sanguíneo en la extremidad; la presión se incrementa gradualmente hasta alcanzar el punto en el que el flujo se detiene completamente. A partir de este valor, se prescribe un porcentaje submáximo de la LOP, generalmente entre el 40% y el 80%, y se adapta así la presión del manguito al nivel individual necesario para cada paciente. La personalización mediante LOP permite una restricción segura y optimiza el estímulo sin exceder niveles de presión potencialmente riesgosos. Además, esta metodología ayuda a progresar el tratamiento de forma similar a como se ajustan las cargas en el entrenamiento de resistencia, y genera un proceso seguro en el uso de BFR en rehabilitación (63).

VI.10. Modo de uso

Como se ha mencionado anteriormente, la aplicación del BFR puede utilizarse con ejercicios aeróbicos, ejercicios de resistencia y de forma pasiva. Cada una de estas formas de uso responde a objetivos terapéuticos específicos. En este sentido, los protocolos de aplicación del BFR son planillas diseñadas con objetivos específicos en base a tratamientos exitosamente probados. Buscan disminuir el ensayo error y que las intervenciones sean las más efectivas posibles.

VI.10.a. Aplicación del modo pasivo del BFR

El modo pasivo del BFR es útil al inicio de la rehabilitación, especialmente si la/el paciente está en cama, cursa con un período de inmovilización o se encuentra en reposo y aún no puede realizar ejercicios de fortalecimiento. El objetivo principal es prevenir la atrofia muscular y limitar la pérdida de fuerza en esta etapa, además de reducir el dolor postoperatorio y la inflamación. La aplicación del uso pasivo del BFR puede acelerar el progreso en la rehabilitación (52)(55).

Protocolo:

1. Colocación del manguito: se ubica el manguito en la parte superior de la extremidad afectada, en el área proximal.
2. Presión de oclusión: presión del 70% -100% de la oclusión total. También se han aplicado presiones que oscilan entre los 50 mmHg y los 260 mmHg, aunque no se han determinado presiones específicas. En el BFR pasivo se ha documentado que las presiones más elevadas pueden ofrecer una mayor protección contra la atrofia muscular (52).
3. Tiempo de oclusión: durante 5 minutos.
4. Reperusión: se quita la presión del manguito durante 3 minutos.
5. Número de series: el ciclo de 5 minutos de oclusión y 3 de reperusión se repite entre tres y cuatro veces por sesión, lo que da como resultado un máximo de 20 minutos de oclusión total.
6. Frecuencia de aplicación: es recomendable aplicar este protocolo entre 1 y 2 veces al día durante el período de inmovilización.

En algunos casos, se puede añadir estimulación eléctrica neuromuscular para activar la contracción muscular, lo cual podría maximizar los beneficios del BFR en esta fase de la rehabilitación (55).

VI.10.b. Aplicación del BFR con ejercicio aeróbico

Este enfoque del BFR se realiza con ejercicios aeróbicos, como caminar o pedalear. Se ha estudiado en diferentes poblaciones como, por ejemplo, jóvenes, adultos, deportistas y pacientes que aún no pueden realizar ejercicios de fuerza con diferentes cargas o alta intensidad. Según la disponibilidad de movimiento de la rodilla y una evaluación adecuada, el entrenamiento puede iniciarse días después de la cirugía. El BFR aeróbico se centra en lograr adaptaciones cardiorrespiratorias y, en la medida de lo posible, busca el aumento de la fuerza e hipertrofia muscular, lo cual se traduce en una mejora en la capacidad funcional reflejada en actividades de la vida diaria, salud y bienestar (52) (55).

Protocolo:

1. Colocación del manguito: se ubica el manguito en la parte superior de la extremidad afectada, en la región proximal.
2. Presión de oclusión: presión de oclusión de la extremidad del 40% -80% de la LOP. La presión se ejerce de forma continua o por intervalos durante la ejecución del ejercicio aeróbico (52).
3. Duración del ejercicio: sesiones de 5 a 20 minutos.
4. Intensidad del ejercicio: 45% de la reserva de frecuencia cardíaca o 40% de VO2Max (52).

5. Frecuencia semanal: entrenamiento de 2 a 3 veces por semana. Se debe ajustar la frecuencia y duración de acuerdo con la capacidad cardiorrespiratoria y musculoesquelética de cada paciente.
6. Control de la intensidad: la intensidad debe estar por debajo del 50% de la reserva de frecuencia cardíaca de la/del paciente.
7. Monitoreo de la/del paciente: se debe ajustar la aplicación según el dolor, la incomodidad con el manguito y la tolerancia al ejercicio (55).

VI.10.c. Aplicación del BFR con ejercicio de carga baja o alta

En este modo de aplicación del BFR, el entrenamiento se lleva a cabo mediante ejercicios de resistencia con carga externa, ya sea baja o alta, y está dirigido a personas que pueden realizar ejercicios de fortalecimiento con peso a través de máquinas o ejercicios funcionales con peso corporal. Este tipo de entrenamiento se enfoca en lograr ganancias de fuerza e hipertrofia muscular (52) (55).

Protocolo:

1. El entrenamiento estándar con BFR y carga baja o alta se estructura en 4 series de ejercicios:
 - La primera serie se realiza a 30 repeticiones.
 - Las siguientes tres series se realizan a 15 repeticiones cada una.
2. Tiempo de descanso: entre cada serie se descansa de 30 a 60 segundos. Se debe mantener la presión de oclusión para maximizar el estrés metabólico.
3. Presión de oclusión: la presión en la extremidad debe ser entre el 40% y el 80% de la LOP.
4. Carga externa: la carga utilizada debe encontrarse entre el 20% y el 40% de la contracción isométrica voluntaria máxima de la/del paciente. Es recomendable evaluar esta medida cada dos semanas mediante un dinamómetro en una posición de 90° de flexión de rodilla.
5. Frecuencia: el entrenamiento debe realizarse de 2 a 3 veces por semana y, para asegurar un ritmo constante, se puede usar un metrónomo para controlar que tanto la fase concéntrica como la fase excéntrica del ejercicio se realicen en 2 segundos cada una.

En pacientes que tienen la capacidad de ejecutar un rango de movimiento completo de la extremidad afectada, la presión de oclusión puede determinarse a partir de 1RM del ejercicio. La mayoría de las personas encuentran beneficios cuando se ejercitan con cargas correspondientes al 20% - 40% de 1RM en combinación con BFR. Si las cargas utilizadas están en el extremo más bajo (más cerca del 20%), es recomendable utilizar presiones más altas del manguito para provocar crecimiento muscular.

VI.11. Adaptación y progresión

Si la persona presenta dificultad para cumplir el número de repeticiones del protocolo, es importante ajustar el tiempo de descanso, disminuir la carga, modificar la presión de oclusión o el tipo de ejercicio. El protocolo debe ser progresivo y se debe tener en cuenta la individualidad de cada paciente.

VII. Materiales y método

En la presente tesina, de tipo informe de investigación, se analizó la implementación de la técnica de restricción del flujo sanguíneo en el contexto de la rehabilitación postoperatoria temprana de la ATR por gonartrosis. Se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica en libros, revistas y artículos científicos que incluyen: ensayos clínicos, meta-análisis y revisiones sistemáticas, en las siguientes bases de datos: Biblioteca Virtual en Salud (BVS), SCielo, PubMed y Biblioteca Electrónica de Ciencia y Tecnología (BECYT) del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MINCYT).

Para la selección de artículos se utilizaron los siguientes criterios de inclusión: estudios que no tengan más de diez años de publicación (disponibles desde el 2016 al 2025 inclusive), en inglés o español, que abordaran la aplicación del BFR en pacientes adultos/as sometidos/as a ATR. Asimismo, se consideraron trabajos que tuvieran la gonartrosis como patología de base y justificaran la intervención quirúrgica. Los criterios de exclusión fueron: estudios con baja evidencia científica, pacientes que se hayan sido sometido a otro tipo de cirugía, artículos en los que el BFR se utilizó en el periodo pre-quirúrgico y limitación al acceso del texto completo que impida analizar la metodología y los resultados en detalle.

La búsqueda se realizó en el período comprendido entre junio de 2024 y febrero de 2025.

Con relación a la estrategia de búsqueda, se identificaron conceptos relacionados con la pregunta de investigación. Luego se enumeraron los sinónimos o términos libres. Una vez identificadas las palabras, se procedió a la búsqueda de las etiquetas, tanto del término DeCS como del término MeSH. La Tabla N°1 resume este proceso.

Finalmente, se realizó la combinación de los términos, como se indica en la Tabla N°2, en el sector de búsqueda avanzada que ofrece cada base de datos.

VII.1. Proceso de selección de los estudios

El proceso de selección se llevó a cabo en dos etapas: primero la revisión de títulos y resúmenes para descartar estudios irrelevantes, y luego la lectura completa de los artículos seleccionados para confirmar su pertinencia con los objetivos de la investigación. Finalmente, se incluyeron un total de 4 artículos que cumplieran con los criterios establecidos, los cuales fueron analizados y organizados según su relevancia en relación con los objetivos planteados. Ante discrepancias en los criterios de selección, estas se resolvieron por consenso con la intervención de la directora a cargo de la tesis.

Tabla N°1

#	Termino libre	DeCS	MeSH
#1	Blood Flow Restriction	Terapia de Restricción del Flujo Sanguíneo	BFR Therapy
#2	Artroplastia total de rodilla	Artroplastia de Reemplazo de Rodilla	Arthroplasty, Knee Replacement
#3	Fuerza del cuádriceps	Dinamómetro de Fuerza Muscular	Dynamometer, Muscle Strength
#4	Adultos	Adulto	Adult
#5	Ejercicio	Terapia por ejercicio	Exercise Therapy
#6	Postoperatorio	Periodo Postoperatorio	Period, Postoperative

VII.2. Estrategia de búsqueda

Tabla N°2

	TÉRMINO	CONECTOR	TÉRMINO
#7	#1	AND	#2
#8	#7	AND	#3
#9	#8	AND	#5
#10	# 8	AND	#6

VII.3. Propuesta de manejo de variables de resultado

En el siguiente diagrama de flujo se mostraron las variables de resultado de cada estudio incluido. Se detalló información como: a) Autor/es; b) Año; c) Cantidad de participantes. El proceso de identificación, de cribado y de inclusión de artículos se presentó a través de un diagrama de flujo, como se exhibe en el Diagrama N°1. Se expusieron desde el número de registros identificados en la búsqueda hasta el número de estudios incluidos en la revisión. En los casos en que se excluyeron estudios, se explicó el motivo de su exclusión. Dicho diagrama fue utilizado para cada una de las bases de datos consideradas en este trabajo.

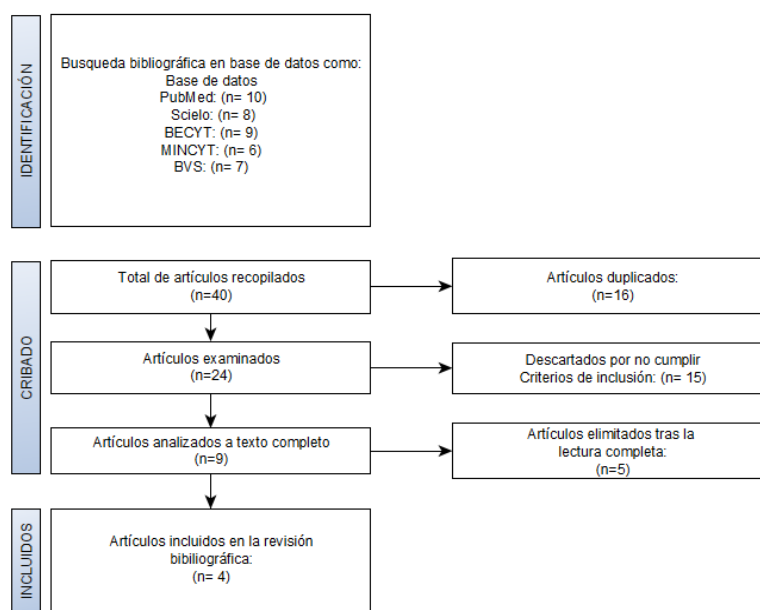


Diagrama de flujo N° 1- Extraído de guía PRISMA (ver.2020)

La estrategia de búsqueda inicial arrojó un total de 40 artículos en las diferentes bases de datos seleccionadas. Posteriormente, se eliminaron 16 artículos duplicados y quedaron 24 artículos para el proceso de evaluación. Tras la lectura de títulos y resúmenes, se descartaron 15 estudios por no cumplir con los criterios de inclusión. Se seleccionaron 9 artículos para la lectura completa. De estos, se excluyeron 5 estudios por no ajustarse a los criterios definidos; tres de ellos debido a la aplicación del BFR en la etapa pre-quirúrgica y dos por tener acceso limitado al texto completo. Finalmente, 4 artículos cumplieron con los criterios de inclusión y fueron analizados en la presente investigación.

VIII. Contexto de análisis

A continuación, se expondrán los artículos pertinentes a este trabajo de investigación que cumplieron con los criterios de inclusión mencionados anteriormente.

“Entrenamiento de oclusión: estudio piloto para la rehabilitación postoperatoria de miembros inferiores después de una artroplastia total de rodilla primaria”. (*“Occlusion Training: Pilot Study for Postoperative Lower Extremity Rehabilitation Following Primary Total Knee Arthroplasty”*).

Autores: Christopher L. Gaunder; Michael P. Hawkinson; David J. Tennes; Creighton C. Tubb. **Año de publicación: 2017.**

El propósito de este estudio piloto fue evaluar la eficacia y seguridad del entrenamiento con BFR como complemento a la rehabilitación postoperatoria en pacientes que se sometieron a una ATR por gonartrosis. Se planteó la hipótesis de que el BFR podría mejorar la fuerza muscular y la recuperación funcional.

En el marco de este estudio piloto se incluyeron tres pacientes activos/os con diagnóstico de artrosis de rodilla primaria, quienes se sometieron a una ATR y utilizaron el entrenamiento BFR como parte de su rehabilitación postoperatoria. Se evaluó la fuerza muscular mediante dinamometría isocinética (Biodex System 3, Biodex Medical System, Inc. Shirley, NY), tanto al inicio como al finalizar el programa de rehabilitación. Para cada paciente, se calculó el par máximo como una medida de fuerza máxima alcanzada en todo el rango del movimiento. El trabajo total, una medida de la resistencia muscular, se calculó como la cantidad de trabajo realizado en todo el rango de movimiento. Estas mediciones se tomaron a 90°/segundos tanto en extensión como en flexión.

Resultados:

Caso 1: después de ocho semanas de entrenamiento con BFR, se observó un aumento del 359,3% en el par máximo durante la extensión, y un aumento del 17.9% en el par máximo de flexión a 90°/segundos, como se muestra en la **Figura 15.**

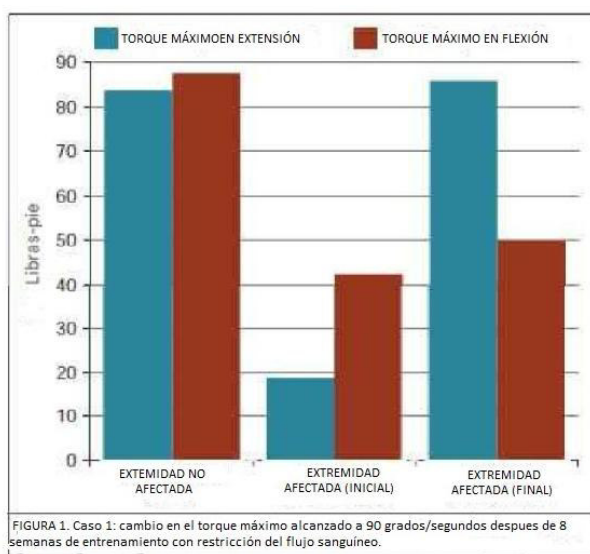


Figura 15. Caso 1: cambios en el par máximo alcanzado.

Caso 2: después de un programa de BFR de ocho semanas, el paciente registró un aumento del 57% en el par máximo en extensión y del 2.8% en flexión a 90°/segundos, como se muestra en la **Figura 16**.

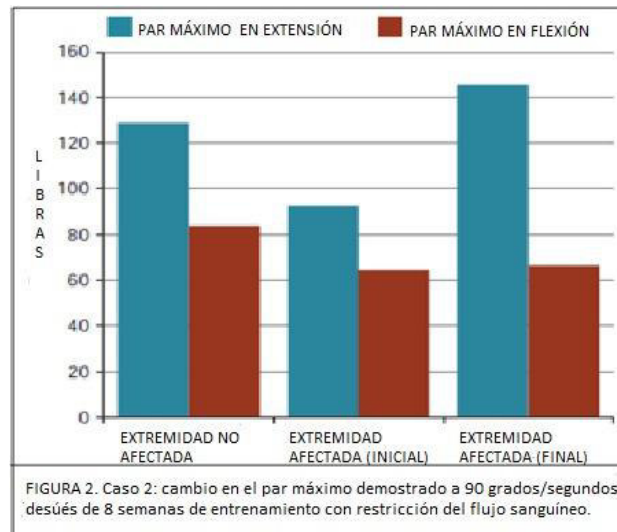


Figura 16. Caso 2: cambios en el par máximo alcanzado.

Caso 3: después de un programa de BFR de ocho semanas, el paciente experimentó un aumento en el torque máximo de 84.1% en extensión y 126,9% en flexión a 90°/segundos, como se muestra en la **Figura 17**.

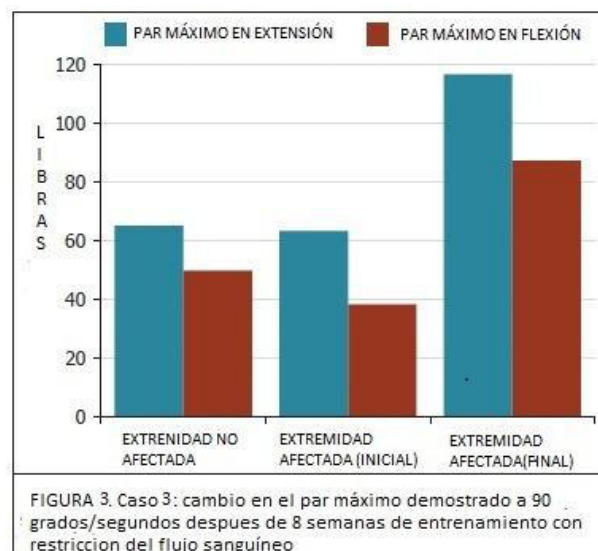


Figura 17. Caso 3: cambios en el par máximo alcanzado.

El autor concluye que, luego de la participación en un programa de 8 semanas de entrenamiento con BFR, los tres pacientes presentaron mejoras objetivas en la fuerza del cuádriceps, y en los tres casos superaron las mediciones del torque máximo de su extremidad no afectada medidas antes del inicio del programa de rehabilitación. El programa con BFR no se inició antes de las seis semanas posteriores a la operación, para asegurar el correcto proceso de cicatrización de la herida. Una limitación importante de este estudio es la pequeña muestra de pacientes que se utilizó y la falta de

una población de comparación. El entrenamiento con BFR puede brindar a los pacientes la oportunidad de recuperar su fuerza más rápidamente y reducir el período total de rehabilitación.

“Ejercicio en casa con restricción del flujo sanguíneo para mejorar el músculo cuádriceps y la función física después de una artroplastía total de rodilla: informe de un caso” (*Home-based exercise with Blood Flow Restriction to improve quadriceps muscle and physical function after total knee arthroplasty: a case report.*)

Autores: Matthew, A Kilgas. Alicia E, Den Herder. Lydia L M Lytle. Cameron T, Williams. Steven, Elmer. **Año de publicación: 2019.**

El objetivo de este reporte de caso fue examinar la eficacia del entrenamiento con BFR como un método de rehabilitación para las personas que se han sometido a una ATR. El artículo plantea la hipótesis de que el BFR puede mejorar la fuerza muscular y la recuperación funcional.

Se analizó la aplicación de un programa domiciliario de ejercicio con BFR en un paciente masculino de 59 años, seis meses después de someterse a una ATR. El paciente había alcanzado una meseta en su recuperación funcional ya que el aumento de la intensidad del ejercicio a través del entrenamiento de la fuerza no era tolerable debido a las molestias en las rodillas. Con el objetivo de reanudar su programa de actividad física y recuperar la funcionalidad, el paciente se sometió a un programa de entrenamiento con BFR. Durante dicho programa se evaluó el tamaño y la fuerza muscular de los cuádriceps, y la función física al inicio (seis meses después de la ATR), después del entrenamiento (ocho meses después de la ATR) y durante el seguimiento a largo plazo (14 meses después de la ATR). La masa magra de las piernas se evaluó mediante absorciometría de rayos X de energía dual (Discovey Wi, HoloGic INC, Marlborough, MA, EE.UU.). El grosor del vasto lateral se midió por separado en la pierna sometida a ATR y en el lado sano mediante ecografía en modo B (Logik de BT12, GE Healthcare, Chicago, IL, EE.UU.).

La fuerza extensora de la rodilla se midió durante una prueba de fuerza y se utilizó un dinamómetro de mano (Microfet Hoggan Health Industries Inc., Murray, UT, EE.UU.). La función física se evaluó mediante pruebas como subir escaleras, caminar rápido 40 metros y caminar seis minutos.

El programa de ejercicios con BFR se llevó a cabo en el hogar a lo largo de 8 semanas. El paciente completó una primera fase de cuatro semanas, realizó una pausa de una semana y luego retomó el entrenamiento durante otras cuatro semanas, lo cual sumó un total de 40 sesiones. La frecuencia fue de cinco sesiones semanales, con una duración de 25 minutos por sesión. El equipamiento requerido consistió en cintas elásticas Thera-band de diferentes resistencias y un manguito específico para la aplicación del BFR. La presión de oclusión se determinó al inicio del programa. La LOP fue de 216 mmHg. La presión utilizada en los ejercicios fue de 108 mmHg, y representó el 50% de la LOP.

El descanso entre las series de cada ejercicio fue de 1 minuto, intervalo en el cual el manguito permaneció inflado. El manguito solo se desinfló durante 2 minutos de recuperación al momento de cambiar de ejercicio. El flujo sanguíneo se ocluyó durante un total de 18 minutos.

Ejercicios y progresión:

Calentamiento: 5 minutos de caminata ligera.

Ejercicio 1: extensión de rodilla a una pierna con BFR. (Figura 18.)

Extensión de Rodilla de Una Sola Pierna



- Inflar el manguito al 50% del LOP¹
- 3 series de 30 repeticiones (90-0°)
- 1 minuto de descanso entre series
- Desinfe el manguito después de la serie final

Figura 18. Ejercicio 1: extensión de rodilla a una pierna con BFR.

Ejercicio 2: media sentadilla con peso corporal. (Figura 19)

MEDIA SENTADILLA CON PESO CORPORAL




- Inflar el manguito al 50% del LOP
- 3 series de 30 repeticiones (0-45°)
- 1 minuto de descanso entre series
- Desinfe el manguito después de la serie final

Manguito colocado alrededor de la pierna TKA solamente

Figura 19. Ejercicio 2: Media sentadilla con peso corporal

Ejercicio 3: caminata con BFR. (Figura 20.)

Caminata



- Inflar el manguito al 50% de la LOP
- 3 series de intervalos de 2 minutos
- 1 minuto de descanso entre series
- Desinflar el manguito después de la última serie

El manguito se coloca solo en la pierna con ATR

Figura 20. Ejercicio 3: caminata con BFR

Luego del programa de entrenamiento, la masa magra de la pierna y el grosor del vasto lateral de la pierna con ATR aumentaron un 4% y un 14%, respectivamente. La fuerza extensora de la rodilla aumentó un 55% y el paciente informó menos dolor con las contracciones máximas (**Figura 21, 22 y 23**). En comparación con el valor inicial, la simetría de la fuerza posterior al entrenamiento aumentó del 64% al 98% de la pierna no afectada (es importante considerar que su rodilla derecha también cursaba con OA, por lo que las comparaciones de grosor y fuerza muscular deben interpretarse cuidadosamente). En cuanto a la función física, el paciente completó 12 repeticiones más durante la prueba de levantarse de la silla, aumentó la velocidad de la marcha de 40 mts en 0,9 m/s y mejoró la prueba de caminata de 6 minutos en 78 mts (**Figura 24**). El dolor articular estuvo presente durante todo el programa, pero no limitó la realización de los ejercicios.

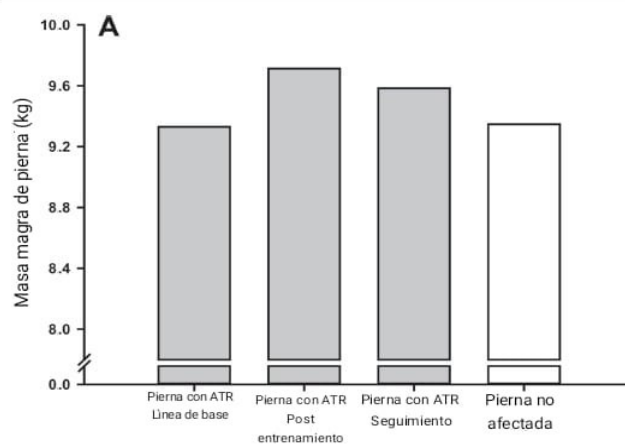


Figura 21. Masa magra de los miembros inferiores.

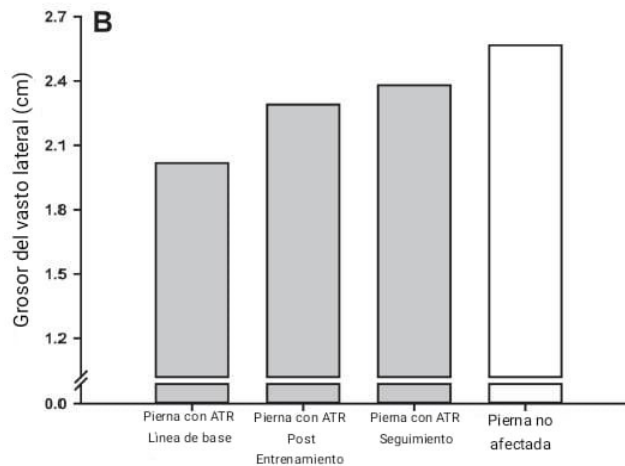


Figura 22. Grosor del Vasto Lateral.

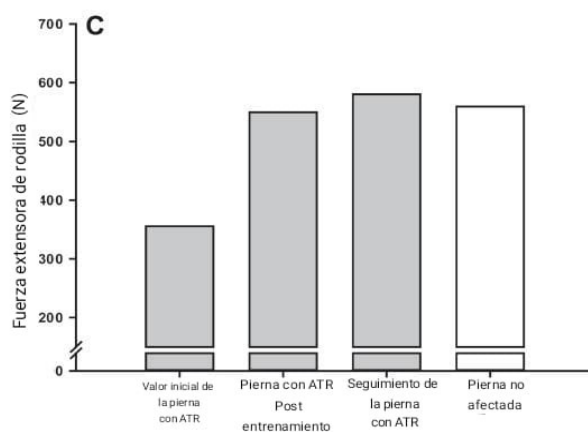


Figura 23. Fuerza extensora de la rodilla.

PRUEBA FUNCIONAL	Valor inicial 6 meses después de la ATR	Post entrenamiento. 8 meses después de la ATR	Seguimiento 14 meses después de la ATR	Cambio	MCII
Ponerse de pies desde una silla en 30s (reps)	15	27	31	12 ^c	2-3
Prueba de subir escaleras	7.2	5.9	5.2	-1.3	-5.5
Caminata rápida de 40m (m/s)	2.1	3.0	3.0	0.9 ^c	0.2-0.3
Caminata de 6 min (m)	696	774	800	78 ^c	60

Figura 24. Cambios en la función física.

Los autores concluyen que un programa con BFR de ocho semanas aumentó la masa magra de las piernas y la fuerza de los cuádriceps, esto se traduce en un aumento de la función física. El estudio sugiere que se necesitan más investigaciones para explorar el uso del BFR en diferentes poblaciones y condiciones clínicas.

“Utilización de la terapia de restricción del flujo sanguíneo en una extriataleta después de una artroplastia total de rodilla: informe de un caso” (Utilization of Blood Flow Restriction Therapy with a Former Triathlete After Total Knee Arthroplasty: A Case Report).

Autores: Christopher Keating. Stephanie Muth. Cameron Hui. Lisa T Hoglund.

El siguiente estudio de reporte de caso, se llevó a cabo con la participación de una paciente mujer de 49 años, extriataleta, la cual experimentó un deterioro físico significativo a lo largo de 10 años debido a la OA de rodilla. A pesar de su historial activo y de haber intentado diversas intervenciones conservadoras, como fisioterapia e inyecciones de ácido hialurónico, no logró obtener resultados satisfactorios.

Luego de un período prolongado de sufrimiento y tras haber pasado por varias lesiones, la paciente finalmente se sometió a una ATR para abordar los cambios anatómicos y funcionales. Después de 16 semanas de rehabilitación convencional, no tuvo mejoras significativas. Fue en este contexto que se le proporcionó una unidad de BFR para que continuara su rehabilitación en el hogar debido a la imposibilidad de asistir a las sesiones de kinesiología. Previo a que la paciente comenzara con la terapia de BFR, se realizaron varias evaluaciones para medir su estado físico y funcional tras la ATR. Estas evaluaciones incluyeron: (**Figura 25**)

1. Escala de dolor: se utilizó la Escala de Clasificación del Dolor Numérica (en adelante, NPRS) y el Cuestionario de Dolor de McGill de Forma Breve-2 (en adelante, SF-MPQ-2) para evaluar la intensidad y calidad del dolor que experimentaba la paciente. Estas herramientas permitieron cuantificar su dolor en diferentes dominios, lo que es crucial para entender su experiencia y progreso.
2. Rango de movimiento: se midió el rango de movimiento de la rodilla con goniometría estándar. Esto incluyó la evaluación de la flexión y extensión de la rodilla, lo que ayudó a identificar déficits específicos en su movilidad.
3. Fuerza muscular: se realizaron pruebas de fuerza muscular de los músculos extensores y flexores de rodilla y se midieron con un dinamómetro instrumentado (Biodex y System 4 Pro) para realizar pruebas isocinéticas e isométricas. Se observó un déficit significativo en la fuerza de los cuádriceps (40% de déficit) y de los isquiotibiales (29.4% de déficit) en comparación con la pierna no afectada.
4. Pruebas de rendimiento físico: se llevaron a cabo varias pruebas de rendimiento físico para evaluar la funcionalidad de la paciente. Estas incluyeron:
 - Prueba de caminata rápida en 30 segundos (en adelante, 30SFW por sus siglas en inglés).
 - Prueba de la escalera (Stair Climb Test): para evaluar la velocidad y la eficacia al subir y bajar escaleras.
 - Prueba de sentadilla durante 30 segundos: consiste en levantarse y sentarse de una silla durante ese período.
 - Prueba de levantarse y andar (Timed Up and Go): para medir el tiempo que le tomaba levantarse de una silla, caminar una distancia corta y regresar.

Evaluación de sensibilidad: se realizaron pruebas de umbral de dolor a la presión (en adelante, PPT por sus siglas en ingles) y discriminación de dos puntos (en adelante, TPD por sus siglas en ingles) para evaluar la percepción sensorial y la sensibilidad en la rodilla afectada. Estas pruebas ayudaron a identificar cualquier hiperalgesia o alteración en la percepción del dolor.

MEDIDA DE RESULTADO	
Escala numérica de clasificación del dolor (0-10, 10= pero dolor)	5
Prueba de levantarse de una silla durante 30s (reps)	5
Prueba de subir escaleras (10 pasos)	30.6 (paso al patrón)
Levantarse y avanzar. Cronometrado (TUG)	23.67 segundos
Rango de movimiento de flexión de rodilla (antes de la terapia manual)	60 grados
Rango de movimiento de extensión de rodilla	10 grados desde neutral
MMT del cuádriceps	3- /5
MMT de los isquiotibiales	3- /5

Figura 25. Datos de la evaluación.

Estas evaluaciones ofrecen una base sólida para entender el estado funcional de la paciente antes de iniciar con la aplicación de BFR, lo que permitió a los terapeutas establecer un plan de tratamiento personalizado y monitorear el progreso a lo largo de la rehabilitación. La aplicación de BFR en la paciente se realizó a partir de un protocolo específico que incluía el uso de un manguito de BFR y un conjunto de ejercicios.

La implementación de la terapia con BFR resultó en mejoras significativas en la fuerza muscular, el rendimiento físico, la percepción del dolor y la función general de la paciente tras la ATR.

La conclusión del artículo destaca que la terapia con BFR fue bien tolerada y se consideró un complemento seguro y efectivo para la rehabilitación tras la ATR. Los resultados mostraron mejoras en las medidas de dolor, función, fuerza y potencia durante el período de tratamiento.

El artículo también enfatiza la importancia de las evaluaciones de sensibilidad cuantitativa para identificar a las/los pacientes que podrían beneficiarse del tratamiento con BFR. En general, se concluye que el BFR puede ser una estrategia valiosa en la rehabilitación postoperatoria, y ayudaría a abordar las limitaciones de fuerza y dolor en las/los pacientes que han pasado por una ATR.

“Restricción personalizada del flujo sanguíneo: un estudio piloto para la rehabilitación de la artroplastia total de rodilla”. (Personalized Blood Flow Restriction: A pilot Study for Total Knee Arthroplasty Rehabilitation)

Autores: Stephanie R. Shelley, Todd Ward, Blake C. Clifton. Christina A. Buchanan. **Año de publicación: 2018.**

Este estudio piloto plantea la hipótesis de que las/los pacientes post-ATR que usan BFR tendrían una reducción significativa en la atrofia muscular, en comparación con un grupo control con atención habitual.

En este estudio se incluyeron 6 participantes, luego de 4 semanas de la ATR, período considerable para lograr una correcta cicatrización de la herida.

Tres de los participantes dieron su consentimiento para ser parte del grupo experimental (en adelante, grupo R), los cuales recibieron capacitación en BFR. Los otros tres participantes optaron por no ser parte del tratamiento con BFR y fueron incluidos en el grupo control (en adelante, grupo CON). Ambos grupos recibieron ejercicios de kinesiología de acuerdo al protocolo planteado por el cirujano ortopédico. Antes de iniciar el tratamiento, se realizaron mediciones basales para ambos grupos que incluyeron la evaluación de funcionalidad de la extremidad inferior mediante la escala Lower Extremity Functional Scale (en adelante, LEFS por sus siglas en inglés), y la escala KOOS. También la medición del grosor del muslo y la circunferencia de la articulación (**Figura 26**). Estas mediciones se tomaron antes de cada sesión con BFR en el caso del grupo experimental, y en lo que respecta al grupo control, se realizaron luego de las 12 semanas de la operación.

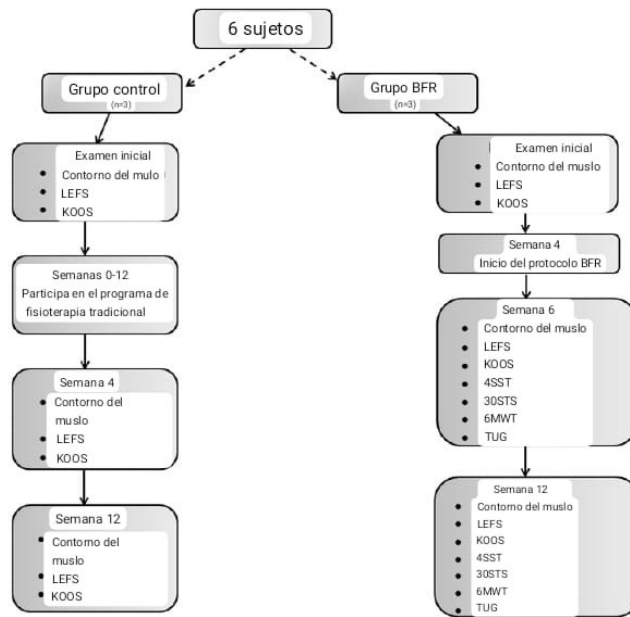


Figura 26. Diagrama de flujo. BFR, LEFS, KOOS, 4SST, 30STS, 6MWT y TUG. El grupo R comenzó 4 semanas después de la operación.

El grupo experimental incluyó a un hombre y dos mujeres. Debían participar en 18 sesiones de kinesiología con BFR durante un período de 9 semanas. En la semana seis y doce postoperatoria, este grupo realizó varias pruebas para analizar su rendimiento; prueba de caminata de seis minutos (en adelante, 6MWT por sus siglas en inglés), prueba de Timed Up and Go (en adelante, TUG por sus siglas en inglés), prueba de cuatro pasos (en adelante, 4SST por sus siglas en inglés), prueba de sentarse y levantarse en 30 segundos (en adelante, CTS por sus siglas en inglés).

El protocolo utilizado para el grupo R (**Figura 27**), consistió en una frecuencia de actividad de 2 veces por semana durante 9 semanas, se utilizó sistema de torniquete Delfi Personalized Tourniquet System (en adelante, DPTS por sus siglas en inglés) junto con un manguito de compresión (Easi-Fit Tourniquet Cuff). La determinación de la LOP se calculó con un Doppler en cada sesión y la misma fue en aumento a medida que los participantes toleraban el ejercicio. En todos los casos el tiempo de oclusión fue menor a 24 minutos. En cada ejercicio se debía respetar la estructura del protocolo teniendo en cuenta, las series y las repeticiones programadas, los descansos establecidos y la duración total de la actividad.

SEMANAS POSTOPERATORIAS									
EJERCICIOS	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Estocada retro									
Sentadillas									
Step ups									
RDL									
TKE de pie									
Puente									
Elevación de talón									
SAQ									
Flexión de cadera									
Abducción de cadera									
Serie de cuádriceps									

Figura 27. Protocolo de ejercicios para el grupo R. Ejercicios con BFR. Los cuadrados blancos indican los ejercicios que se realizarán durante esa semana. El peso se incrementó progresivamente según tolerancia de las/los pacientes.

Por otro lado, el grupo CON compuesto por tres participantes de sexo femenino recibieron atención con el uso de modalidades tradicionales de kinesiología y siguieron protocolos de ejercicios no estandarizados.

Los resultados del estudio sobre el uso del BFR en las/los pacientes post-ATR mostraron hallazgos prometedores en comparación con el grupo CON. Como por ejemplo, cambios en la circunferencia de los cuádriceps, se observó un aumento significativo en el grupo que recibió BFR en comparación con el grupo CON (**Figura 28**). También el artículo menciona que el uso de BFR combinado con entrenamiento ayudó a reducir la atrofia y mejoró la fuerza muscular.

Caso	4 semanas después de la operación	12 semanas después de la operación	Valoración porcentual	4 semanas Después de la operación	12 semanas después de la operación	Valoración porcentual	
BFR	1	39.5	41.5	5.1	42.0	45.0	7.1
	2	36.5	35.8	-0.1	35.8	38.0	2.1
	3	64.0	68.5	7.0	69.0	76.0	10.1
	4	48.4	47.4	-2.1	53.4	51.4	-3.7
CON	5	64.6	58.5	-9.4	70.0	66.0	-5.7
	6	40.9	40.6	-0.7	45.7	43.7	-4.6

Figura 28. Valores de circunferencia del cuádriceps pre y postoperatorio. Valores en centímetros y cambios porcentual de cada paciente.

El estudio piloto concluye que el protocolo de nueve semanas de entrenamiento con BFR combinado con entrenamiento de resistencia de baja carga es efectivo y es seguro para aumentar la circunferencia de los cuádriceps y reducir la atrofia muscular en pacientes post-ATR, además de mejorar la funcionalidad en actividades de la vida diaria, lo que sugiere su inclusión en programas de rehabilitación. Sin embargo, se identificaron limitaciones como la falta de mediciones en el

grupo CON, la ausencia de datos preoperatorios y el pequeño tamaño de la muestra, lo que indica la necesidad de más investigaciones para validar estos hallazgos y evaluar los efectos a largo plazo.

IX. Resultados

Los resultados de este trabajo de investigación se obtuvieron a partir del análisis de 4 artículos científicos sobre el uso del BFR en pacientes que se sometieron a una ATR por gonartrosis. Las variables evaluadas incluyen la hipertrofia muscular de los cuádriceps, la fuerza muscular de los cuádriceps y la funcionalidad. De dichos artículos, dos corresponden a reportes de caso y dos a estudios piloto; uno de ellos es un estudio cuasi-experimental entre grupos. Este comparó la eficacia del BFR con programas de entrenamiento convencional, mientras que los informes de caso documentaron la respuesta individual de las/los pacientes al tratamiento con BFR.

Los participantes incluidos en los estudios presentan características heterogéneas en cuanto a edad, estilo de vida y sexo; sin embargo, todos compartían como condición en común haber sido sometidos a una ATR. Se implementaron protocolos de ejercicios con BFR combinados en algunos casos con ejercicios aeróbicos o con ejercicios de resistencia de baja carga. Las variables anteriormente mencionadas se midieron con diferentes herramientas validadas y estandarizadas relacionadas con la rehabilitación. A continuación, se presentan los hallazgos de cada artículo, junto con un análisis crítico de sus aportes y limitaciones.

Artículo 1 – Estudio piloto: **“Entrenamiento de oclusión: estudio piloto para la rehabilitación postoperatoria de miembros inferiores después de una artroplastia total de rodilla primaria”**. (*“Occlusion Training: Pilot Study for Postoperative Lower Extremity Rehabilitation Following Primary Total Knee Arthroplasty”*).

Los tres pacientes mostraron mejoras objetivas en la fuerza del cuádriceps y superaron los valores de torque máximo de su extremidad no afectada al inicio del programa. La fuerza se midió mediante dinamometría isocinética y se registraron incrementos variables tanto en extensión como en flexión. Entre sus limitaciones se destacan la pequeña muestra, la ausencia de grupo control y la falta de evaluación de funcionalidad o dolor mediante escalas estandarizadas, lo que limita la generalización de los resultados y la interpretación del impacto clínico del BFR en la recuperación integral.

Artículo 2 – Reporte de caso: **“Ejercicio en casa con restricción del flujo sanguíneo para mejorar el músculo cuádriceps y la función física después de una artroplastia total de rodilla: informe de un caso”** (*Home-based exercise with Blood Flow Restriction to improve quadriceps muscle and physical function after total knee arthroplasty: a case report.*)

Los resultados de este estudio muestran incrementos en la masa magra del muslo (4%), grosor del vasto lateral (14%) y fuerza extensora de la rodilla (55%), así como mejoras en la simetría de fuerza y pruebas funcionales, con reducción subjetiva del dolor. Estos hallazgos aportan evidencia de que

el BFR domiciliario puede favorecer la recuperación de fuerza y funcionalidad incluso cuando la progresión convencional de ejercicios está limitada por dolor. Sin embargo, el estudio presenta limitaciones importantes que reducen la solidez de sus conclusiones. La muestra se limita a un único caso, lo que impide generalizar los resultados. Por otra parte, la rodilla contralateral también cursaba con artrosis, lo que dificulta la interpretación de la simetría de fuerza y la hipertrofia observada. Además, no se incluyó un grupo control ni comparaciones con otros protocolos de rehabilitación, y las mediciones de dolor y tolerancia se realizaron de manera subjetiva, sin escalas estandarizadas. Tampoco se realizó seguimiento a largo plazo, ni se evaluaron aspectos como la seguridad o la adherencia al BFR.

Artículo 3: **“Utilización de la terapia de restricción del flujo sanguíneo en una extriataleta después de una artroplastia total de rodilla: informe de un caso”** (*Utilization of Blood Flow Restriction Therapy with a Former Triathlete After Total Knee Arthroplasty: A Case Report*).

Los resultados mostraron mejoras en fuerza muscular de cuádriceps e isquiotibiales, rendimiento físico en pruebas funcionales, percepción del dolor y función general, lo cual indica que la técnica fue bien tolerada y segura. Este estudio aporta evidencia preliminar sobre la utilidad del BFR en pacientes con historial de actividad física y limitaciones importantes de fuerza y dolor. No obstante, el estudio presenta limitaciones, ya que se trata de un único caso, sin grupo control ni seguimiento a largo plazo, además de carecer de un análisis comparativo con protocolos convencionales de rehabilitación. Aunque se incluyen evaluaciones sensoriales y de dolor cuantitativas, no se aborda la generalización de estos resultados a poblaciones con características diferentes, lo que restringe la extrapolación de la eficacia del BFR y resalta la necesidad de estudios con mayor muestra y diseños controlados.

Artículo 4 : **“Restricción personalizada del flujo sanguíneo: un estudio piloto para la rehabilitación de la artroplastia total de rodilla”**. (Personalized Blood Flow Restriction: A pilot Study for Total Knee Arthroplasty Rehabilitation)

Los resultados mostraron que el grupo que se sometió al entrenamiento con BFR presentó aumentos significativos en la circunferencia del cuádriceps, reducción de atrofia y mejoras en fuerza muscular y funcionalidad, lo que sugiere que el BFR combinado con ejercicios de baja carga es seguro y potencialmente efectivo para la rehabilitación post-ATR. Por otra parte, el estudio presenta limitaciones importantes debido a que la muestra fue muy pequeña, lo cual limita la generalización de los hallazgos; el grupo control careció de mediciones sistemáticas previas y posteriores a la intervención lo que dificultó comparaciones confiables. Además, no se dispuso de datos preoperatorios para establecer una línea base clara, y no se evaluó el seguimiento a largo plazo más allá del programa de rehabilitación.

Síntesis comparativa:

Fuerza muscular: En lo que respecta a la evaluación de la fuerza muscular, tres de los artículos utilizaron dinamometría como instrumento principal para medir la fuerza máxima de los cuádriceps, y se proporcionaron datos objetivos y cuantificables de la capacidad de generar fuerza en la extremidad operada. Tres de los cuatro artículos reportaron mejoras en la ganancia de fuerza de los cuádriceps. En un caso, por ejemplo, se observó un incremento de la fuerza máxima de la extremidad operada, que aumentó del 41% al 82% en comparación con la extremidad no operada. Otro estudio indicó un aumento del 55% en la fuerza extensora, esto arrojó como resultado valores cercanos al 98% de la extremidad contralateral. Por otra parte, un estudio piloto no proporcionó datos cuantitativos exactos sobre esta variable. La limitación común es la ausencia de seguimiento prolongado, lo que dificulta conocer la sostenibilidad de las mejoras observadas.

Hipertrofia muscular: dos de los artículos incorporaron medición y resultados específicos relacionados con la circunferencia de los cuádriceps. En un estudio se observó un aumento del 4% de la masa magra de la pierna afectada y un incremento del 14 % en el grosor del vasto lateral. En otro estudio se registró un aumento significativo en la circunferencia de los cuádriceps en el grupo que recibió el entrenamiento con BFR en comparación con el grupo control. Específicamente, el BFR mostró una probabilidad del 87,5 % de ser efectiva para mejorar la circunferencia del cuádriceps a 10 cm por encima de la línea articular, y del 92,8 % a 15 cm de la línea articular. Los incrementos en la circunferencia oscilaron entre el 5,1 % y el 10,1 %. Sin embargo, los métodos empleados para medir la hipertrofia difirieron entre estudios, lo que impide una comparación directa. Además, no se informan análisis de otras variables morfológicas relevantes como área de sección transversal o imágenes de ultrasonido, lo que reduce la precisión de los resultados.

Funcionalidad: Tres de los cuatro artículos llevaron a cabo varias pruebas de rendimiento físico para evaluar la funcionalidad de los pacientes. Se registraron mejoras en diferentes pruebas funcionales, como en el test de caminata rápida de 30 segundos, prueba de subir y bajar escaleras, prueba de cuatro pasos, prueba de sentadilla durante 30 segundos y prueba de levantarse y andar. La fuerza de la evidencia se encuentra limitada debido a que no todos los estudios proporcionaron cifras exactas, carecieron de cuestionarios validados y no emplearon comparaciones previas y posteriores a la intervención. Las mejoras podrían atribuirse al incremento en la fuerza y el control neuromuscular facilitado por el BFR.

Tolerabilidad y seguridad: si bien en los cuatro artículos no se utilizaron escalas objetivas para medir la tolerabilidad y la seguridad, todos concluyeron que el BFR fue bien tolerado por los pacientes. En ninguno de ellos se reportaron eventos adversos significativos y cada uno de los individuos logró adaptarse progresivamente a los protocolos de BFR y cumplir así con el programa completo de rehabilitación. Por ejemplo, en uno de los estudios piloto se registró que los participantes que utilizaron BFR se adaptaron bien al protocolo; en la primera semana comenzaron

con un 70% de la LOP y a partir de la segunda semana aumentaron gradualmente la presión hasta el 80% de la LOP. Cabe destacar que ninguno de los artículos aporta datos fisiológicos que respalden la seguridad a nivel sistémico.

X. Rol de la kinesiología

La kinesiología desempeña un papel central en la rehabilitación post-operatoria de la ATR; constituye un componente esencial para la recuperación funcional y la mejora de la calidad de vida del paciente. Su intervención se centra en la recuperación del rango articular, la fuerza e hipertrofia muscular y la prevención de complicaciones asociadas a la cirugía.

En el marco de la rehabilitación postoperatoria, el/la kinesiólogo/a planifica y adapta programas de ejercicios específicos en los cuales considera factores individuales como la edad, estado funcional previo, comorbilidades y tolerancia al esfuerzo. La implementación de estrategias terapéuticas innovadoras, como el entrenamiento con BFR, permite al paciente trabajar con cargas más bajas para reducir el riesgo de sobrecarga articular mientras se promueve la hipertrofia y la fuerza muscular. Esto refleja la habilidad de los/las kinesiólogos/as para combinar nuevos conocimientos y herramientas innovadoras en beneficio de la recuperación y cuidado integral de la/del paciente. Además, la kinesiología tiene un rol clave en la evaluación continua del progreso de la/del paciente. Mediante la monitorización de parámetros clínicos, funcionales y de dolor, el/la profesional ajusta la intensidad, la duración y el tipo de ejercicio para lograr que la intervención sea segura y eficaz. Por otra parte, instruye al paciente sobre la correcta ejecución de los ejercicios, la importancia de la adherencia al tratamiento y la modificación de hábitos que puedan comprometer la recuperación.

La/el kinesióloga/o actúa como mediador entre la/el paciente y el equipo interdisciplinario, comunica avances y dificultades, y contribuye a una planificación integral que contempla aspectos médicos, quirúrgicos y funcionales. Su intervención impacta directamente en la autonomía, lo que resulta favorable para la reincorporación a actividades de la vida diaria y, en muchos casos, permite alcanzar mejores resultados en menor tiempo.

En síntesis, la kinesiología no se limita a la ejecución de ejercicios; su rol abarca la planificación individualizada, la supervisión técnica, la adaptación de estrategias innovadoras como el BFR, la educación de la/del paciente y la coordinación con el equipo interdisciplinario. Esto la convierte en un pilar fundamental dentro de la intervención terapéutica, lo que refleja su relevancia tanto en la recuperación funcional como en la calidad de vida de las personas post-ATR.

XI. Conclusión

La OA de rodilla es una de las principales causas de discapacidad en adultos mayores; representa un problema de salud pública debido al incremento de la esperanza de vida de la población. Su progresión hacia estadios severos genera dolor y limitación funcional. En un alto porcentaje de los casos se requiere de intervenciones quirúrgicas como la ATR para hacerle frente a los síntomas. Sin embargo, la ATR trae consigo desafíos significativos como la debilidad del cuádriceps, el dolor y la falla en la activación muscular, que impactan directamente en la funcionalidad y la calidad de vida de las/los pacientes. Estos problemas, ampliamente documentados, resaltan la necesidad de estrategias innovadoras que permitan abordar los déficits musculares y optimizar la recuperación postquirúrgica. En este contexto, el BFR emerge como una herramienta terapéutica prometedora, capaz de estimular la fuerza y la hipertrofia muscular mediante el uso de cargas ligeras, lo que resulta especialmente relevante en poblaciones con limitaciones funcionales o intolerancia al ejercicio de alta intensidad.

Los estudios analizados en este trabajo evidencian que el BFR, aplicado junto a un programa de actividades aeróbicas o ejercicios de baja carga, mejora significativamente la fuerza y la hipertrofia muscular. Aunque existen variaciones en las metodologías y las formas de medir estos resultados, los hallazgos coinciden en su eficacia para favorecer la recuperación muscular. Además, el incremento en la fuerza de los cuádriceps se traduce en mejoras en diversas pruebas funcionales, lo que sugiere una recuperación progresiva que impacta positivamente en actividades cotidianas como la marcha, el equilibrio y la movilidad general.

Un aspecto destacado del BFR es su seguridad y tolerabilidad. Esto demuestra que la técnica es bien aceptada, incluso en pacientes mayores de 50 años, quienes suelen tener limitaciones para realizar ejercicios con cargas elevadas debido al dolor, la inflamación o el temor a lesiones. Estos resultados respaldan su aplicabilidad en el ámbito de la kinesiología, disciplina en la que puede complementar las estrategias de rehabilitación, lo cual permite una recuperación más integral y efectiva.

Las/los kinesiólogas/os, como parte del equipo interdisciplinario, cumplen una función indispensable en la implementación segura y efectiva de la terapia con BFR, lo cual favorece a la recuperación integral de pacientes y potencia los beneficios de esta técnica en el marco de la rehabilitación postoperatoria. El desempeño profesional de las/los kinesiólogas/os en la rehabilitación es esencial debido a que no sólo se encargan de la evaluación y el diseño de tratamientos individualizados, sino que también deben encargarse de la educación de las personas y de la prevención de complicaciones postquirúrgicas. En el contexto del BFR, la/el kinesióloga/o desempeña una tarea importante al seleccionar los parámetros de presión adecuados, supervisar la correcta aplicación del manguito y garantizar que los ejercicios se realicen de manera correcta, segura y efectiva. La presencia activa de la/del kinesióloga/o durante las sesiones contribuye a la

optimización de los resultados y a un ajuste progresivo del programa de entrenamiento con BFR según la tolerancia y la respuesta de la/del paciente.

Actualmente existen pocos estudios científicos que hayan investigado acerca de la aplicación del BFR en la rehabilitación de pacientes post-ATR. La escasa evidencia disponible presenta limitaciones metodológicas, como tamaños de muestra reducidos, pacientes de diferentes características y falta de control de grupos. Si bien la literatura recomienda un protocolo estandarizado como el que se ha descrito anteriormente en este trabajo, al analizar cada uno de los artículos en los que se utilizó la aplicación del BFR, se ha observado una gran heterogeneidad en los protocolos de aplicación. Estas restricciones subrayan la importancia de continuar con la investigación para establecer lineamientos claros que guíen la dosificación, la duración de las sesiones y la selección de ejercicios según las necesidades individuales de cada paciente. Además, es crucial realizar estudios longitudinales para evaluar los efectos a largo plazo y su impacto en distintas poblaciones, para consolidar así su eficacia y seguridad.

En síntesis, los hallazgos de este trabajo destacan que el BFR no sólo es eficaz para mejorar la fuerza y la hipertrofia muscular de los cuádriceps, sino que también es seguro y bien tolerado en personas mayores. La terapia con BFR se posiciona como una estrategia innovadora y altamente práctica para abordar retos de la rehabilitación postquirúrgica en individuos sometidos a ATR. Su capacidad para mejorar la fuerza e hipertrofia muscular de los cuádriceps se refleja en mejoras funcionales y la convierte en una herramienta valiosa en el ámbito de la kinesiología.

Para finalizar, este trabajo se presenta como un punto de partida para futuras investigaciones, que podrían generar hallazgos más definitivos sobre el tema tratado.

XII. Referencias bibliográficas

1. Mora JC, Przkora R, Cruz-Almeida Y. Knee osteoarthritis: pathophysiology and current treatment modalities. *J Pain Res.* octubre de 2018;Volume 11:2189-96.
2. Solis Cartas U, Calvopiña Bejarano SJ, Martínez Larrarte JP, Paguay Moreno ÁR, Saquipay Duchitanga GI. Percepción de calidad de vida en pacientes con osteoartritis. Características sociodemográficas y clínicas. Estudio de 5 años. *Rev Colomb Reumatol.* julio de 2018;25(3):177-83.
3. Kohn MD, Sassoon AA, Fernando ND. Classifications in Brief: Kellgren-Lawrence Classification of Osteoarthritis. *Clin Orthop.* agosto de 2016;474(8):1886-93.
4. Silverman F, Verona O. *Ortopedia y Traumatología.* 2003.
5. Healey EL, Afolabi EK, Lewis M, Edwards JJ, Jordan KP, Finney A, et al. Uptake of the NICE osteoarthritis guidelines in primary care: a survey of older adults with joint pain. *BMC Musculoskelet Disord.* diciembre de 2018;19(1):295.
6. Hunter DJ, Bierma-Zeinstra S. Osteoarthritis. *The Lancet.* abril de 2019;393(10182):1745-59.
7. Canovas F, Dagneaux L. Quality of life after total knee arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res.* febrero de 2018;104(1):S41-6.
8. Jette DU, Hunter SJ, Burkett L, Langham B, Logerstedt DS, Piuizzi NS, et al. Physical Therapist Management of Total Knee Arthroplasty. *Phys Ther.* 31 de agosto de 2020;100(9):1603-31.
9. Monsegue AP, Emans P, Van Loon LJC, Verdijk LB. Resistance exercise training to improve post-operative rehabilitation in knee arthroplasty patients: A narrative review. *Eur J Sport Sci.* julio de 2024;24(7):938-49.
10. Moon YW, Kim HJ, Ahn HS, Lee DH. Serial Changes of Quadriceps and Hamstring Muscle Strength Following Total Knee Arthroplasty: A Meta-Analysis. Isales CM, editor. *PLOS ONE.* 5 de febrero de 2016;11(2):e0148193.
11. DePhillipo NN, Kennedy MI, Aman ZS, Bernhardson AS, O'Brien L, LaPrade RF. Blood Flow Restriction Therapy After Knee Surgery: Indications, Safety Considerations, and Postoperative Protocol. *Arthrosc Tech.* octubre de 2018;7(10):e1037-43.
12. Primorac D, Molnar V, Rod E, Jeleč Ž, Čukelj F, Matišić V, et al. Knee Osteoarthritis: A Review of Pathogenesis and State-Of-The-Art Non-Operative Therapeutic Considerations. *Genes.* 26 de julio de 2020;11(8):854.
13. Martel-Pelletier J, Barr AJ, Cicuttini FM, Conaghan PG, Cooper C, Goldring MB, et al. Osteoarthritis. *Nat Rev Dis Primer.* 13 de octubre de 2016;2(1):16072.
14. Mansfield JC, Mandalia V, Toms A, Winlove CP, Brasselet S. Collagen reorganization in cartilage under strain probed by polarization sensitive second harmonic generation microscopy. *J R Soc Interface.* enero de 2019;16(150):20180611.

15. Musumeci G. The Effect of Mechanical Loading on Articular Cartilage. *J Funct Morphol Kinesiol.* 12 de abril de 2016;1(2):154-61.
16. Ilas DC, Churchman SM, McGonagle D, Jones E. Targeting Subchondral Bone Mesenchymal Stem Cell Activities for Intrinsic Joint Repair in Osteoarthritis. *Future Sci OA.* noviembre de 2017;3(4):FSO228.
17. Shu CC, Zaki S, Ravi V, Schiavinato A, Smith MM, Little CB. The relationship between synovial inflammation, structural pathology, and pain in post-traumatic osteoarthritis: differential effect of stem cell and hyaluronan treatment. *Arthritis Res Ther.* diciembre de 2020;22(1):29.
18. Belluzzi E, Stocco E, Pozzuoli A, Granzotto M, Porzionato A, Vettor R, et al. Contribution of Infrapatellar Fat Pad and Synovial Membrane to Knee Osteoarthritis Pain. *BioMed Res Int.* 31 de marzo de 2019;2019:1-18.
19. Lespasio MJ, Piuizzi NS, Husni ME, Muschler GF, Guarino A, Mont MA. Knee Osteoarthritis: A Primer. *Perm J.* diciembre de 2017;21(4):16-183.
20. Smith SL, Woodburn J, Steultjens MPM. Sex- and osteoarthritis-related differences in muscle co-activation during weight-bearing tasks. *Gait Posture.* junio de 2020;79:117-25.
21. Ekim AA. Relationship Between Q-Angle and Articular Cartilage in Female Patients With Symptomatic Knee Osteoarthritis: Ultrasonographic and Radiologic Evaluation. *Arch Rheumatol.* 18 de diciembre de 2017;32(4):347-52.
22. Buniello A, MacArthur JAL, Cerezo M, Harris LW, Hayhurst J, Malangone C, et al. The NHGRI-EBI GWAS Catalog of published genome-wide association studies, targeted arrays and summary statistics 2019. *Nucleic Acids Res.* 8 de enero de 2019;47(D1):D1005-12.
23. Boer CG, Yau MS, Rice SJ, Coutinho De Almeida R, Cheung K, Stykarsdottir U, et al. Genome-wide association of phenotypes based on clustering patterns of hand osteoarthritis identify *WNT9A* as novel osteoarthritis gene. *Ann Rheum Dis.* marzo de 2021;80(3):367-75.
24. Zhang L, Zhang C, Zhang J, Liu A, Wang P, Xu J. A Bidirectional Mendelian Randomization Study of Sarcopenia-Related Traits and Knee Osteoarthritis. *Clin Interv Aging.* septiembre de 2023;Volume 18:1577-86.
25. Kim C, Nevitt M, Guermazi A, Niu J, Clancy M, Tolstykh I, et al. Brief Report: Leg Length Inequality and Hip Osteoarthritis in the Multicenter Osteoarthritis Study and the Osteoarthritis Initiative. *Arthritis Rheumatol.* octubre de 2018;70(10):1572-6.
26. Fowler-Brown A, Kim DH, Shi L, Marcantonio E, Wee CC, Shmerling RH, et al. The Mediating Effect of Leptin on the Relationship Between Body Weight and Knee Osteoarthritis in Older Adults. *Arthritis Rheumatol.* enero de 2015;67(1):169-75.
27. Georgiev T, Angelov AK. Modifiable risk factors in knee osteoarthritis: treatment implications. *Rheumatol Int.* julio de 2019;39(7):1145-57.

28. Silverwood V, Blagojevic-Bucknall M, Jinks C, Jordan JL, Protheroe J, Jordan KP. Current evidence on risk factors for knee osteoarthritis in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis Cartilage*. abril de 2015;23(4):507-15.
29. Snoeker B, Turkiewicz A, Magnusson K, Frobell R, Yu D, Peat G, et al. Risk of knee osteoarthritis after different types of knee injuries in young adults: a population-based cohort study. *Br J Sports Med*. junio de 2020;54(12):725-30.
30. Khan T, Alvand A, Prieto-Alhambra D, Culliford DJ, Judge A, Jackson WF, et al. ACL and meniscal injuries increase the risk of primary total knee replacement for osteoarthritis: a matched case-control study using the Clinical Practice Research Datalink (CPRD). *Br J Sports Med*. agosto de 2019;53(15):965-8.
31. Arslan IG, Damen J, De Wilde M, Van Den Driest JJ, Bindels PJE, Van Der Lei J, et al. Incidence and Prevalence of Knee Osteoarthritis Using Codified and Narrative Data From Electronic Health Records: A Population-Based Study. *Arthritis Care Res*. junio de 2022;74(6):937-44.
32. Wallace IJ, Worthington S, Felson DT, Jurmain RD, Wren KT, Maijanen H, et al. Knee osteoarthritis has doubled in prevalence since the mid-20th century. *Proc Natl Acad Sci*. 29 de agosto de 2017;114(35):9332-6.
33. Song M, Chen H, Li J, Han W, Wu W, Wu G, et al. A comparison of the burden of knee osteoarthritis attributable to high body mass index in China and globally from 1990 to 2019. *Front Med*. 23 de agosto de 2023;10:1200294.
34. Safiri S, Kolahi AA, Smith E, Hill C, Bettampadi D, Mansournia MA, et al. Global, regional and national burden of osteoarthritis 1990-2017: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2017. *Ann Rheum Dis*. junio de 2020;79(6):819-28.
35. Mahir L, Belhaj K, Zahi S, Azanmasso H, Lmidmani F, El Fatimi A. Impact of knee osteoarthritis on the quality of life. *Ann Phys Rehabil Med*. septiembre de 2016;59:e159.
36. [Fernandez Cuadros ME, Pérez Moro OS, Albaladejo Florin MJ, Álava Ravasa S, López Muñoz MJ, Rodríguez De Cía J. Un nuevo paradigma para el tratamiento de la osteoartritis de rodilla: el papel del ácido hialurónico, el plasma rico en plaquetas \(PRP\) y el ozono en la modulación de la inflamación: una revisión. Rev Soc Esp Dolor \[Internet\]. 2021 \[citado 31 de agosto de 2024\];28. Disponible en: <https://gestoreditorial.resed.es/fichaArticulo.aspx?iarf=225687768-749236419276>](#)
37. Roos EM, Arden NK. Strategies for the prevention of knee osteoarthritis. *Nat Rev Rheumatol*. febrero de 2016;12(2):92-101.
38. Martínez Figueroa R, Martínez Figueroa C, Calvo Rodríguez R, Figueroa Poblete D. Osteoartritis (artrosis) de rodilla. *Rev Chil Ortop Traumatol*. septiembre de 2015;56(3):45-51.

39. Pró EAdrián. Anatomía clínica. Buenos Aires: 2ª ed. Médica Panamericana; 2014.
40. Miralles RC. Biomecánica clínica del aparato locomotor. 2000.
41. Kapandji A. Fisiología Articular. Tomo 2: Miembro Inferior. 6ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2012.
42. Van Doormaal MCM, Meerhoff GA, Vliet Vlieland TPM, Peter WF. A clinical practice guideline for physical therapy in patients with hip or knee osteoarthritis. *Musculoskeletal Care*. diciembre de 2020;18(4):575-95.
43. Hamilton DF, Burnett R, Patton JT, Howie CR, Moran M, Simpson AHRW, et al. Implant design influences patient outcome after total knee arthroplasty: a prospective double-blind randomised controlled trial. *Bone Jt J*. enero de 2015;97-B(1):64-70.
44. Alrawashdeh W, Eschweiler J, Migliorini F, Mansy Y, Tingart M, Rath B. Effectiveness of total knee arthroplasty rehabilitation programmes: A systematic review and meta-analysis. *J Rehabil Med*. 2021;53(6):jrm00200.
45. Postler AE, Lützner C, Goronzy J, Lange T, Deckert S, Günther KP, et al. When are patients with osteoarthritis referred for surgery? junio de 2023;Volume 37(Issue 2).
46. Garcia Fernandez M, Bueno Pérez A. Abordaje fisioterapéutico en la artroplastia total de rodilla. Noviembre 2020. III(Número 32). Disponible en: <https://www.npunto.es/revista/32/abordaje-fisioterapeutico-en-la-artroplastia-total-de-rodilla>
47. Maratt JD, Lee Y yu, Lyman S, Westrich GH. Predictors of Satisfaction Following Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. julio de 2015;30(7):1142-5.
48. Moya-Angeler J, Akkaya M, Innocenti M, Bergadano D, Martin-Alguacil J, León-Muñoz V. Fixation options for total knee arthroplasty: a comprehensive literature review. *J Orthop Surg*. 6 de agosto de 2024;19(1):463.
49. Gwam CU, George NE, Etcheson JI, Rosas S, Plate JF, Delanois RE. Cementless versus Cemented Fixation in Total Knee Arthroplasty: Usage, Costs, and Complications during the Inpatient Period. *J Knee Surg*. noviembre de 2019;32(11):1081-7.
50. Durán JJ, Crispin D. Artroplastía total de rodilla: evaluación funcional y complicaciones, traumatología y ortopedia. En: Revista «Cuadernos». Brasil; 2018. p. 7.
51. Piva SR, Moore CG, Schneider M, Gil AB, Almeida GJ, Irrgang JJ. A randomized trial to compare exercise treatment methods for patients after total knee replacement: protocol paper. *BMC Musculoskelet Disord*. diciembre de 2015;16(1):303.
52. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Front Physiol*. 15 de mayo de 2019;10:533.
53. Baker BS, Stannard MS, Duren DL, Cook JL, Stannard JP. Does Blood Flow Restriction

- Therapy in Patients Older Than Age 50 Result in Muscle Hypertrophy, Increased Strength, or Greater Physical Function? A Systematic Review. *Clin Orthop*. marzo de 2020;478(3):593-606.
54. Machado FA, Almeida GJ, Do Vale ALM, Ribeiro ALDA, Cipriano GFB, Cipriano Junior G, et al. Effects of blood flow restriction therapy in patients with knee osteoarthritis: protocol for an overview of systematic reviews. *Front Rehabil Sci*. 1 de febrero de 2024;5:1318951.
 55. De Renty C, Forelli F, Mazeas J, Kakavas G, Hewett TE, Korakakis V. Knee Loading With Blood Flow Restriction Can Enhance Recovery After Total Knee Arthroplasty. *Cureus* [Internet]. 20 de abril de 2023 [citado 27 de octubre de 2024]; Disponible en: <https://www.cureus.com/articles/150150-knee-loading-with-blood-flow-restriction-can-enhance-recovery-after-total-knee-arthroplasty>
 56. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. julio de 2017;51(13):1003-11.
 57. Andrés JB, Pérez JO, Sáez JPE. 5. Efectos de la terapia por restricción de flujo sanguíneo en la práctica fisioterápica: Una revisión bibliográfica. 2020;
 58. De Queiros VS, Dantas M, Neto GR, Da Silva LF, Assis MG, Almeida-Neto PF, et al. Application and side effects of blood flow restriction technique: A cross-sectional questionnaire survey of professionals. *Medicine (Baltimore)*. 7 de mayo de 2021;100(18):e25794.
 59. Wengle L, Migliorini F, Leroux T, Chahal J, Theodoropoulos J, Betsch M. The Effects of Blood Flow Restriction in Patients Undergoing Knee Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med*. agosto de 2022;50(10):2824-33.
 60. Miller BC, Tirko AW, Shipe JM, Sumeriski OR, Moran K. The Systemic Effects of Blood Flow Restriction Training: A Systematic Review. *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2 de agosto de 2021 [citado 27 de octubre de 2024];16(4). Disponible en: <https://ijspt.scholasticahq.com/article/25791-the-systemic-effects-of-blood-flow-restriction-training-a-systematic-review>
 61. Segal NA, Williams GN, Davis MC, Wallace RB, Mikesky AE. Efficacy of Blood Flow–Restricted, Low-Load Resistance Training in Women with Risk Factors for Symptomatic Knee Osteoarthritis. *PM&R*. abril de 2015;7(4):376-84.
 62. Mason MJS, Owens JG, Brown LWJ. Blood Flow Restriction Training: Current and Future Applications for the Rehabilitation of Musculoskeletal Injuries. *Techniques in Orthopaedics*. 2018 Jun;33(2):71-80. Doi:10.1097/BTO.0000000000000301.
 63. Bond CW, Hackney KJ, Brown SL, Noonan BC. Blood Flow Restriction Resistance Exercise as a Rehabilitation Modality Following Orthopaedic Surgery: A Review of Venous Thromboembolism Risk. *J Orthop Sports Phys Ther*. enero de 2019;49(1):17-27.

64. Nascimento DDC, Rolnick N, Neto IVDS, Severin R, Beal FLR. A Useful Blood Flow Restriction Training Risk Stratification for Exercise and Rehabilitation. *Front Physiol.* 11 de marzo de 2022;13:808622.
65. Yuan J, Wu L, Xue Z, Xu G, Wu Y. Application and progress of blood flow restriction training in improving muscle mass and strength in the elderly. *Front Physiol.* 24 de marzo de 2023;14:1155314.